

Modelagem Energética da UHE Sinop

*Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica da UHE SINOP
2010*



GOVERNO FEDERAL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
MME/SPE

Ministério de Minas e Energia

Ministro

Márcio Pereira Zimmermann

Secretário Executivo

José Antônio Corrêa Coimbra

**Secretário de Planejamento e Desenvolvimento
Energético**

Altino Ventura Filho

**Diretor do Departamento de Planejamento
Energético**

Gilberto Hollauer

*Modelagem Energética da
UHE Sinop*



Empresa de Pesquisa Energética

Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Presidente

Maurício Tiomno Tolmasquim

Diretor de Estudos Econômicos e Energéticos

Amílcar Gonçalves Guerreiro

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

José Carlos de Miranda Farias

**Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e
Biocombustíveis**

Elson Ronaldo Nunes

Diretor de Gestão Corporativa

Ibanês César Cássel

Coordenação Geral

Maurício Tiomno Tolmasquim
José Carlos de Miranda Farias

Coordenação Executiva

Oduvaldo Barroso da Silva

Equipe Técnica

Angela Regina Livino de Carvalho
Fernanda Gabriela B dos Santos
Thiago Correa César

URL: <http://www.epe.gov.br>

Sede

SAN – Quadra 1 – Bloco B – Sala 100-A
70041-903 - Brasília – DF

Escritório Central

Av. Rio Branco, 01 – 11º Andar
20090-003 - Rio de Janeiro – RJ

Nº EPE-DEE-RE-066/2010-r1

Data: 07 de outubro de 2010

APRESENTAÇÃO

A presente Nota Técnica registra os estudos energéticos efetuados pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, no que tange ao dimensionamento energético previsto nos estudos de viabilidade técnica e econômica da UHE SINOP.

Adicionalmente, este documento detalha a metodologia adotada para representar a operação guiada do reservatório da UHE SINOP de forma a preservar as lagoas sazonais existentes na região.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	iii
1. Introdução.....	6
2. Estudos Energéticos	7
2.1 Sistema de referência.....	7
2.2 Dados utilizados	12
Período Crítico	12
Série de Vazões Médias Mensais no período jan/1931 a dez/2006	12
Evaporação líquida	15
Curva-chave do canal de fuga	15
Representação do Reservatório	15
Tipo de Turbina	16
Limite operacional das turbinas	16
Rendimento do conjunto turbina-gerador	16
Perda Hidráulica.....	17
Taxas de Indisponibilidade	17
Parâmetros Econômicos.....	18
2.3 Dimensionamento do Volume Útil do Reservatório	18
Determinação do nível d'água máximo operativo.....	18
Determinação do nível d'água mínimo operativo	19
2.3 Estudo de Motorização	20
Determinação do Número de Unidades Instaladas.....	21
Determinação da Queda de Projeto e de Referência	22
2.4 Regra Operativa da UHE SINOP.....	23
Metodologia	23
Validação da Metodologia	26
Aplicação da Metodologia.....	27
Cálculo da Produção Energética de Sinop	28
3. Conclusão	29

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Aproveitamentos do Sistema de Referência.....</i>	<i>8</i>
<i>Tabela 2 - Série de Vazões Naturais Médias Mensais em UHE Sinop.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabela 3 – Coeficientes de Evaporação Líquida Mensal (mm).....</i>	<i>15</i>
<i>Tabela 4 – Coeficientes do polinômio da Curva-chave de jusante natural.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabela 5 – Coeficientes do polinômio da Curva-chave de jusante com o remanso do reservatório da UHE Colíder.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabela 6 – Polinômios Cota-Área e Volume-Cota Utilizados.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabela 7 – Taxas de Indisponibilidades Forçada e Programada.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 9 – Usos consuntivos.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 10 – Vazão remanescente.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 11 – Análise Custo Benefício para escolha do N. A. Máximo Normal Operativo.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 12 – Análise Custo-Benefício para escolha do N. A. Máximo Normal Operativo com a Restrição Operativa.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabela 13 – Ganhos de Energia Firme para cada opção de Deplecionamento da UHE Sinop.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 14 - Análise Custo-Benefício para a Motorização utilizando o Ganho de Energia Firme da Cascata.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 15 – Permanência de Atendimento a Ponta para cada N° de Unidades Estudado.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 16 - Comparação entre casos com Sinop e sem Sinop com vazões artificiais na cascata.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabela 17 – Comparação entre casos com Sinop e sem Sinop com vazões artificiais na cascata contemplando a restrição de N. A. Máximo Operativo de 300 m na estiagem.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabela 18 - Energia resultante da operação convencional e especial.....</i>	<i>28</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Procedimento de Determinação do Nível d'Água de Montante no Final do período do UHE Sinop.....</i>	<i>24</i>
--	-----------

1. Introdução

Consoante a Lei nº. 10.847, de 15 de março de 2004, Art. 4º, incisos VII e X, compete a EPE a elaboração de estudos necessários para o desenvolvimento dos planos de expansão da geração e transmissão de energia elétrica de curto, médio e longo prazos e o desenvolvimento de estudos de impacto social, viabilidade técnico-econômica e socioambiental para os empreendimentos de energia elétrica e de fontes renováveis.

Neste contexto, a EPE vem desenvolvendo estudos de viabilidade técnica e econômica de usinas hidrelétricas, dentre elas a UHE Sinop indicada para entrar em operação em janeiro de 2015 conforme os estudos realizados pela EPE para o Plano Decenal de Expansão de Energia 2008 – 2017.

Portanto esse aproveitamento, considerado prioritário nos planos de expansão, foi estudado em nível de viabilidade, estando os seus estudos energéticos apresentados a seguir.

2. Estudos Energéticos

Este item apresenta as atividades desenvolvidas e os resultados obtidos no Estudo de Viabilidade Energético-Econômica do Aproveitamento Hidrelétrico Sinop, previsto para o rio Teles Pires, no estado do Mato Grosso. A UHE Sinop integra a divisão de quedas selecionada no âmbito do estudo de Inventário do rio Teles Pires, aprovado pela ANEEL em julho de 2006.

As características principais do Aproveitamento definidas nos Estudos de Inventário são as seguintes: nível d'água máximo normal de montante na elevação 300,00 m, nível d'água mínimo normal de montante na cota 289,50 m, potência instalada igual a 461.1MW e 3 unidades geradoras.

Os estudos de dimensionamento energético da UHE Sinop seguem as "Instruções para Estudos de Viabilidade de Aproveitamentos Hidrelétricos", da Eletrobrás, publicada em 1997.

A metodologia utilizada consiste na comparação dos benefícios energéticos incrementais (energia firme) com os custos incrementais correspondentes envolvendo investimento, operação e manutenção. Para o dimensionamento do número de unidades e da queda de referência são considerados determinados critérios de atendimento e seus respectivos impactos nos custos. Esta avaliação leva em conta também o contexto em que a usina poderá ser inserida.

De uma maneira sucinta, busca-se a otimização econômico-energética do aproveitamento, através da análise da relação custo/benefício incremental obtida a partir dos acréscimos mencionados, considerando como viável todo o acréscimo que propicie uma relação custo/benefício menor ou igual a 1 (um).

As avaliações energéticas foram efetuadas utilizando o Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas – MSUI (versão 3.2), desenvolvido pela Eletrobrás.

2.1 Sistema de referência

O sistema de referência utilizado é composto por todas as usinas existentes, em estudo, ou planejadas, que interfiram ou que possam ser afetadas pela operação hidráulica da UHE Sinop, além das considerações necessárias à sua caracterização como um empreendimento integrado ao SIN. Desta análise resultou um conjunto composto de todas as usinas

inventariadas nos rios Teles Pires, Tapajós e Apicás. O quadro a seguir apresenta o conjunto de usinas consideradas no sistema de referência. Os benefícios energéticos foram avaliados em relação a este sistema e em relação às usinas de jusante da UHE Sinop, a saber: Colider, Teles Pires, São Manoel, Chacorão, Jatobá e São Luiz do Tapajós.

Para as usinas a jusante da UHE SINOP foram considerados os dados mais atualizados disponíveis, ou seja, para as usinas do rio Tapajós foram utilizados os dados do Inventário aprovado pela ANEEL, para as usinas Teles Pires, São Manoel e Foz do Apicás foram utilizados os dados atualizados dos estudos de viabilidade em andamento na EPE e para a UHE Colider foram utilizados os dados referentes ao cálculo da garantia física desta usina que participou e sagrou-se vencedora do 1º Leilão de Energia Nova de 2010.

Tabela 1 - Aproveitamentos do Sistema de Referência

USINA	RIO	POTÊNCIA INSTALADA (MW)	SITUAÇÃO
14 de Julho	Das Antas	100	CONSTRUÇÃO
A.A. Laydner	Paranapanema	98	OPERAÇÃO
A.S.Lima	Tietê	144	OPERAÇÃO
A.S.Oliveira	Pardo	32	OPERAÇÃO
Água Limpa	Das Mortes	320	PLANEJADA
Água Vermelha	Grande	1.396	OPERAÇÃO
Aimorés	Doce	330	OPERAÇÃO
B.Brauna	Pomba	39	CONSTRUÇÃO
B.Coqueiros	Tietê Claro	90	CONSTRUÇÃO
B.Esperança	Parnaíba	225	OPERAÇÃO
Barra Grande	Pelotas	698	OPERAÇÃO
Baguari	Doce	140	CONSTRUÇÃO
Baixo Iguaçu	Iguaçu	350	PLANEJADA
Balbina	Uatumã	250	PLANEJADA
Barra Bonita	Tietê	140	OPERAÇÃO
Barra Pomba	Paraíba do Sul	80	PLANEJADA
Baú	Doce	110	CONSTRUÇÃO
Buriti Queimado	Das Almas	142	PLANEJADA
Belo Monte Principal	Xingu	11.000	PLANEJADA
Belo Monte Complementar	Xingu	181	PLANEJADA
Cachoeira	Parnaíba	63	PLANEJADA
Cachoeira do Caí	Jamanxim	818	PLANEJADA
Cachoeira dos Patos	Jamanxim	539	PLANEJADA
Cachoeira Dourada	Paranaíba	658	OPERAÇÃO
Caconde	Pardo	80	OPERAÇÃO
Caçu	Claro	65	CONSTRUÇÃO
Camargos	Grande	46	OPERAÇÃO
Cambuci	Paraíba do Sul	50	PLANEJADA
Campos Novos	Canoas	880	OPERAÇÃO
Cana Brava	Tocantins	450	OPERAÇÃO
Candongá	Doce	140	OPERAÇÃO

USINA	RIO	POTÊNCIA INSTALADA (MW)	SITUAÇÃO
Canoas I	Paranapanema	83	OPERAÇÃO
Canoas II	Paranapanema	72	OPERAÇÃO
Capim Branco I	Araguari	240	OPERAÇÃO
Capim Branco II	Araguari	210	OPERAÇÃO
Capivara	Paranapanema	640	OPERAÇÃO
Castro Alves	Das Antas	130	OPERAÇÃO
Cachoeirão	Juruena	64	PLANEJADA
Castelhano	Parnaíba	64	PLANEJADA
Chacorão	Tapajós	3.336	PLANEJADA
Chavantes	Paranapanema	414	OPERAÇÃO
Coaracy Nunes	Araguari	67	OPERAÇÃO
Complexo P. Afonso	São Francisco	4.282	OPERAÇÃO
Couto Magalhães	Araguaia	150	PLANEJADA
Corumbá I	Corumbá	375	OPERAÇÃO
Corumbá III	Corumbá	94	CONSTRUÇÃO
Corumbá IV	Corumbá	127	OPERAÇÃO
Curuá Una	Curuá Una	30	OPERAÇÃO
D.Francisca	Jacuí	125	OPERAÇÃO
Dardanelos	Aripuanã	261	CONSTRUÇÃO
E. da Cunha	Pardo	109	OPERAÇÃO
Emborcação	Paranaíba	1.192	OPERAÇÃO
Estreito	Tocantins	1.087	CONSTRUÇÃO
Estreito	Grande	1.104	OPERAÇÃO
Estreito	Parnaíba	56	PLANEJADA
F. Chapecó	Uruguai	855	CONSTRUÇÃO
F.R.Claro	Claro	67	CONSTRUÇÃO
Fontes	Lajes	132	OPERAÇÃO
Fundão	Jordão	120	OPERAÇÃO
Funil	Paraíba do Sul	222	OPERAÇÃO
Funil Grande	Grande	180	OPERAÇÃO
Furnas	Grande	1.312	OPERAÇÃO
Garibaldi	Canoas	150	PLANEJADA
G.B.Munhoz	Iguaçu	1.676	OPERAÇÃO
G.P.Souza	Capivari	260	OPERAÇÃO
Guaporé	Guaporé	120	OPERAÇÃO
Guilman Amorim	Piracicaba	140	OPERAÇÃO
Henry Borden	Pedras	888	OPERAÇÃO
Ibitinga	Tietê	132	OPERAÇÃO
Igarapava	Grande	210	OPERAÇÃO
Ilha Pombos	Paraíba do Sul	187	OPERAÇÃO
Ilha Solteira Equivalente	Paraná	4.252	OPERAÇÃO
Irapé	Jequitinhonha	360	OPERAÇÃO
Itá	Uruguai	1.450	OPERAÇÃO
Itaguaçu	Claro	133	PLANEJADA
Itaipu	Paraná	14.000	OPERAÇÃO
Itaparica	São Francisco	1.500	OPERAÇÃO
Itapebi	Jequitinhonha	475	OPERAÇÃO

USINA	RIO	POTÊNCIA INSTALADA (MW)	SITUAÇÃO
Itaúba	Jacuí	500	OPERAÇÃO
Itiquira I	Itiquira	61	OPERAÇÃO
Itiquira II	Itiquira	95	OPERAÇÃO
Itumbiara	Paranaíba	2.280	OPERAÇÃO
Itutinga	Grande	52	OPERAÇÃO
Itapiranga	Uruguai	725	PLANEJADA
Jacuí	Jacuí	180	OPERAÇÃO
Jaguará	Grande	424	OPERAÇÃO
Jaguari	Jaguari	28	OPERAÇÃO
Jamanxim	Jamanxim	899	PLANEJADA
Jatobá	Tapajós	2.386	PLANEJADA
Jauru	Jauru	118	OPERAÇÃO
Jirau	Madeira	3.300	CONSTRUÇÃO
Jupia	Paraná	1.551	OPERAÇÃO
Juruena	Juruena	46	PLANEJADA
L.N.Garcez	Paranapanema	74	OPERAÇÃO
Lajeado	Tocantins	903	OPERAÇÃO
M. de Moraes	Grande	478	OPERAÇÃO
M.Claro	das Antas	130	CONSTRUÇÃO
Machadinho	Machadinho	1.140	OPERAÇÃO
Manso	Manso	210	OPERAÇÃO
Marabá	Tocantins	2.160	PLANEJADA
Maranhão Baixo	Maranhão	125	PLANEJADA
Marimbondo	Grande	1.488	OPERAÇÃO
Mascarenhas	Doce	198	OPERAÇÃO
Mauá	Tibagi	350	CONSTRUÇÃO
Mirador	Tocantinzinho	80	PLANEJADA
Miranda	Araguari	408	OPERAÇÃO
Monjolinho	Passo Fundo	67	CONSTRUÇÃO
N.Peçanha	Ribeirão das Lajes	380	OPERAÇÃO
Nova Avandava	Tietê	347	OPERAÇÃO
Nova Ponte	Araguari	510	OPERAÇÃO
Novo Acordo	Sono	160	PLANEJADA
Ourinhos	Paranapanema	44	OPERAÇÃO
P.Cavalo	Paraguaçu	160	OPERAÇÃO
P.Estrela	Santo Antônio	112	OPERAÇÃO
P.Fundo	P.Fundo	226	OPERAÇÃO
P.Passos	Lajes	100	OPERAÇÃO
P.Real	Jacuí	158	OPERAÇÃO
Pai Querê	Pelotas	292	PLANEJADA
Paraibuna	Paraíba do Sul	85	OPERAÇÃO
Paranhos	Chopim	63	PLANEJADA
Passo S. João	Ijuí	77	CONSTRUÇÃO
Batalha	São Marcos	54	CONSTRUÇÃO
Peixe Angical	Tocantins	452	OPERAÇÃO
Picada	Peixe	50	OPERAÇÃO
Piraju	Paranapanema	80	OPERAÇÃO

USINA	RIO	POTÊNCIA INSTALADA (MW)	SITUAÇÃO
Porteiras 2	Tocantins	86	PLANEJADA
Ponte Pedra	Correntes	176	OPERAÇÃO
Porto Colômbia	Grande	328	OPERAÇÃO
Porto Galeano	Sucuriú	139	PLANEJADA
Porto Primavera	Paraná	1.540	OPERAÇÃO
Promissão	Tietê	264	OPERAÇÃO
Rosana	Paranapanema	372	OPERAÇÃO
Samuel	Jamari	216	PLANEJADA
São Salvador	Tocantins	243	OPERAÇÃO
São Simão	Paranaíba	1.710	OPERAÇÃO
Serra do Facão	São Marcos	213	CONSTRUÇÃO
Serra da Mesa	Tocantins	1.275	OPERAÇÃO
Quebra Queixo	Chapecó	120	OPERAÇÃO
Queimado	Preto	105	OPERAÇÃO
Retiro Baixo	Paraopeba	82	CONSTRUÇÃO
Riacho Seco	S.Francisco	240	PLANEJADA
Ribeiro Gonçalves	Parnaíba	113	PLANEJADA
Rondon II	Comemoração	74	CONSTRUÇÃO
Rosal	Itabapoana	55	OPERAÇÃO
S.Antônio	Madeira	3.150	CONSTRUÇÃO
S.Antônio do Jari	Jari	100	PLANEJADA
S.Caxias	Iguaçu	1.240	OPERAÇÃO
S.Grande	Santo Antônio	102	OPERAÇÃO
S.Grande	Chopim	53	OPERAÇÃO
S.Osório	Iguaçu	1.078	OPERAÇÃO
S.Pilão	Itajaí	182	CONSTRUÇÃO
S.Santiago	Iguaçu	1.420	OPERAÇÃO
S.Verdinho	Verde	93	CONSTRUÇÃO
Sá Carvalho	Severo	78	OPERAÇÃO
Salto	Verde	108	CONSTRUÇÃO
São Domingos	Verde	48	PLANEJADA
São José	Ijuí	51	CONSTRUÇÃO
São Luiz do Tapajós	Tapajós	6.258	PLANEJADA
São Miguel	Grande	65	PLANEJADA
São Roque	Canoas	214	PLANEJADA
Segredo	Iguaçu	1260	OPERAÇÃO
Serra Quebrada	Tocantins	1.328	PLANEJADA
Simplício	Paraíba do Sul	306	CONSTRUÇÃO
Sobradinho	São Francisco	1.050	OPERAÇÃO
Sobragi	Paraibuna	60	OPERAÇÃO
Sta. Clara PR	Jordão	120	OPERAÇÃO
Sta.Branca	Paraíba do Sul	56	OPERAÇÃO
Sta.Clara MG	Mucuri	60	OPERAÇÃO
Tabajara	Ji-Paraná	350	PLANEJADA
Taquaruçu	Paranapanema	554	OPERAÇÃO
Telêmaco Borba	Tibagi	112	PLANEJADA
Tijuco Alto	Ribeira do Iguape	129	PLANEJADA

USINA	RIO	POTÊNCIA INSTALADA (MW)	SITUAÇÃO
Toricoejo	Das Mortes	76	PLANEJADA
Torixoréu	Araguaia	408	PLANEJADA
Três Marias	São Francisco	396	OPERAÇÃO
Tucuruí	Tocantins	8.370	OPERAÇÃO
Uruçuí	Parnaíba	134	PLANEJADA
Volta Grande	Grande	380	OPERAÇÃO
Volta Grande	Chopim	55	PLANEJADA
Xingó	São Francisco	3.162	OPERAÇÃO
Sinop	Teles Pires	400	PLANEJADA
Colider	Teles Pires	300	PLANEJADA
Teles Pires	Teles Pires	1.820	PLANEJADA
Foz do Apiacás	Apiacás	230	PLANEJADA
São Manoel	Teles Pires	700	PLANEJADA

2. 2 Dados utilizados

Período Crítico

O período crítico do Sistema Interligado Nacional adotado nos estudos compreende o período de junho de 1949 a novembro de 1956.

Série de Vazões Médias Mensais no período jan/1931 a dez/2006

A série de vazões naturais médias mensais do rio Teles Pires no local do aproveitamento de SINOP é apresentada na tabela a seguir:

Tabela 2 - Série de Vazões Naturais Médias Mensais em UHE Sinop

Ano	Vazões Médias Mensais (m ³ /s)												Média Anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1931	1169	1485	1730	936	848	694	562	464	424	661	829	1108	909
1932	1016	1251	1674	869	774	633	546	509	437	477	520	569	773
1933	2212	1383	943	1043	735	601	487	397	386	419	599	1934	928
1934	1276	1667	1481	1064	804	663	537	464	553	537	665	1328	920
1935	3217	1037	2199	1103	871	706	572	463	393	549	579	1148	1070
1936	857	2694	903	834	690	559	453	367	341	312	371	425	734
1937	1115	713	1675	1069	722	626	507	410	384	479	493	2390	882
1938	2635	1187	1010	840	733	594	481	389	334	1073	759	1103	928
1939	918	1335	985	814	685	611	537	435	418	455	1065	1320	798
1940	2184	2324	2821	1527	1006	815	665	539	470	482	1073	743	1221
1941	1256	1854	2456	923	801	649	529	532	475	1016	787	735	1001
1942	1418	1483	1386	1794	906	739	599	485	476	742	1086	693	984
1943	1807	1358	1559	1241	825	669	542	439	434	1114	1018	1570	1048
1944	820	1318	1223	832	675	559	453	367	345	437	933	738	725
1945	1699	2052	2388	1389	960	778	630	510	458	506	1149	1451	1164
1946	945	2625	1578	911	1029	745	634	513	427	447	1064	1119	1003
1947	2675	1651	2174	1094	893	724	586	475	410	580	717	1475	1121
1948	1018	1574	1194	874	724	587	518	420	470	517	963	4465	1110
1949	2066	2158	1479	1015	851	731	592	480	393	904	573	1986	1102
1950	2657	1431	2108	965	785	636	515	417	338	491	742	2445	1128
1951	1662	1535	3858	966	931	761	617	503	452	423	810	776	1108
1952	1260	1186	1119	983	725	588	476	385	325	320	476	1209	754
1953	1068	1405	2111	834	722	585	474	384	432	595	562	1018	849
1954	1300	1923	2365	909	768	639	518	419	402	427	1182	698	963
1955	2244	923	2369	907	804	664	538	436	353	357	380	1730	975
1956	916	1458	894	1149	833	738	599	498	520	510	2241	1536	991
1957	1369	2041	1344	1007	818	689	559	480	539	536	707	1485	965
1958	1540	1080	1297	1123	819	667	564	457	403	449	916	1815	928
1959	3455	1431	2484	1015	858	709	589	482	399	389	2011	1650	1289
1960	1989	1949	1188	1038	814	659	534	433	351	470	663	1362	954
1961	2055	1223	1962	909	822	669	542	486	403	437	607	1841	996
1962	2314	1843	876	1057	743	611	495	413	494	514	523	2830	1059
1963	896	2029	1196	899	746	604	491	397	341	353	846	623	785
1964	1749	748	1035	686	617	500	409	331	272	701	1460	1001	792
1965	1282	1559	1823	999	820	666	539	437	449	1334	1413	1020	1028
1966	1452	2245	1172	922	798	647	524	424	383	893	560	658	890
1967	832	923	1035	929	686	565	458	371	315	516	647	1263	712
1968	750	1157	718	636	516	418	339	335	343	447	507	1355	627
1969	1286	814	927	762	651	532	431	349	318	395	841	1835	762
1970	1797	1178	911	844	734	595	482	390	324	555	520	511	737
1971	968	1188	717	671	599	489	428	358	399	487	603	627	628
1972	789	1504	769	690	595	491	430	354	330	399	1161	1230	729
1973	1077	1110	1005	767	648	547	451	372	341	434	1272	1758	815
1974	2500	1065	1373	997	851	689	558	459	431	434	489	1492	945
1975	923	1342	1003	881	713	579	503	408	333	390	610	626	693
1976	952	1254	1512	1169	777	579	444	371	363	470	653	1264	817
1977	1349	1653	1099	1080	928	736	489	389	388	503	746	1113	873
1978	1960	1481	2502	1262	1059	791	631	547	482	613	754	1163	1104

Ano	Vazões Médias Mensais (m ³ /s)												Média Anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1979	2022	1902	1307	1134	750	445	436	405	499	499	691	780	906
1980	1398	2340	2396	1364	918	749	601	511	510	509	567	1054	1076
1981	1554	1543	1449	1548	1075	719	579	488	419	509	1088	1158	1011
1982	1905	1990	1530	1612	1025	770	619	523	514	586	689	1048	1068
1983	1407	1830	1332	1149	744	610	479	412	385	524	681	1017	881
1984	1082	1038	1194	1094	804	557	457	407	417	466	618	1115	771
1985	1663	1645	1458	1338	925	632	514	428	406	525	627	666	902
1986	1370	1686	1469	1032	757	587	473	450	442	534	539	769	842
1987	1484	1400	1351	1092	736	532	429	381	357	369	673	1408	851
1988	1525	1454	1699	1366	887	621	489	410	368	400	681	1135	920
1989	1464	1852	1837	1477	942	642	539	470	438	417	540	1246	989
1990	1810	1582	1524	1207	843	602	517	525	533	665	743	898	954
1991	1303	1650	1757	1343	754	604	548	519	518	554	726	880	930
1992	1079	1643	1497	1360	839	684	548	477	539	579	811	1477	961
1993	1233	1628	1114	912	710	571	458	411	391	430	518	860	770
1994	1577	1321	1938	1317	911	744	573	455	405	468	566	766	920
1995	2328	2132	2056	1784	1394	887	638	533	486	504	649	1014	1200
1996	1423	1264	1480	1239	836	625	480	439	413	439	801	733	848
1997	1384	1954	1893	1285	890	691	524	439	400	424	532	946	947
1998	948	1234	1348	836	583	451	382	350	337	397	699	1199	730
1999	1710	1191	1584	900	653	493	419	360	361	361	545	888	789
2000	1239	1488	1851	1242	744	541	466	403	406	400	713	894	866
2001	901	904	1225	1028	699	556	450	391	396	514	642	1331	753
2002	1596	1488	1619	1174	765	587	493	427	424	431	586	756	862
2003	1464	1618	1677	1900	964	720	576	480	453	556	707	972	1007
2004	1392	2998	1634	1391	1013	752	663	556	498	579	770	842	1091
2005	1314	1423	1433	1158	760	592	513	438	427	514	656	1341	881
2006	2245	1577	1790	1936	986	751	615	505	494	713	874	1434	1160
Mínima	750	713	717	636	516	418	339	331	272	312	371	425	627
Média	1533	1547	1554	1098	811	637	520	439	414	532	777	1222	924
Máxima	3455	2998	3858	1936	1394	887	665	556	553	1334	2241	4465	1289

Evaporação líquida

A evaporação líquida mensal do reservatório, isto é, o saldo entre a evaporação de superfície líquida e a evapotranspiração na sua bacia hidráulica, é apresentada na tabela abaixo:

Tabela 3 – Coeficientes de Evaporação Líquida Mensal (mm)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Evaporação Líquida (mm)	26	21	25	2	4	25	32	45	56	23	22	41

Curva-chave do canal de fuga

A curva representativa da variação do nível do canal de fuga (m) em função da vazão defluente (m³/s) é também denominada curva-chave. Sua representação polinomial é apresentada na tabela abaixo:

Tabela 4 – Coeficientes do polinômio da Curva-chave de jusante natural

Independente	1º Grau	2º Grau	3º Grau	4º Grau
2,7058028E+02	2,8283643E-03	-6,3050759E-07	8,7074202E-11	-4,6664028E-15

A curva chave acima apresentada representa as condições naturais da seção do rio Teles Pires no eixo selecionado para a UHE Sinop, no entanto, esta usina deverá operar tendo a jusante o reservatório da UHE Colíder. Desta forma, determinou-se uma curva-chave do canal de fuga da UHE Sinop contemplando o remanso da UHE Colíder (NAm_{ax} normal na cota 272,00 m), o polinômio que a representa é apresentado na tabela abaixo:

Tabela 5 – Coeficientes do polinômio da Curva-chave de jusante com o remanso do reservatório da UHE Colíder

Independente	1º Grau	2º Grau	3º Grau	4º Grau
2,7196675E+02	9,2084693E-04	2,3795484E-07	-7,1196339E-11	5,3060022E-15

Representação do Reservatório

Os polinômios, Volume-Cota (PVC) e Cota-Área (PCA), que representam as variações de forma (área e volume) do reservatório da UHE Sinop, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Polinômios Cota-Área e Volume-Cota Utilizados

	Independente	1º Grau	2º Grau	3º Grau	4º Grau
PVC	2,8180755E+02	1,2946698E-02	-3,3665774E-06	5,3235843E-10	-3,6591819E-14
PCA	-3,9365578E+08	5,2724387E+06	-2,6477074E+04	5,9084885E+01	-4,9435901E-02

Tipo de Turbina

As turbinas projetadas para o UHE Sinop são do tipo Kaplan.

Limite operacional das turbinas

O engolimento mínimo considerado para uma turbina Kaplan foi de 35% de sua vazão nominal.

Rendimento do conjunto turbina-gerador

O cálculo do rendimento médio ponderado para turbinas hidráulicas é baseado no despacho esperado das turbinas e na função que fornece o rendimento esperado, dada a vazão e a queda à qual a turbina é submetida, também conhecida como curva colina de rendimento.

Nessa etapa de estudos de viabilidade, o despacho esperado pode ser obtido através do resultado de vazão turbinada dado pelo modelo de simulação a usinas individualizadas com discretização mensal - MSUI. A partir da vazão turbinada decidida pelo modelo, consulta-se a curva colina e escolhe-se o despacho de unidades (vazão unitária e número de unidades) e obtém-se o rendimento.

As características da UHE Sinop são as seguintes:

- Número de unidades geradoras: 3
- Potência unitária nominal das turbinas: 136,05 MW
- Vazão unitária nominal: 596,20 m³/s
- Tipo: Kaplan
- Queda líquida de referência: 24,5 m

De posse dessas características foram ajustados diversos pontos a partir da curva colina de uma turbina com características semelhantes.

O Rendimento Médio Ponderado do Gerador foi adotado como 98% e o valor obtido para o Rendimento Médio Ponderado do conjunto é de 93,14%.

Entretanto, há diversas incertezas inerentes a estudos de viabilidade, destacando o fato de utilizar séries históricas de vazões afluentes mensais e não se conhecer quem será o fabricante das turbinas hidráulicas e não ter uma curva colina definitiva para estas. Diante disto, optou-se por utilizar um redutor para o rendimento encontrado, chegando finalmente ao valor de 92,5%.

Perda Hidráulica

A perda hidráulica considerada nas simulações de operação da usina foi de 0,6 m, este valor foi obtido da NT SIN-V-00-230.018-MC-R0B de 24 de abril de 2009.

Taxas de Indisponibilidade

A tabela abaixo apresenta os valores da taxa de indisponibilidade forçada e programada (TEIF e IP) adotados para as alternativas de potência unitária dos empreendimentos que compõem o sistema de referência, conforme recomendado pelo Comitê Brasileiro da CIER – BRACIER.

Tabela 7 – Taxas de Indisponibilidades Forçada e Programada

Potência Unitária (MW)	TEIF (p.u.)	IP (p.u.)
até 29	0,02333	0,06861
30 -- 59	0,01672	0,05403
60 -- 199	0,02533	0,08091
200 -- 500	0,02917	0,12122
501 -- 699	0,06000	0,08000
700 -- 1300	0,00210	0,10000

Para o empreendimento em estudo foram utilizados os valores de Taxa Efetiva de Indisponibilidade Forçada de 2,533% e de Indisponibilidade Programada de 8,091%.

Foram adotados os seguintes valores de usos consuntivos incrementais:

Tabela 8 – Usos consuntivos

Usos consuntivos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Sinop(*)	-2,88	-2,88	-10,08	-12,96	-15,84	-18,72	-15,84	-15,84	-7,2	-2,88	-2,88	-2,88
Colider (*)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Teles Pires (**)	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9
São Manoel(**)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Foz do Apicás(**)	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6

(*) – Valores resultantes da nota técnica da EPE nº EPE-DEE-RE-031/2010-r1 (disponível em www.epe.gov.br), para o cálculo da garantia física de Colider para o leilão A-5 de 2010.

(**) – valores obtidos do Ofício ANA nº 835/2009/SOF-ANA.

Os sistemas de transposição de peixes das usinas do rio Teles Pires foram modelados nos estudos energéticos como uma vazão remanescente em cada aproveitamento. Os valores são apresentados a seguir:

Tabela 9 – Vazão remanescente

Vazão remanescente	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Sinop	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4
Colider	-9,5	-9,5	-9,5	-9,5	-9,5	-9,5	-9,5	-9,5	-9,5	-9,5	-9,5	-9,5
Teles Pires	-10,5	-10,5	-10,5	-10,5	-10,5	-10,5	-10,5	-10,5	-10,5	-10,5	-10,5	-10,5
São Manoel	-9,6	-9,6	-9,6	-9,6	-9,6	-9,6	-9,6	-9,6	-9,6	-9,6	-9,6	-9,6
Foz do Apiacás	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4

Parâmetros Econômicos

Para as análises econômico-energéticas foram adotados os seguintes parâmetros:

Taxa de desconto de 10%;

Período de amortização de 50 anos,

Custo de dimensionamento de energia de R\$ 130,00 /MWh;

Custo de operação e manutenção estimados em R\$3,20 /MWh.

2.3 Dimensionamento do Volume Útil do Reservatório

Determinação do nível d'água máximo operativo

O limite superior para o nível máximo operativo é dado pela cota 302,00 m, já que a partir deste valor, a área do reservatório aumenta significativamente, e, por consequência, seus impactos socioambientais.

Para cada alternativa de N. A. Máximo Operativo determinou-se o deplecionamento ótimo do reservatório. A potência de referência utilizada nestas simulações foi de 400MW. O resultado da análise é apresentado a seguir:

Tabela 10 – Análise Custo Benefício para escolha do N. A. Máximo Normal Operativo

NAMax / NAMín	Custo c/ JDC e O&M (R\$10 ⁶)	Ganho de Energia Firme (MWmed)		Benefício Energético (R\$10 ⁶)		Benefício Incremental (R\$10 ⁶)		ICB Incremental	
		Cascata	Sistema	Cascata	Sistema	Cascata	Sistema	Cascata	Sistema
300/292	1.789,80	207,62	217,58	2.344,24	2.456,69	-	-	-	-
302/292	1.979,95	226,93	242,78	2.562,26	2.741,23	218,03	284,53	0,87	0,67

De acordo com a tabela apresentada acima, a alternativa de N. A. Máximo Operativo a ser escolhida deve ser a de 302,00 m.

No entanto deve-se prever uma operação especial do reservatório da UHE Sinop para que nos meses de junho a novembro sejam preservadas as condições naturais nas lagoas localizadas a montante do reservatório. Ressalta-se que os meses de junho e novembro são meses de transição entre os níveis 302,00 m e 300,00 m.

Para tanto, a usina foi modelada de forma a contemplar na operação de seu reservatório, uma restrição de Nível d'Água Máximo igual a 300 m, nos referidos meses de estiagem, para atender a preservação das lagoas, mesmo quando a alternativa em estudo seja na cota 302 m.

Finalmente, a análise custo benefício para a escolha do N. A. Máximo Normal Operativo, contemplando a restrição de nível máximo no período de estiagem, é apresentada a seguir:

Tabela 11 – Análise Custo-Benefício para escolha do N. A. Máximo Normal Operativo com a Restrição Operativa

NAMax / NAMín	Custo c/ JDC e O&M (R\$10 ⁶)	Ganho de Energia Firme (MWmed)		Benefício Energético (R\$10 ⁶)		Benefício Incremental (R\$10 ⁶)		ICB Incremental	
		Cascata	Sistema	Cascata	Sistema	Cascata	Sistema	Cascata	Sistema
300/292	1.789,80	207,62	217,58	2.344,24	2.456,69	-	-	-	-
302/292	1.980,01	227,15	253,23	2.564,75	2.859,22	220,51	402,52	0,86	0,47

De acordo com a tabela apresentada acima, o N. A. Máximo Operativo escolhido deverá ser 302 m.

Determinação do nível d'água mínimo operativo

O nível d'água mínimo operativo determina o volume útil do reservatório. Para cada valor de N. A. Máximo deve-se determinar o corresponde valor de N. A. Mínimo ótimo. Este procedimento é feito levantando os valores incrementais do benefício energético convertido para valor econômico e do custo do empreendimento ao se reduzir o N. A. Mínimo do reservatório.

O limite de redução do N. A. Mínimo foi determinado pelo nível d'água que garante que a abertura da tomada d'água esteja sempre totalmente submersa com folga suficiente para evitar a formação de vórtices nas máquinas. Esta condição levou a um limite de redução do N. A. Mínimo até a cota 292,00 m.

O benefício energético ao aumentar o volume útil do reservatório é contabilizado como a

soma dos ganhos de energia firme nas usinas a jusante do aproveitamento em análise, subtraída da perda de energia firme na própria usina, devido à perda de queda líquida que ocorre quando o reservatório é deplecionado.

As usinas a jusante da UHE Sinop consideradas nos estudos são: Colider, Teles Pires e São Manoel, no rio Teles Pires, e Chacorão, Jatobá e São Luiz do Tapajós no rio Tapajós. O ganho de energia firme da Cascata é a soma da energia firme da UHE Sinop com os incrementos de energia firme nas usinas de jusante.

Na tabela a seguir são apresentados os dados obtidos para diferentes N. A. Mínimos Operativos e o N. A. Máximo Operativo de 302,00 m.

Tabela 12 – Ganhos de Energia Firme para cada opção de Deplecionamento da UHE Sinop

Deplecionamento	Ganho de Energia Firme						Energia Firme Local	Incremento	Fator de Capacidade
	Usinas de jusante	Incremento	Cascata	Incremento	Sistema	Incremento			
0	7,20		211,29		199,45	-	204,09	-	51%
2	11,00	3,80	215,54	4,25	204,79	5,34	204,54	0,45	51%
4	14,07	3,07	218,73	3,19	210,57	5,78	204,66	0,12	51%
6	18,36	4,29	222,29	3,56	219,25	8,68	203,93	-0,73	51%
8	21,92	3,56	224,95	2,66	228,63	9,38	203,03	-0,90	51%
10	25,29	3,37	227,15	2,20	239,21	10,58	201,86	-1,17	50%

Os ganhos de energia firme obtidos nas usinas de jusante e no sistema indicam que a UHE Sinop deverá operar como usina de regularização com um deplecionamento máximo de 10 metros.

2.3 Estudo de Motorização

Uma vez determinado o volume útil ótimo do reservatório, iniciam-se os estudos de definição da potência instalada ótima. Esses estudos consistem em, inicialmente, analisar os incrementos de energia firme decorrentes da variação da potência. Para subsidiar as análises, foram realizadas algumas hipóteses de motorização, elaborando, inclusive, seus orçamentos com os dados mais atualizados disponíveis. Para que os orçamentos fossem feitos da maneira mais acurada possível, determinou-se, a partir das simulações energéticas desenvolvidas até o momento, a queda de referência de 24,5 m. O resultado do estudo de motorização é apresentado a seguir:

Tabela 13 - Análise Custo-Benefício para a Motorização utilizando o Ganho de Energia Firme da Cascata

POTÊNCIA INSTALADA	GANHO DE ENERGIA FIRME DA CASCATA		CUSTO DE INVESTIMENT O COM JDC	CUSTO DE O&M	CUSTO TOTAL	ÍNDICE CUSTO- BENEFÍCIO DA ALTERNATIVA	ANÁLISE INCREMENTAL				
							Δ ENERGI A	Δ BENEFÍ- CIO	Δ CUSTO	ÍNDICE CUSTO- BENEFÍCIO DO INCREMENT O	RELA- ÇÃO ΔC/ΔB
(MW)	(MW- médios)	(MWh/ano)	(10 ⁶ R\$)	(10 ⁶ R\$)	(10 ⁶ R\$)	(R\$/MWh)	(MWh/a no)	(10 ⁶ R\$)	(10 ⁶ R\$)	(R\$/MWh)	-
360	220,98	1.935,79	1.828,35	61,42	1.889,76	98,46	-	-	-	-	-
400	227,15	1.989,83	1.887,09	63,13	1.950,23	98,85	54.049,2	69,67	60,46	112,82	0,8679
440	230,93	2.022,95	1.948,26	64,18	2.012,45	100,34	33.112,8	42,68	62,22	189,52	1,4578

Avaliando os benefícios energéticos na Cascata, apresentados na Tabela 14, a potência ótima a ser instalada é de 400 MW.

Determinação do Número de Unidades Instaladas

Uma vez estabelecida a potência instalada de 400 MW, foram realizadas algumas análises a fim de subsidiar a escolha do número de unidades geradoras. Esta escolha é influenciada por diversos fatores, entre eles economicidade e flexibilidade operacional.

Devido ao limite de potência para a fabricação de turbinas do tipo Kaplan, foram estudadas duas alternativas de motorização, com 3 e 4 unidades geradoras. A hipótese com 3 unidades geradoras é mais atraente economicamente, sendo que a diferença econômica entre as duas alternativas de motorização se situa na faixa de 100 milhões de reais.

Para mensurar a flexibilidade operativa de acordo com o número de unidades da UHE, realiza-se uma análise considerando que a usina deva operar durante o horário de ponta, considerado como sendo 10% do tempo, fornecendo toda sua potência instalada, e fora deste horário de ponta, deva ser capaz de operar com a potencia mínima de pelo menos uma de suas unidades. Essa análise é apresentada a seguir na Tabela 14:

Tabela 14 – Permanência de Atendimento a Ponta para cada Nº de Unidades Estudado

Número de Unidades	Permanência
4	100%
3	99,5%

As diferenças entre as duas alternativas quanto à segurança ao atendimento de ponta não são significativas. Portanto, a escolha do número de unidades deverá atender ao critério do

mínimo custo de investimento, no caso a alternativa com 3 unidades geradoras.

Determinação da Queda de Projeto e de Referência

De posse dos resultados dos estudos de deplecionamento, potência e motorização, é possível dimensionar as quedas de referência e de projeto da usina.

A queda de projeto é definida como a queda para a qual o rendimento da turbina será máximo. Esta queda é calculada como a média das quedas médias mensais ponderadas pela energia gerada ao longo do período crítico, que é dada pela seguinte equação:

$$H_p = \frac{\sum_{i=l}^m G_i * H_i}{\sum_{i=l}^m G_i}$$

Onde:

H_p é a queda de projeto (m);

G_i é a geração da usina no mês i (MW médios);

H_i é a queda líquida da usina no mês i (m);

l e m são, respectivamente, os meses de início (jun/49) e fim (nov/56) do período crítico.

Para a configuração da UHE Sinop operando com o N. A. Máximo na cota 302,00 m, observando a restrição operativa na estiagem, N. A. Mínimo na cota 292,00 m, potência instalada de 400MW e 3 unidades com turbinas Kaplan, foi obtida uma queda de projeto de 26,3 m.

A queda de referência é definida como a queda para a qual a turbina, com abertura máxima do distribuidor, permite o gerador fornecer sua potência máxima. O valor desta queda definido para a elaboração dos orçamentos no estudo de motorização foi de 24,5m. Concluído o estudo de motorização da usina, é possível, através da permanência de quedas líquidas, analisar a adoção deste valor.

O valor adotado tem uma permanência de 94,8%, ou seja, a usina será capaz de fornecer sua potência instalada durante 94,8% do tempo de operação. Esta estatística é perfeitamente aceitável para o dimensionamento de usinas hidroelétricas do Sistema Interligado Nacional.

2.4 Regra Operativa da UHE SINOP

O relatório SIN-V-00-000.012-RE-R0 prevê a preservação das lagoas sazonais que se apresentam naturalmente na região onde, de acordo com os estudos de remanso do reservatório de SINOP no nível máximo de 302 m em seu eixo, seriam totalmente alagadas.

Como exposto, essas lagoas se apresentam de forma sazonal, ou seja, parte do ano estão totalmente submersas e parte estão expostas no ambiente.

Como o estabelecimento do nível máximo operativo da UHE Sinop sem qualquer tipo de restrição impossibilitaria a preservação das lagoas sazonais, foram estudadas duas alternativas:

- Estabelecimento do nível máximo operativo na cota 300 m, nível limite para que o remanso do reservatório não atinja as lagoas;
- Estabelecimento do nível máximo operativo na cota 302 m, sendo que nos meses em que tradicionalmente as lagoas ficam expostas, esse nível seja estabelecido na cota 300 m.

A avaliação da produção energética de uma UHE tradicionalmente é feita através do modelo MSUI, que é capaz de simular a operação das usinas hidrelétricas que compõe o SIN, dadas as séries de vazões das respectivas usinas. Como o modelo MSUI simula todo o conjunto de usinas, ele nos permite avaliar o ganho que a inserção de um reservatório de regularização fornece à cascata na qual este reservatório se insere. Esta avaliação é feita comparando a energia produzida pela cascata com ou sem o reservatório em questão.

No entanto, o modelo MSUI não permite a inserção de um nível máximo variável mês a mês, que seria a forma ideal para se modelar a situação descrita na segunda alternativa estudada.

Diante deste fato a EPE elaborou uma metodologia alternativa, utilizando o próprio modelo MSUI de forma iterativa, alterando seus dados de entrada de forma a emular o funcionamento do MSUI contemplando a restrição de nível máximo operativo variável para os meses de chuvas e estiagem.

Metodologia

A metodologia utilizada parte do fato de que o modelo MSUI procura operar o reservatório de Sinop de forma paralela a operação dos demais reservatórios do sistema simulado. A partir do resultado da operação deste reservatório o modelo obtém a vazão afluente à usina imediatamente a jusante, e a partir daí, determina a operação das demais usinas da cascata.

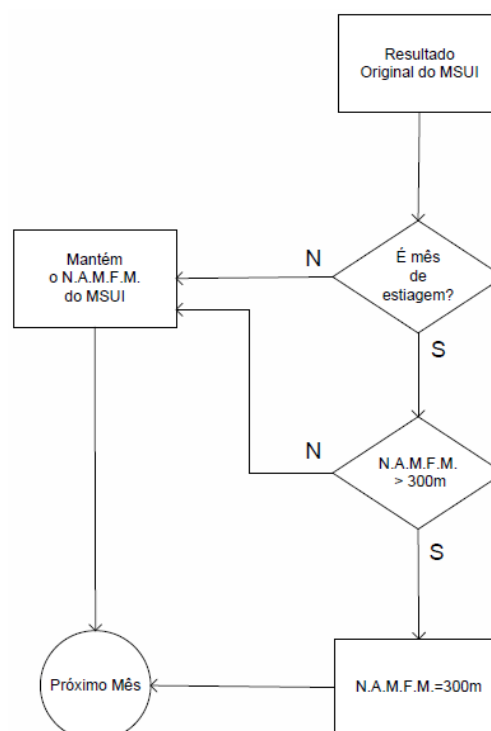
Então, pode-se sugerir que o efeito exclusivo do reservatório de regularização pode ser emulado a partir da substituição da série de vazões naturais afluentes à usina imediatamente a jusante por uma série que contemple esta regularização. Como o modelo MSUI recebe como dado de entrada as séries de vazões afluentes totais, e não as incrementais, é necessária fazer esta correção em todas as usinas a jusante na cascata.

Nos testes apresentados neste relatório foi possível identificar uma proximidade muito grande nos valores de produção energética utilizando a simulação convencional, e a simulação excluindo o reservatório de regularização e trocando as séries de vazões afluentes das usinas da cascata por séries que contemplem a regularização do reservatório da UHE Sinop.

A partir da hipótese de se emular um reservatório de regularização sem que ele esteja na configuração para a simulação do modelo, pode-se definir uma maneira de modificar a operação dada pelo MSUI de forma a atender a restrição não contemplada originalmente pelo modelo.

Com os resultados da simulação da operação do reservatório de Sinop, dado pelo modelo MSUI, foram determinados novos valores de níveis de montante no final do mês considerando a restrição de N. A. Máximo de Montante nos meses de estiagem, igual a 300 m. O procedimento utilizado é ilustrado abaixo:

Figura 1 - Procedimento de Determinação do Nível d'Água de Montante no Final do período do UHE Sinop



Sendo,

N.A.M.F.M. – Nível d'Água de Montante no Final do Mês

A premissa utilizada procurou preservar a decisão do modelo para o N.A.M.F.M., alterando-o somente quando necessário para atender a restrição. Lembrando que o modelo procura operar os reservatórios do SIN em paralelo, isto é, a decisão sobre o N.A.M.F.M. de Sinop é dada pelas condições do sistema na simulação do mês em questão.

Uma vez determinados os novos níveis de montante, foi possível determinar um novo valor para a Vazão de Enchimento/Deplecionamento do reservatório de Sinop:

$$Q_{ench_m}^* = \frac{VolFtmMes_m^* - VolFtmMes_{m-1}^*}{nsegmes_m}$$

Sendo,

Q_{ench_m} : Vazão de Enchimento/Deplecionamento de Sinop no período (mês/ano) m

$VolFtmMes_m$: Volume no Final do período (mês/ano) para Sinop no período m, obtido a partir do nível de montante correspondente e do polinômio de cota do reservatório em função do volume (PVC).

$nsegmes_m$: número de segundos no período (mês/ano) m

Obs.: Na equação acima e nas apresentadas a seguir a notação com asterisco (*) será utilizada para os novos valores calculados pela metodologia, e a notação sem asterisco para os valores originais obtidos com o modelo MSUI.

A partir da nova vazão de Enchimento/Deplecionamento novos valores de Vazão Turbinada e Defluente foram determinados, da forma apresentada a seguir:

$$Q_{turb_m}^* = Q_{turb_m} + Q_{ench_m}^* - Q_{ench_m}$$

$$Q_{defl_m}^* = Q_{defl_m} + Q_{ench_m}^* - Q_{ench_m}$$

Sendo,

Q_{defl_m} : Vazão Defluente de Sinop no período (mês/ano) m

Q_{turb_m} : Vazão Turbinada de Sinop no período (mês/ano) m

Obs.: Essa simplificação no cálculo dos novos valores de vazão turbinada pôde ser assumida porque não ocorreu vertimento nos períodos em que $Q_{ench_m}^* \neq Q_{ench_m}$, ou seja, nos

períodos em que foi necessária a operação especial.

Uma vez determinados os novos valores de vazão defluente ao reservatório de Sinop, é possível determinar novas séries de vazões naturais afluentes às usinas da cascata a jusante de Sinop. Estas séries, artificialmente geradas, serão utilizadas para simular as usinas considerando a regularização do reservatório de Sinop – com a restrição de nível de montante nos meses de estiagem – sem que seja necessária a inserção da UHE Sinop na configuração.

O cálculo das vazões afluentes artificiais é feito da seguinte maneira:

$$Q_{afl_{m,i}}^* = Q_{afl_{m,i}} + \Delta_{m,i}$$

$$\Delta_{m,i} = Q_{afl_{m,Sinop}} - Q_{defl_{m,i}}^*$$

Sendo,

$Q_{afl_{m,i}}$: Vazão Afluente a usina i no período (mês/ano) m

Finalmente, simulam-se as usinas com as vazões artificialmente geradas sem Sinop na configuração. Os valores obtidos para as usinas na cascata a jusante de Sinop são comparados com os valores encontrados para uma simulação com as vazões naturais afluentes e sem Sinop. O resultado da comparação apresenta o ganho do reservatório de Sinop considerando a restrição em 300 m para o N. A. Máximo de Montante nos períodos de estiagem.

Uma vez que novos valores de vazão turbinada e nível de montante em Sinop são determinados, é necessário recalcular a produção energética desta usina para o histórico de simulação. Na metodologia proposta este cálculo é feito da mesma maneira que no modelo MSUI, utilizando a curva-chave do canal de fuga, a distribuição de patamares entre ponta e fora de ponta, a restrição de engolimento máximo em função da queda líquida, da queda de referência e do fator BETA para turbinas Kaplan.

Validação da Metodologia

De forma a validar a metodologia proposta, foram feitas simulações a partir do estudo de caso da UHE Sinop, sem que fosse considerada a restrição de N. A. de Montante Máximo Operativo nos meses de estiagem.

A seguir é apresentada a comparação das energias médias e firmes das usinas a jusante de Sinop, em um caso em que a UHE Sinop está na configuração e outro caso em que as séries

de vazões afluentes foram tratadas de forma a contemplar a regularização do reservatório de Sinop.

Tabela 15 - Comparação entre casos com Sinop e sem Sinop com vazões artificiais na cascata

Usina	Energias c/ Sinop na Configuração		Energias s/ Sinop - Séries Artificiais	
	Firme	Média	Firme	Média
JATOBA	1217,16	1217,5	1217,18	1217,5
SÃO LUIZ TAPAJÓS	2926,86	2928,81	2926,86	2928,81
CHACORAO	1713,87	1712,2	1713,87	1712,2
COLIDER	179,31	179,16	179,31	179,16
TELES PIRES	894,13	915,5	894,13	915,5
SAO MANOEL	399,28	404,37	399,28	404,37
FOZ APIACAS	96,7	104,36	96,7	104,36
CASCATA	7427,31	7461,9	7427,33	7461,9

Como apresentado, não foram encontradas diferenças significativas nas energias médias e firmes das usinas da cascata a jusante de Sinop. Desta forma foi embasada a abordagem utilizada.

Aplicação da Metodologia

A seguir seguem os resultados utilizando a série de vazões afluentes nas usinas a jusante, contemplando a operação do reservatório de Sinop, sendo este sujeito a restrição de N. A. Máximo Operativo como 300 m nos meses de estiagem. Estes resultados são comparados com a simulação com Sinop na configuração sem nenhum tipo de restrição.

Tabela 16 – Comparação entre casos com Sinop e sem Sinop com vazões artificiais na cascata contemplando a restrição de N. A. Máximo Operativo de 300 m na estiagem

Usina	Energias c/ Sinop na Configuração		Energias s/ Sinop - Séries Artificiais	
	Firme	Média	Firme	Média
JATOBA	1217,16	1217,5	1217,72	1217,7
SÃO LUIZ TAPAJÓS	2926,86	2928,81	2927,08	2928,91
CHACORAO	1713,87	1712,2	1714,08	1712,36
COLIDER	179,31	179,16	179,2	179,31
TELES PIRES	894,13	915,5	894,76	916,23
SAO MANOEL	399,28	404,37	399,28	404,58
FOZ APIACAS	96,7	104,36	96,7	104,36
CASCATA	7427,31	7461,9	7428,82	7463,45

Os resultados acima indicam que a inserção da restrição no nível máximo de montante para a UHE Sinop nos meses de estiagem não gera perdas energéticas ao ganho de regularização original na cascata a jusante. O aumento da energia firme com a restrição pode ser justificado pelo fato de que o modelo MSUI não otimiza a geração em uma cascata apenas, mas em todo o sistema e também pela adoção da regra de operação em paralelo, que é uma regra empírica e não necessariamente representará sempre a operação ótima.

Cálculo da Produção Energética de Sinop

A nova operação do reservatório de Sinop leva a um novo cálculo da produção energética local nesta UHE. A metodologia prevê este cálculo e os resultados são apresentados a seguir:

Tabela 17 - Energia resultante da operação convencional e especial

Usina	Energias - Simulação Convencional		Energias - Operação Especial	
	Firme	Média	Firme	Média
SINOP	203,15	209,82	201,82	207,38

Como esperado, a operação especial prevê uma perda energética para a UHE Sinop, visto que, comparativamente a usina será obrigada a trabalhar em alguns meses em uma cota de montante mais baixa, tendo uma queda líquida disponível menor e gerando menos energia.

3. Conclusão

Os Estudos Energéticos da UHE Sinop indicam que seu reservatório deverá operar da elevação 292 m até a elevação 302 m, cumprindo a regra operativa exclusivamente para atender a condicionante ambiental de preservação da dinâmica de formação de lagoas nas proximidades da confluência do Rio Verde com o rio Teles Pires. A casa de força deverá conter 3 unidades geradoras Kaplan de 133,3 MW, totalizando 400 MW de potência instalada.

Desta forma a energia firme local para a UHE Sinop é de 201,82 MW médios, e, portanto, o seu fator de capacidade é de 50,5%. Entretanto, a energia firme total da UHE contabilizando o ganho fornecido quando da operação em conjunto de toda a cascata inventariada nos rios Teles Pires e Tapajós, será de 227,15 MWmed.