LUDMILSON ABRITTA MENDES

O IMPACTO DOS USOS CONSUNTIVOS NA OPERAÇÃO DE
SISTEMAS DE RESERVATÓRIOS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Engenharia

Área de concentração:
Engenharia Hidráulica

Orientador:
Prof. Dr. Mario Thadeu Leme de Barros

São Paulo
2012

LUDMILSON ABRITTA MENDES

O IMPACTO DOS USOS CONSUNTIVOS NA OPERAÇÃO DE
SISTEMAS DE RESERVATÓRIOS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Engenharia

Área de concentração:
Engenharia Hidráulica

Orientador:
Prof. Dr. Mario Thadeu Leme de Barros

São Paulo
2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Mendes, Ludmilson Abritta

O impacto dos usos consuntivos na operação de sistemas de reservatórios para produção de energia elétrica / L.A. Mendes. -- São Paulo, 2012.

167 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.

1.Recursos hídricos (Gerenciamento) 2.Geração de energia elétrica 3.Reservatórios (Operação) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental II.t.

À Roberta.
À Gracinha e ao Domingos.

AGRADECIMENTOS

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Mario Thadeu Leme de Barros, pela orientação das diretrizes deste trabalho, pela confiança e pelo apoio sempre demonstrados nos projetos desenvolvidos nos últimos seis anos.

À FDTE, pelo apoio financeiro durante a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. João Damasio de Oliveira Filho, pela disponibilização das informações relativas às outorgas na bacia do São Francisco, pelas reflexões e debates que motivaram esta pesquisa em seu início.

Ao Prof. Dr. Renato Carlos Zambon, pelo auxílio fundamental ao tratamento do problema proposto. Ao Dr. João Eduardo Gonçalves Lopes, pela colaboração e troca de informações relevantes para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos amigos e colegas de pesquisa MSc. Camila Brandão e MSc. Roberto Maximiano Pereira, pelas discussões relacionadas ao tema deste trabalho. Ao engenheiro Leonardo Teixeira Rocha, pelas informações que ajudaram a enriquecer esta pesquisa.

Ao amigo Dr. Daniel Jorge Caetano, pelo estímulo e pela contribuição técnica com os quais pude contar ao longo do desenvolvimento da tese.

À minha mulher, Roberta, por sua ajuda na concretização deste trabalho, sua compreensão e seu constante incentivo, principalmente quando deles mais careci.

A meus pais, Domingos e Maria das Graças, primeiros orientadores de minha formação, por seu apoio em todos os momentos.

(...) amo os grandes rios, pois são profundos como a alma do homem. Na superfície são muito vivazes e claros, mas nas profundezas são tranquilos e escuros como os sofrimentos dos homens. Amo ainda mais uma coisa de nossos grandes rios: sua eternidade. Sim, rio é uma palavra mágica para conjugar eternidade.

(João Guimarães Rosa)

RESUMO

Este trabalho trata da avaliação dos impactos que os múltiplos usos da água causam à operação dos reservatórios de uma bacia hidrográfica para a geração de energia elétrica. Apresenta-se o equacionamento do modelo HIDRO, desenvolvido em linguagem GAMS para tratamento de problemas de otimização em Programação Não Linear, cuja função objetivo inclui variáveis relacionadas não somente à geração de energia, como também ao fornecimento de água aos diversos usos do recurso hídrico tratados no problema. A aplicação do modelo é feita para a bacia do rio São Francisco, localizada entre as regiões Sudeste e Nordeste do Brasil, que conta com uma capacidade instalada de 10,7 GW em suas usinas hidrelétricas, as quais também realizam operações de controle de cheia. A região apresenta um expressivo uso consuntivo do recurso hídrico, principalmente voltado à irrigação de culturas, além de abastecimento humano e criação animal. Dentre os usos não consuntivos, têm-se a navegação e a conservação ambiental. Uma vez que grande parte da bacia é marcada por escassez hídrica, a operação de seu sistema de reservatórios vem sendo questionada no que se refere ao gerenciamento dos recursos hídricos. São avaliados os índices de atendimento da demanda de energia e da demanda hídrica para cenários de baixa afluência aos reservatórios. As relações de troca entre energia, uso consuntivo e conservação ambiental são avaliadas, levando-se em conta, também, os efeitos decorrentes da transposição das águas do São Francisco para o Nordeste Setentrional. As perdas na geração de energia decorrentes do aumento da demanda hídrica e do aumento da demanda ambiental são avaliadas. São estimados os custos relacionados às perdas na geração de energia se as demandas consuntivas atingirem o valor outorgado na bacia pelo Poder Público, valor este que não consegue ser plenamente atendido. O modelo proposto pode ser aplicado a quaisquer bacias hidrográficas com múltiplos usos do recurso hídrico.

Palavras-chave: Recursos hídricos (Gerenciamento). Geração de energia elétrica. Reservatórios (Operação).

ABSTRACT

This research presents a study conducted to evaluate the impacts of the hydroelectric power plants operation caused by the multipurpose uses of water resources. There are many conflicts involved in the operation of a reservoir system mainly due to competitive uses of water. That is the case of São Francisco River, located between the Southeast and Northeast regions of Brazil. The hydro system in this region has an installed capacity of 10.7 GW and supports 13% of the Brazilian hydro electrical power. Due to the scarcity of water in this region, the operation of this system has been questioned in the last few years. The competitive uses of water in this region are water supply, irrigation and animal raising. The non-consumptive uses of water are navigation and environmental protection. The electrical sector is planning to review the reservoir operation rules in order to attend these demands. The study was conducted by applying the HIDRO model, which is an optimization PNL model developed with GAMS software that maximizes hydropower production. A new objective function was added to the HIDRO model in order to consider the treatment of energy and water demands the both. The trade-offs among energy, consumptive uses and environment protection are presented. The lack of energy due the increasing water demand implies costs which are evaluated according to some demand scenarios and different scarcity historical periods. Also the effect due the operation of the water transfer system from São Francisco to the neighboring basins is considered.

Keywords: Water resources management. Electric power generation. Reservoirs operation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Empreendimentos outorgados desde 1998 e que não tiveram construção iniciada	27
Figura 3.2 - Mapa do SIN, seus subsistemas e interligações	29
Figura 3.3 - Cronograma de expansão das usinas hidrelétricas do SIN	31
Figura 4.1 - Representação esquemática de uma usina hidrelétrica e grandezas envolvidas	39
Figura 5.1 - Mapa da bacia hidrográfica do rio São Francisco	50
Figura 5.2 - Distribuição da vazão captada por tipo de uso em cada região fisiográfica.....	53
Figura 5.3 - Distribuição da vazão consumida por tipo de uso em cada região fisiográfica ..	55
Figura 5.4 - Representatividade dos usos consuntivos na vazão outorgada na bacia do São Francisco	57
Figura 5.5 - Distribuição do consumo outorgado nas áreas de contribuição dos reservatórios	58
Figura 5.6 - Evolução da área irrigada no Brasil e na bacia do São Francisco.....	62
Figura 5.7 – Áreas irrigadas na sub-bacia do Alto Rio Grande, Oeste Baiano	64
Figura 5.8 – Vista aérea do canal de irrigação do Baixio de Irecê, Bahia.....	65
Figura 5.9 – Áreas irrigadas em Jaíba, sub-bacia do Verde Grande, Norte de Minas	65
Figura 5.10 - Mapa de localização dos eixos da transposição do rio São Francisco	67
Figura 5.11 - Diagrama esquemático das usinas hidrelétricas da bacia do São Francisco ..	69
Figura 5.12 – Curva de permanência de ENA na bacia do S. Francisco	77
Figura 5.13 – Curva de permanência das médias-móveis de 7 anos de ENA.....	78
Figura 6.1 – Curvas de Pareto entre geração de energia e uso consuntivo no período abr/1998-mar/2005	97
Figura 6.2 – Curvas de Pareto entre conservação ambiental e uso consuntivo no período abr/1998-mar/2005	99
Figura 6.3 – Curvas de Pareto entre conservação ambiental e geração de energia no período abr/1998-mar/2005	100
Figura 6.4 – Curvas de Pareto entre geração de energia e uso consuntivo no período abr/1950-mar/1957	103
Figura 6.5 – Curvas de Pareto entre conservação ambiental e uso consuntivo no período abr/1950-mar/1957	104
Figura 6.6 – Curvas de Pareto entre conservação ambiental e geração de energia no período abr/1950-mar/1957	105

Figura 6.7 – Curvas de Pareto entre geração de energia e uso consuntivo com variação dos coeficientes ponderadores ω e ψ – Cenário I.....	106
Figura 6.8 – Curvas de Pareto entre geração de energia e uso consuntivo com variação dos coeficientes ponderadores ω e ψ – Cenário VI	107
Figura 6.9 – Geração de energia para os diferentes períodos	109
Figura 6.10 – <i>Deficit</i> de energia acumulado para os diferentes períodos de afluência	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Evolução da Oferta Interna de Energia Elétrica.....	19
Tabela 1.2 – Evolução da capacidade instalada	20
Tabela 3.1 - Empreendimentos outorgados desde 1998 e que não tiveram construção iniciada	26
Tabela 3.2 - Capacidade de geração (kW) por tipo de aproveitamento em operação	28
Tabela 3.3 - Usinas hidrelétricas do SIN em fase de construção ou planejadas	30
Tabela 5.1 - Características hidroclimáticas das regiões da bacia do São Francisco.....	51
Tabela 5.2 - Distribuição da Q_{MLT} e da Q_{95} nas regiões fisiográficas	52
Tabela 5.3 - Balanço entre captação e disponibilidade hídrica na bacia do S. Francisco.....	54
Tabela 5.4 - Vazão captada e disponibilidade hídrica na bacia do S. Francisco	54
Tabela 5.5 – Uso consuntivo em 2011 segundo ONS.....	56
Tabela 5.6 - Distribuição das outorgas segundo o tipo de uso	56
Tabela 5.7 – Vazão de consumo outorgada até 2009 nas áreas de contribuição dos reservatórios.....	58
Tabela 5.8 – Diferença entre os valores de consumo segundo ONS e segundo CNARH	58
Tabela 5.9 - Características socioeconômicas da bacia do São Francisco	60
Tabela 5.10 - Demanda média de abastecimento público segundo ONS.....	60
Tabela 5.11 - Demandas de abastecimento público da bacia do São Francisco atendidas por mananciais superficiais segundo Atlas Brasil.....	61
Tabela 5.12 - Vazão captada para usos industriais na bacia do São Francisco	61
Tabela 5.13 - Área irrigada e demanda de irrigação na bacia do São Francisco.....	63
Tabela 5.14 - Estimativa da captação (m^3/s) para irrigação na bacia	63
Tabela 5.15 - Distribuição do potencial hidrelétrico pelas bacias hidrográficas	69
Tabela 5.16 - Características dos aproveitamentos hidrelétricos da bacia do S. Francisco .	70
Tabela 5.17 - Evaporação líquida (mm) dos reservatórios da bacia do S. Francisco	70
Tabela 5.18 - Coeficientes dos polinômios dos reservatórios da bacia do S. Francisco.....	70
Tabela 5.19 - Restrições operativas das usinas da bacia do São Francisco	73
Tabela 5.20 - Volumes de espera dos reservatórios para 2010-2011	74
Tabela 5.21 – Vazão mínima para conservação ambiental a jusante dos reservatórios.....	75
Tabela 5.22 – Estatísticas da série histórica de ENA da bacia do S. Francisco	76
Tabela 5.23 – Classificação dos períodos de seca na bacia do S. Francisco	77
Tabela 6.1 - Potência instalada e garantia física das usinas hidrelétricas	80
Tabela 6.2 – Cenários de demanda hídrica consuntiva (m^3/s)	81

Tabela 6.3 – Volume final dos reservatórios	83
Tabela 6.4 – Restrições de defluência mínima dos reservatórios	84
Tabela 6.5 – Representatividade dos usos prioritários em relação à demanda hídrica	84
Tabela 6.6 – Resultados do período abr/1998-mar/2005 sob restrição TMA300.....	86
Tabela 6.7 – Resultados do período abr/1998-mar/2005 sob restrição TMA400.....	86
Tabela 6.8 – Resultados do período abr/1998-mar/2005 sob restrição TMA500.....	86
Tabela 6.9 – Percentual de <i>deficit</i> e de falhas no atendimento de uso consuntivo no Cenário VI.....	88
Tabela 6.10 – Vazão média fornecida a uso consuntivo (UC), vazão turbinada média (R'), energia média gerada (E) e volume armazenado médio (S) no cenário VI	90
Tabela 6.11 – Resultados do período abr/1950-mar/1957 sob restrição TMA300.....	91
Tabela 6.12 – Resultados do período abr/1950-mar/1957 sob restrição TMA400.....	92
Tabela 6.13 – Resultados do período abr/1950-mar/1957 sob restrição TMA437.....	92
Tabela 6.14 – Relação de troca entre geração de energia e uso consuntivo na bacia do São Francisco para o período abr/1998-mar/2005	95
Tabela 6.15 – Variação da vazão fornecida a usos consuntivos pela transposição do São Francisco no período abr/1998-mar/2005	96
Tabela 6.16 – Variação da geração de energia pela transposição do São Francisco no período abr/1998-mar/2005	97
Tabela 6.17 – Relação de troca entre conservação ambiental e uso consuntivo no período abr/1998-mar/2005	98
Tabela 6.18 – Relação de troca entre conservação ambiental e geração de energia no período abr/1998-mar/2005	99
Tabela 6.19 – Relação de troca entre geração de energia e uso consuntivo na bacia do São Francisco para o período abr/1950-mar/1957	101
Tabela 6.20 – Variação da vazão fornecida a usos consuntivos pela transposição do São Francisco no período abr/1950-mar/1957	102
Tabela 6.21 – Variação da geração de energia pela transposição do São Francisco no período abr/1950-mar/1957	102
Tabela 6.22 – Relação de troca entre conservação ambiental e uso consuntivo no período abr/1950-mar/1957	104
Tabela 6.23 – Relação de troca entre conservação ambiental e geração de energia no período abr/1950-mar/1957	105
Tabela 6.24 – ENA média de 7 anos e permanência dos períodos selecionados	108
Tabela 6.25 – Atendimento energético para cada permanência de ENA	110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
AL	Estado de Alagoas
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASCE	American Society of Civil Engineers
BA	Estado da Bahia
CAR	Curvas Bianuais de Aversão ao Risco
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CBHSF	Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CE	Estado do Ceará
Cemig	Companhia Energética de Minas Gerais S/A
Cepel	Centro de Pesquisa de Energia Elétrica
Cesp	Companhia Energética de São Paulo
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CF	Constituição Federal
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CGU	Central Geradora Undi-Elétrica
Chesf	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CMO	Custo Marginal de Operação
CNARH	Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
Codevasf	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
Copel	Companhia Paranaense de Energia
COPPE	Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
Deso	Companhia de Saneamento de Sergipe
DF	Distrito Federal
Eletrobrás	Centrais Elétricas Brasileiras S/A

ENA	Energia Natural Afluente
EOL	Central Geradora Eolielétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
FDTE	Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia
GEF	Fundo Mundial para o Meio Ambiente
GERI	Grupo de Estudos de Relações Intersectoriais
GO	Estado de Goiás
ITP	Itaparica
Máx.	Máximo(a)
MG	Estado de Minas Gerais
Mín.	Mínimo(a)
MLT	Média de longo termo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
NA	Nível d'água
OEA	Organização dos Estados Americanos
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PAM	Complexo Paulo Afonso - Moxotó
PB	Estado da Paraíba
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PD	Programação dinâmica
PDDE	Programação dinâmica dual estocástica
PE	Estado de Pernambuco
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional
PL	Programação linear
PLD	Preço de Liquidação das Diferenças
PLIM	Programação linear inteira mista
PLS	Programação linear sucessiva
PMO	Programa Mensal de Operação
PNL	Programação não linear
PNLIM	Programação não linear inteira mista
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos

PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
QUE	Queimado
RBA	Retiro Baixo
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
RN	Estado do Rio Grande do Norte
SE	Estado de Sergipe
SIN	Sistema Interligado Nacional
SIPOT	Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro
SNGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SOB	Sobradinho
SSD	Sistema de Suporte a Decisão
TMA	Três Marias
TR	Período de retorno
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFV	Usina Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica de Energia
UTE	Usina Termelétrica de Energia
UTN	Usina Termonuclear
VE	Volume de espera para controle de cheias
VU	Volume útil
XIN	Xingó

LISTA DE SÍMBOLOS

ε_i = produtividade específica da usina i (MW/(m³/s)/m)

η_i = rendimento médio da usina i , valor adimensional que considera a operação dos conjuntos turbina-gerador e a perda de carga dos circuitos hidráulicos desde a tomada d'água até o canal de fuga ($0 < \eta_i \leq 1$)

ω = coeficiente ponderador do atendimento da demanda de energia

ψ_u = coeficiente ponderador do atendimento do uso consuntivo u

$a_{0i}, a_{1i}, a_{2i}, a_{3i}, a_{4i}$ = coeficientes do polinômio de quarto grau da equação do nível d'água do reservatório i em função do seu volume armazenado

$A_{i,t}$ = área do reservatório i no intervalo t (km²)

Af_i = área do reservatório a fio d'água i (km²)

$b_{0i}, b_{1i}, b_{2i}, b_{3i}, b_{4i}$ = coeficientes do polinômio de quarto grau da equação no nível d'água no canal de fuga de jusante da usina i em função da sua vazão defluente

$c_{0i}, c_{1i}, c_{2i}, c_{3i}, c_{4i}$ = coeficientes do polinômio de quarto grau da equação área do reservatório i em função do nível d'água no reservatório

$d_{0i}, d_{1i}, d_{2i}, d_{3i}, d_{4i}$ = coeficientes do polinômio de quarto grau da máxima vazão turbinada em função da queda para a usina i

$D_{i,t}$ = demanda objetivo de energia da usina i no intervalo de tempo t (MW)

$DE_{i,t}$ = desvio de vazão (transposição) a montante do reservatório i durante o intervalo t , valor considerado positivo se desviado para outras bacias e negativo se afluente à bacia (m³/s)

$DH_{i,u,t}$ = demanda objetivo do uso consuntivo u atendida a montante do reservatório i no intervalo de tempo t (m³/s)

$E_{i,t}$ = perda por evaporação no reservatório i durante o intervalo t (10⁶ m³)

f_{0i}, f_{1i}, f_{2i} = coeficientes do polinômio alternativo de segundo grau da área do reservatório i em função do seu volume armazenado

$H_{i,t}$ = nível d'água montante da usina i no intervalo t (m)

$Hb_{i,t}$ = queda bruta média da usina i durante o intervalo t (m)

Hf_i = nível d'água a montante da usina a fio d'água i no intervalo t (m)

$HT_{i,t}$ = nível d'água no canal de fuga da usina i no intervalo t (m)

i = índice de cada reservatório/usina hidrelétrica
 $I_{i,t}$ = vazão incremental afluente ao reservatório i durante o intervalo t (m^3/s)
 $ID_{i,t}$ = índice de disponibilidade das máquinas da usina i no intervalo t , valor adimensional relativo à manutenção ou à expansão do sistema ($0 \leq ID_{i,t} \leq 1$)
 $IE_{i,t}$ = taxa de evaporação do reservatório i durante o intervalo de tempo t (m)
 m_i = índice do reservatório/hidrelétrica imediatamente a montante de i
 ni = número total de reservatórios/usinas hidrelétricas
 nm_i = número total de reservatórios/hidrelétricas a montante de i
 nt = número total de intervalos de tempo;
 nu = número total de tipos de uso consuntivo
 $P_{i,t}$ = energia produzida pela usina i no intervalo de tempo t (MW)
 $P_i^{\max}$ = capacidade de geração da usina i (MW)
 Q_{95} = vazão com permanência de 95% no tempo
 Q_{cap} = vazão captada
 Q_{disp} = disponibilidade hídrica superficial
 Q_{MLT} = vazão média de longo termo ou vazão média histórica
 Q_{reg} = vazão regularizada
 $R_{i,t}$ = vazão defluente total da usina i no intervalo t (m^3/s)
 $R'_{i,t}$ = vazão turbinada pela usina i no intervalo t (m^3/s)
 $R''_{i,t}$ = vazão vertida pela usina i no intervalo t (m^3/s)
 $R_{i,t}^{\max}$ = vazão turbinada máxima da usina i (m^3/s)
 $R_{i,t}^{\min}$ = vazão turbinada mínima na usina i (m^3/s)
 $S_{i,t}$ = volume armazenado no reservatório i durante o intervalo t (10^6 m^3)
 $S_{i,t}^{\max}$ = volume armazenado máximo no reservatório i (10^6 m^3)
 $S_{i,t}^{\min}$ = volume armazenado mínimo no reservatório i (10^6 m^3)
 t = índice do intervalo de tempo
 u = índice do uso consuntivo
 $UC_{i,u,t}$ = vazão retirada do reservatório i para atendimento do uso consuntivo u no intervalo de tempo t (m^3/s)
 $UC_{i,t}^{\min}$ = derivação mínima do reservatório i no intervalo t para atendimento de usos consuntivos considerados prioritários (m^3/s)
 Z = objetivo do modelo HIDRO

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS	22
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1. Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos	23
3.2. O setor elétrico brasileiro	28
3.3. Estado da arte na modelagem de operação de reservatórios.....	32
4. METODOLOGIA.....	38
4.1. O modelo HIDRO	38
4.2. Análise dos resultados	45
<i>4.2.1. Avaliação dos Índices de atendimento</i>	<i>45</i>
<i>4.2.2. Estabelecimento das relações de troca – trade-offs – entre geração de energia elétrica e uso consuntivo</i>	<i>46</i>
<i>4.2.3. Análise de sensibilidade</i>	<i>47</i>
<i>4.2.4. Avaliação do atendimento energético ao longo da curva de duração das afluências.....</i>	<i>48</i>
5. ESTUDO DE CASO: bacia hidrográfica do rio São Francisco	49
5.1. Caracterização física da bacia	49
5.2. Descrição das principais demandas hídricas consuntivas	52
<i>5.2.1. Abastecimento urbano e uso industrial.....</i>	<i>59</i>
<i>5.2.2. Irrigação.....</i>	<i>62</i>
<i>5.2.3. Transposição do rio São Francisco para o Nordeste Setentrional.....</i>	<i>66</i>
5.3. Descrição dos principais usos não consuntivos na bacia.....	68
<i>5.3.1. Geração de energia pelas hidrelétricas</i>	<i>68</i>
<i>5.3.2. Navegação</i>	<i>71</i>
<i>5.3.3. Restrições operativas das usinas</i>	<i>72</i>
<i>5.3.4. Controle de cheias.....</i>	<i>73</i>
<i>5.3.5. Manutenção do ecossistema</i>	<i>75</i>
5.4. Histórico de afluências na bacia.....	75
6. APLICAÇÃO DO MODELO	79
6.1. Variáveis de entrada e restrições operativas	80

6.1.1. Demanda objetivo.....	80
6.1.2. Vazão afluyente e perdas por evaporação	82
6.1.3. Restrições operativas	83
6.2. Análise dos resultados	85
6.2.1. Análise dos índices de atendimento	85
6.2.2. Análise das relações de troca entre geração de energia, uso consuntivo e conservação ambiental.....	94
6.2.3. Análise de sensibilidade à variação de prioridade	105
6.2.4. Avaliação da geração de energia ao longo da curva de duração das afluências.....	108
7. CONCLUSÕES	112
REFERÊNCIAS.....	117
APÊNDICE	125
Anexo A – Histórico do PLD (30/jun/2001 a 01/jun/2012) segundo CCEE.....	146
Anexo B – Série histórica de ENA (MWmed) na bacia do rio S. Francisco	154
Anexo C – Resultados do Cenário I para o período abr/1998-mar/2005.....	156
Anexo D – Resultados do Cenário II para o período abr/1998-mar/2005.....	157
Anexo E – Resultados do Cenário III para o período abr/1998-mar/2005.....	158
Anexo F – Resultados do Cenário IV para o período abr/1998-mar/2005.....	159
Anexo G – Resultados do Cenário V para o período abr/1998-mar/2005	160
Anexo H – Resultados do Cenário VI para o período abr/1998-mar/2005	161
Anexo I – Resultados do Cenário I para o período abr/1950-mar/1957	162
Anexo J – Resultados do Cenário II para o período abr/1950-mar/1957	163
Anexo K – Resultados do Cenário III para o período abr/1950-mar/1957	164
Anexo L – Resultados do Cenário IV para o período abr/1950-mar/1957	165
Anexo M – Resultados do Cenário V para o período abr/1950-mar/1957	166
Anexo N – Resultados do Cenário VI para o período abr/1950-mar/1957	167

1. INTRODUÇÃO

Conforme a Lei Federal 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos deve ser descentralizado, participativo e proporcionar o uso múltiplo das águas. Nesse sentido, toda a estrutura que se criou voltada à gestão das águas no Brasil procura atender a esses princípios. A descentralização se dá pela implantação do sistema de gestão por bacia hidrográfica. O incentivo ao uso múltiplo e o caráter participativo são assegurados pela representação de todos os usuários das águas de uma bacia hidrográfica em fóruns de negociação, os Comitês de Bacia, nos quais têm assento não apenas os usuários como também os governos e as instituições da sociedade diretamente interessadas no gerenciamento dos recursos hídricos.

Um dos principais usos da água no Brasil é a geração de energia elétrica. Segundo o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2011), em 2010 os 405,1 TWh de energia gerados pelas hidrelétricas brasileiras representaram 74,3% da oferta interna de energia elétrica no País, avaliada em 544,9 TWh, conforme indicado na **Tabela 1.1**. Em termos de capacidade de geração instalada no Brasil, avaliada em 112,4 GW no ano de 2010, a parcela referente às hidrelétricas foi de 80,7 GW, ou 72% do total, conforme mostram os dados da **Tabela 1.2**.

Tabela 1.1 – Evolução da Oferta Interna de Energia Elétrica

Fonte de geração	1970		1980		1990		2000		2010	
	TWh	%	TWh	%	TWh	%	TWh	%	TWh	%
Hidráulica	39,8	87,3%	128,9	92,4%	206,7	82,9%	304,4	77,4%	405,1	74,3%
Térmica	5,8	12,7%	10,4	7,5%	15,6	6,3%	43,9	11,2%	103,2	18,9%
Combustíveis fósseis	5,0	11,0%	7,9	5,7%	8,2	3,3%	27,0	6,9%	60,7	11,1%
Biomassa	0,8	1,8%	2,5	1,8%	5,2	2,1%	10,9	2,8%	28,0	5,1%
Nuclear	-	-	-	-	2,2	0,9%	6,0	1,5%	14,5	2,7%
Outras	-	-	0,2	0,1%	0,4	0,2%	0,6	0,2%	2,2	0,4%
Importada	-	-	-	-	26,5	10,6%	44,3	11,0%	34,4	6,3%
TOTAL	45,6	100%	139,5	100%	249,2	100%	393,2	100%	544,9	100%

Fontes: Resenha Energética Brasileira (BRASIL, 2011); Balanço Energético Nacional 2007 (EPE, 2007)

Tabela 1.2 – Evolução da capacidade instalada

Fonte de geração	1970		1980		1990		2000		2010	
	GW	%	GW	%	GW	%	GW	%	GW	%
Hidráulica	8,8	80%	27,7	83%	45,6	86%	61,1	83%	80,7	72%
Térmica e nuclear	1,6	15%	5,8	17%	7,5	14%	12,6	17%	30,8	27%
Eólica	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9	1%
Total	11,0	100%	33,5	100%	53,1	100%	73,7	100%	112,4	100%

Fontes: Resenha Energética Brasileira (BRASIL, 2011); Balanço Energético Nacional 2010 (EPE, 2010)

Conforme indicam os dados da **Tabela 1.1** e da **Tabela 1.2**, a participação da energia gerada por fonte hidráulica em relação à geração total já foi mais expressiva. O Plano Decenal de Expansão de Energia 2019 (BRASIL, 2010) prevê que essa participação relativa diminua ainda mais e poderá chegar a 70% da capacidade instalada em 2019, devido à expansão das fontes não hidráulicas, notadamente eólica e biomassa. Em números absolutos, contudo, a capacidade instalada total das hidrelétricas deverá expandir até a marca de 116 GW em 2019.

A alta disponibilidade de potencial hidráulico próxima dos grandes centros de consumo foi um dos aspectos preponderantes para que o Brasil optasse pelo desenvolvimento da hidroeletricidade. Até o final da década de 1940, as atividades de geração, transmissão e distribuição de energia no País estiveram nas mãos de empresas privadas, sendo estrangeiras aquelas responsáveis por atender apenas as grandes cidades. A partir da década seguinte, o Governo Federal e os de alguns estados expandiram os investimentos no setor elétrico, em razão do salto da demanda provocado pelo aumento da industrialização e da urbanização. Iniciou-se, então, a construção e gradativa interligação de várias das usinas de grande porte que hoje formam o Sistema Integrado Nacional (SIN) (KELMAN et al., 2006).

O desenvolvimento industrial e econômico do País intensificou o uso dos recursos hídricos, seja quanto à crescente quantidade de água demandada, seja quanto à diversidade dessas utilizações. A redução da disponibilidade hídrica ocasionou, em algumas regiões brasileiras, situações em que os múltiplos usos da água se tornaram concorrentes e com potenciais conflitos entre os usuários.

Via de regra, enquanto a abundância de água garantia a ausência de conflitos relacionados à quantidade ou à qualidade dos recursos hídricos, a responsabilidade pela gestão das águas mantinha-se repartida, sem profundas interferências, entre as autoridades administrativas encarregadas de sua utilização e conservação. Na

medida em que os conflitos pelo uso da água se agravaram, entraram em choque as funções dos vários setores interessados no gerenciamento dos recursos hídricos.

Em 2001, a crise de energia ocorrida no País demonstrou os conflitos e os impactos negativos desencadeados em um cenário de disputa pelo escasso recurso hídrico. As regras de operação dos reservatórios, impostas para suprir a demanda de energia, trouxeram consequências indesejáveis a outras atividades econômicas como a navegação, a agricultura irrigada, o turismo e o abastecimento público. Tornou-se evidente a necessidade de harmonização dos diversos usos e sistemas de recursos hídricos por meio de uma base de gerenciamento integrado. No caso da expansão e da operação dos sistemas de reservatórios, tornou-se imprescindível considerar todos os usos concorrentes que deles se beneficiam.

Esse cenário demonstra a grande importância da atuação dos agentes geradores de energia elétrica no processo de gestão de recursos hídricos. Essa participação, no entanto, ainda ocorre de forma relativamente pouco efetiva. De um lado, observa-se que os envolvidos na gestão das águas não se esmeram em trazer para o âmbito das discussões os agentes do setor elétrico, cujas contribuições em muito enriqueceriam as atividades de planejamento e os processos de negociação.

O setor elétrico, por sua vez, tende a considerar a água como um recurso que, embora essencial a suas atividades, possui custo zero de obtenção. Concomitantemente, a operação dos reservatórios das usinas que compõem o SIN é realizada pelo Operado Nacional do Sistema Elétrico (ONS) com a utilização de uma cadeia de modelos que tratam os demais usos do recurso hídrico como restrições a serem consideradas após atingidas as metas de geração de energia.

Além de acomodar tais conflitos, a otimização da operação do sistema elétrico brasileiro mostra-se um problema complexo em razão de outros aspectos: o tamanho do sistema brasileiro, considerado um dos maiores do mundo; a não linearidade e a interdependência das variáveis envolvidas; a estocasticidade dos fenômenos hidrológicos; a demanda crescente pela água, notadamente em bacias marcadas pela indisponibilidade hídrica.

Este trabalho procura, assim, contribuir para o gerenciamento dos recursos hídricos ao integrar, na operação de um sistema de reservatórios, tanto as demandas do setor elétrico como as de outros setores dependentes do uso consuntivo do recurso hídrico, buscando otimizar o desempenho do sistema, conforme as premissas expressas pela Política Nacional de Recursos Hídricos.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar o impacto causado na operação de um sistema de reservatórios para produção de energia elétrica pelo atendimento dos usos consuntivos do recurso hídrico.

Especificamente, busca-se analisar o impacto que o atendimento das demandas hídricas consuntivas como a irrigação, os usos industriais e os usos considerados prioritários pela legislação, como o consumo humano e a dessedentação animal, exerce sobre a produção de energia pelo sistema de usinas hidrelétricas de uma bacia hidrográfica marcada por problemas de disponibilidade hídrica e por conflitos entre os usuários.

Pretende-se determinar as relações de troca entre a geração de energia e as demandas hídricas consuntivas, bem como a variação do atendimento da demanda de energia e da demanda hídrica ao serem consideradas diferentes demandas hídricas não consuntivas como, por exemplo, a navegação e a conservação ambiental. Pretende-se também avaliar o custo associado a eventuais *deficit* de atendimento da demanda de energia pelas usinas hidrelétricas.

Uma vez que os modelos atualmente empregados pelo setor elétrico brasileiro tratam o atendimento dos usos consuntivos como restrições na operação dos reservatórios, este trabalho contribui para integrar o planejamento da operação do setor elétrico e o gerenciamento dos recursos hídricos. Para tanto, propõe-se tratar o problema da operação de um sistema de reservatórios para geração de energia elétrica com o emprego de um modelo que inclui, em sua função objetivo, tanto o atendimento das demandas de energia como das demandas hídricas consuntivas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A geração de energia por meio das hidrelétricas pertence à categoria dos usos não consuntivos dos recursos hídricos, ou seja, aqueles que retornam praticamente toda a quantidade da água utilizada à fonte de origem. Todavia, as regras de operação dos reservatórios, impostas para atender à demanda de energia, e a necessidade de disponibilizar às hidrelétricas as vazões que lhe foram outorgadas acabam por criar restrições aos demais usuários das águas localizados tanto a montante como a jusante dos aproveitamentos hidrelétricos.

Uma vez que o aproveitamento das águas para geração de energia elétrica é um uso significativo no País e, mais que isso, trata-se de um uso do recurso hídrico do qual decorre uma série de interferências com demais usuários da água, o setor elétrico constitui um ator relevante para o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SNGRH).

Assim, este capítulo traz uma breve descrição sobre a configuração administrativa que o Estado brasileiro assume para gerir seus recursos hídricos. Em seguida, será descrito o setor elétrico brasileiro, com destaque para a geração de energia pelas hidrelétricas. Por último, é apresentado o estado da arte da modelagem de operação de sistemas de reservatórios.

3.1. Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos

A Constituição Federal (CF) de 1988 criou condições para que se introduzisse no País a gestão integrada e participativa dos recursos hídricos. A CF extinguiu o domínio privado das águas ao colocá-las sob domínio público – federal ou estadual – e atribuiu à União competência para instituir o SNGRH e para definir os critérios de outorga de direito de uso da água. Com relação aos potenciais de energia hidráulica, a Constituição determina que eles pertencem à União e que a ela cabe outorgar o seu aproveitamento mediante autorização ou concessão (BRASIL, 1988).

O SNGRH foi instituído pela Lei Federal nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997, a qual dá competência ao SNGRH para coordenar a gestão integrada dos recursos hídricos, arbitrar conflitos referentes ao uso da água, implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), planejar e controlar o uso, a preservação e recuperação dos recursos hídricos e promover a cobrança pelo uso da água.

O SNGRH é integrado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERH), pelos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH), pelos órgãos gestores dos recursos hídricos em nível federal e em nível estadual e pelas Agências de Águas.

Os Estados e o Distrito Federal definem as regras de composição de seu respectivo CERH. O CNRH é formado por representantes dos CERHs, contudo a maioria dos votos pertence ao Poder Executivo Federal.

Os CBH são fóruns de discussão e de negociação compostos por representantes do Poder Executivo dos governos (federal, estadual, municipal), dos usuários da água e de organizações civis com atuação comprovada na bacia hidrográfica. Os representantes dos usuários podem ser escolhidos entre pessoas físicas ou jurídicas, de direito privado ou de direito público. A instituição de um CBH é objeto de aprovação do CNRH, no caso das bacias de rios de domínio federal, ou dos CERHs, no caso das bacias de rios de domínio estadual.

Sobre o domínio das águas, conforme estabelecido pela Constituição Federal de 1988 em seu Art. 20, são considerados de domínio da União os rios, lagos e correntes de água que banham mais de uma unidade federada, que sirvam de fronteira entre o Brasil e um país vizinho ou que se estendam a território estrangeiro ou dele provenham (BRASIL, 1988). Com relação às águas de domínio dos estados, a CF de 1988 não considera de forma explícita os rios como bens estaduais. O inciso I do Art. 26 diz apenas que estão incluídas nos bens dos estados “as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União”. Interpreta-se, portanto, que são de domínio estadual todos os rios que não pertencem à União e, dessa forma, permanece em prática o conceito expresso no Art. 5º. da antiga Constituição Federal de 1967, que considerava rio estadual aquele que possui nascente e foz dentro do território estadual (CABRAL; KELMAN, 2003).

Uma vez que as águas de um corpo hídrico são um bem de domínio público, o seu aproveitamento – seja para geração de energia elétrica, seja para atendimento

de demandas como irrigação, criação animal, abastecimento público e usos industriais, entre outros – depende de autorização do Poder Público. Essa autorização é concedida por meio de um instrumento legal denominado outorga de direito de uso do recurso hídrico. A Agência Nacional de Águas (ANA), entidade vinculada ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), é o órgão oficial responsável por emitir as outorgas para uso das águas de domínio da União. Para utilização das águas de domínio estadual, os pedidos de outorga devem ser encaminhados aos respectivos órgãos gestores de recursos hídricos dos estados. No caso do setor elétrico, além da outorga de direito de uso, aplica-se também outro instrumento de gestão caracterizado como autorização do Poder Público: a declaração de reserva de disponibilidade hídrica, também conhecida por outorga preventiva.

A outorga para uso da água foi criada pelo Código das Águas, o primeiro instrumento legal de gerenciamento de recursos hídricos do Brasil, estabelecido pelo presidente Getúlio Vargas no Decreto Federal nº. 24.643 de 1934 e vigente ainda hoje (BRASIL, 1934). Embora fosse considerado avançado para a época, tendo servido de modelo para outros países, muitos de seus princípios não se efetivaram por falta de regulamentação, exceção feita aos pontos relativos ao aproveitamento hidrelétrico e justificada pelo contexto histórico-social do País à época. Em virtude da expansão do setor industrial brasileiro e da crescente urbanização a partir da década de 1950, o atendimento à demanda de energia tornou-se prioritário. Assim, ficou a cargo do Ministério de Minas e Energia (MME) conceder outorgas de captação de água para todas as finalidades exceto irrigação, cujas outorgas continuaram sob responsabilidade do Ministério da Agricultura (MENDES, 2007).

Hodiernamente, no caso específico do uso da água para geração de energia elétrica, antes de se licitar uma concessão ou de se autorizar o uso do potencial, é necessário que se declare previamente haver disponibilidade hídrica para a época em que o empreendimento estiver implantado. Esse procedimento permite, por exemplo, que os investidores realizem um adequado planejamento da central hidrelétrica. Essa reserva de vazão passível de ser outorgada é prevista no Art. 6º. da Lei Federal nº. 9.984, de 17 de julho de 2000, e constitui o instrumento de reserva de disponibilidade hídrica. As outorgas preventivas têm prazo máximo de validade de 3 anos, variando conforme a complexidade do projeto, e não conferem direito de uso da água.

Segundo a Lei Federal nº. 9.984, de 17 de julho de 2000, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) deve promover junto aos órgãos gestores de recursos hídricos estaduais a prévia obtenção da declaração de reserva de disponibilidade hídrica no caso de aproveitamentos realizados em corpos hídricos de domínio dos estados. Quando o potencial hidráulico se localizar em corpo d'água de domínio federal, a declaração de reserva de disponibilidade hídrica deve ser obtida em articulação da ANEEL com a ANA. Neste caso, a ANA consultará os órgãos gestores de corpos hídricos estaduais que podem afetar o empreendimento ou que por ele serão afetados, a fim de se garantir os usos múltiplos na bacia hidrográfica. Essa articulação é prevista na Resolução ANA nº. 131, de 11 de março de 2003.

A declaração de reserva de disponibilidade hídrica se transforma em outorga de direito de uso em favor da instituição que receber da ANEEL a concessão ou a autorização de uso do potencial de energia elétrica.

Conforme ANEEL (2012), no período de 1998 a 2012, ou seja, desde o advento da PNRH, foram outorgados 558 empreendimentos de geração de energia elétrica que ainda não tiveram sua construção iniciada. Esse total inclui as usinas termelétricas (UTE), as centrais geradoras eolielétricas (EOL) e undi-elétricas (CGU) e os aproveitamentos hidrelétricos - centrais geradoras hidrelétricas (CGH), pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e usinas hidrelétricas (UHE). Os aproveitamentos hidrelétricos representam 19% da potência total dos empreendimentos outorgados, conforme mostrado na **Tabela 3.1**. A **Figura 3.1** apresenta um gráfico com o número de outorgas e a potência de cada tipo de empreendimento.

Tabela 3.1 - Empreendimentos outorgados desde 1998 e que não tiveram construção iniciada

Tipo	Quantidade	Potência (kW)	%Potência
CGH	61	40.698	0,2%
PCH	134	1.849.090	8,6%
UHE	11	2.179.042	10,1%
UTE	150	11.768.573	54,5%
EOL	201	5.748.590	26,6%
CGU	1	50	0%
Total	558	21.586.043	100,0%

Fonte: ANEEL (2012)

Figura 3.1 - Empreendimentos outorgados desde 1998 e que não tiveram construção iniciada

Os órgãos gestores de recursos hídricos, ao apreciarem uma solicitação de outorga, procedem ao cálculo da disponibilidade hídrica no corpo hídrico quando considerada a vazão de captação e ou de lançamento pleiteada juntamente com as vazões até então outorgadas. Caso a vazão remanescente fique abaixo do valor mínimo legalmente estabelecido em alguma seção ou trecho do corpo hídrico, o pedido é indeferido. A outorga, portanto, protege o usuário da água contra o uso predador de quem não a possui, uma vez que, em caso de escassez hídrica, os não outorgados devem limitar seu uso ou mesmo suprimi-lo, a fim de que seja garantida a utilização e, por consequência, os investimentos de quem é regularmente outorgado. Ressalta-se que, conforme expresso no Art. 1º. da Lei Federal nº. 9.433/97, "em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais" (BRASIL, 1997).

A outorga concedida às hidrelétricas registra apenas a vazão correspondente à geração máxima. Embora a geração de energia elétrica constitua um uso não consuntivo, as regras operativas dos reservatórios de regularização ocasionam variações na vazão defluente que impactam usuários situados a montante e a jusante do barramento. Nesse sentido, seria adequado que as regras operativas

fossem consideradas pelos órgãos gestores por meio de um instrumento que complementasse a outorga de direito de uso, na forma, por exemplo, de uma outorga de operação. Essa prática, no entanto, exigiria uma interação do setor elétrico com os gestores de recursos hídricos mais efetiva que a atualmente observada.

3.2. O setor elétrico brasileiro

O sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil, em razão de seu grande porte e da forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários, apresenta características que o distinguem no âmbito mundial.

Segundo informações da ANEEL (2012), há no Brasil 2.613 empreendimentos em operação, responsáveis pela geração de 117,5 GW de potência, 70,3% dos quais de origem hidráulica – CGH, PCH e UHE. As usinas termonucleares (UTN) e as termelétricas (UTE) representam em conjunto 28,5% da potência total. As usinas fotovoltaicas (UFV) e as centrais eólicas (EOL) em conjunto representam menos de 1,3% da potência total, conforme mostram os dados da **Tabela 3.2**.

Tabela 3.2 - Capacidade de geração (kW) por tipo de aproveitamento em operação

Tipo	Quantidade	Potência (kW)	%Potência
CGH	376	221.854	0,19
PCH	427	3.939.205	3,35
UHE	182	78.456.459	66,76
UTE	1.545	31.422.193	26,74
UTN	2	2.007.000	1,71
EOL	73	1.479.442	1,26
UFV	8	1.494	0
Total	2.417	117.527.647	100,00

Fonte: ANEEL (2012)

Os empreendimentos responsáveis por 97% da capacidade de produção de energia no País integram o chamado Sistema Interligado Nacional (SIN), formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Apenas 3,4% da capacidade de geração encontra-se desconectada do SIN, em pequenos sistemas isolados, localizados principalmente na bacia do Amazonas.

Costuma-se dividir o SIN em quatro subsistemas geradores: Sudeste/Centro-Oeste, Sul, Nordeste e Norte. Historicamente, esses subsistemas desenvolveram-se de forma independente, desarticulados uns dos outros, a partir de investimentos do setor público realizados, principalmente, pelas empresas estaduais Cemig, Copel e Cesp e pelas federais Chesf e Furnas. Paulatinamente, pela construção de grandes troncos de transmissão, os subsistemas geradores foram interligados, a fim de se permitir o sinergismo das regiões, pois suas bacias hidrográficas apresentam comportamentos hidrológicos distintos como, por exemplo, a ocorrência dos períodos úmidos em meses diferentes do ano (KELMAN et al, 2006).

A **Figura 3.2** apresenta o mapa do SIN, seus subsistemas geradores e principais interligações.

Figura 3.2 - Mapa do SIN, seus subsistemas e interligações

Para fins de planejamento da operação, representa-se o SIN por quatro subsistemas equivalentes e suas interligações. Cada subsistema é representado como um reservatório equivalente, que agrega o armazenamento e a produção de energia de todas as usinas hidrelétricas que a ele pertencem. Analogamente, agregam-se as usinas térmicas em quatro usinas equivalentes com custo crescente de produção, formado por uma composição dos custos de produção individuais.

Conforme dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), o SIN é composto por 137 usinas hidrelétricas, o que não inclui as PCHs. Com relação às 137 UHEs, 69 delas contam com reservatórios de regularização de vazões intra ou plurianual, e as outras 68 operam a fio d'água. Esses aproveitamentos somam 75,9 GW de potência instalada, o equivalente a 74,6% do total do SIN (ONS, 2011b).

Atualmente, encontram-se em construção 15 UHEs, cuja operação está prevista para iniciar até 2016. Há ainda 2 UHEs cuja construção ainda não foi iniciada e que também têm o início de operação previsto para 2016. A potência outorgada desses 17 aproveitamentos soma 20 GW (CCEE, 2012; ONS, 2011b).

A **Tabela 3.3** apresenta as UHEs em construção e as UHEs planejadas com a respectiva potência outorgada. O cronograma de expansão da geração pelas UHEs do SIN é apresentado na **Figura 3.3**.

Tabela 3.3 - Usinas hidrelétricas do SIN em fase de construção ou planejadas

UHE em construção	Potência outorgada (MW)	Entrada em operação
Passo São João	77	2011-2012
Estreito Tocantins	1.087	2011-2012
Mauá	350	2012
Simplício	306	2012
São Domingos	48	2012-2013
Santo Antônio	3.151	2012-2016
Batalha	54	2013
Coaracy Nunes	78	2013
Jirau	3300	2013-2016
Garibaldi	175	2014-2015
Sto. Antônio do Jari	300	2014
Ferreira Gomes	252	2015
Colíder	300	2015
Teles Pires	1.820	2015
Belo Monte	195	2015-2016
Subtotal	11.492	
UHE planejada	Potência outorgada (MW)	Início de operação previsto
Baixo Iguaçu	350	2016
São Roque	135	2016
Subtotal	485	
TOTAL	11.977

Figura 3.3 - Cronograma de expansão das usinas hidrelétricas do SIN

A característica principal da operação do SIN é aproveitar o potencial hídrico e minimizar o uso das usinas térmicas. Essa operação minimiza o custo de produção de energia elétrica, visto que o custo do combustível fóssil supera o custo de operação das hidrelétricas. O uso excessivo das hidrelétricas, contudo, aumenta o risco de não atendimento da demanda futura, pois a afluência aos reservatórios e o volume por eles armazenado dependem da precipitação, marcada pela estocasticidade. A água armazenada no sistema, portanto, é utilizada até um limite de segurança, a partir do qual se deve complementar a geração de energia com as térmicas (ZAMBON, 2008).

O ONS emprega modelos para gerenciamento dos reservatórios – dentre os quais o NEWAVE e o DECOMP – com o objetivo de minimizar os custos de geração térmica e atender a demanda de eletricidade com certa garantia. Trata-se, entretanto, de enfoque que não leva em conta a otimização conjunta dos outros usos da água. Atividades como abastecimento público, irrigação, lazer e turismo, navegação e preservação do meio ambiente são reduzidas à condição de restrições operativas. Mais do que isso, a maioria das pesquisas e trabalhos acadêmicos na área de operação de sistemas de reservatórios ainda não trata a idéia do uso múltiplo das águas de forma adequada (BRANDÃO, 2004).

Exemplos de como os usos múltiplos são tratados como restrições operativas:

- O suprimento de água para abastecimento público e irrigação em geral é associado a um valor fixo a ser extraído do sistema;
- A navegação é tratada como valor mínimo a ser atribuído à vazão defluente e/ou como volumes que deixam os reservatórios durante operação das eclusas;
- O controle de cheias é considerado por meio da alocação de volumes sazonais de espera para acomodação das cheias de determinada magnitude, limitando descargas a jusante;
- Atividades de lazer e de turismo e preservação ambiental são consideradas pela manutenção de vazões mínimas a jusante, pela restrição de variações bruscas do nível d'água, impedindo níveis d'água muito baixos e também muito elevados.

A operação do SIN, portanto, envolve alguns dilemas. Se utilizadas excessivamente, as hidrelétricas podem não atender a demanda futura de energia em situações de escassez. Caso contrário, se as térmicas forem acionadas com muita frequência, o custo de geração aumenta e, concomitantemente, corre-se o risco de se promover o vertimento dos reservatórios, visto que, por terem sido mantidos mais cheios, eles não conseguirão armazenar o volume resultante de um cenário de chuvas intensas. Além disso, se a manutenção de grandes volumes armazenados por um lado maximiza a energia gerada em cada reservatório, por outro pode dificultar o pleno atendimento de demandas hídricas consuntivas, pois as defluências são menores. Ao mesmo tempo, retiradas constantes e intensas a montante afetam a vazão afluyente aos reservatórios, o que diminui a energia gerada.

Percebe-se, assim, a complexidade que envolve a operação do sistema de reservatórios do SIN. Essa operação demanda a aplicação de técnicas de otimização que sejam capazes de tratar adequadamente os elementos envolvidos não apenas na geração de energia como também na gestão do recurso hídrico.

Apresenta-se, na sequência, a evolução da pesquisa acerca da operação de sistemas de reservatórios e alocação de águas.

3.3. Estado da arte na modelagem de operação de reservatórios

Labadie (2004) apresenta uma revisão dos trabalhos relativos à modelagem de operação de reservatórios e comenta as diferentes técnicas empregadas na

otimização desses sistemas. Essas técnicas incluem programação linear (PL), programação não linear (PNL), programação dinâmica (PD), programação linear sucessiva (PLS), redes de fluxo (ou fluxo em rede). Labadie aponta algumas razões para a utilização limitada dos modelos de otimização, tais como as limitações de equipamentos para processamento dos modelos, a necessidade de se adotarem simplificações inadequadas, as dificuldades de entendimento e de implementação dos modelos e a pequena confiança depositada pelos tomadores de decisão e pelos operadores nos modelos de otimização.

Uma das formas apontadas por Labadie (2004) para aumentar o nível de confiança na utilização dos modelos de otimização é a aplicação desses modelos acoplados a Sistemas de Suporte a Decisão (SSD). Labadie destaca o MODSIM como exemplo de modelo de otimização associado a um SSD. O MODSIM, desenvolvido na Colorado State University a partir de 1979, é um modelo de fluxo em rede que permite ao usuário criar diferentes redes de reservatórios por meio de uma interface gráfica amigável em Windows. Integram o MODSIM um sistema de gerenciamento de dados e um modelo de otimização de redes de fluxo (AZEVEDO; PORTO; ZAHED FILHO, 2002).

No Brasil, modelos aplicados à otimização de sistemas complexos empregaram PL, PD e PNL. No caso da PL, destaca-se o SSD ACQUANET, desenvolvido por Porto et al. (2005), cujas primeiras versões foram baseadas no modelo MODSIM (ROBERTO; PORTO, 1999). O ACQUANET foi adotado em trabalhos voltados a análises de alocação de água em várias bacias hidrográficas do País para modelar casos interessantes como, por exemplo, a alocação de água na bacia do rio São Francisco, incluindo sua transposição para as bacias do Nordeste Setentrional (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004d), a reversão do rio Piracicaba para o abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e a operação do Sistema Produtor de Água do Alto Tietê, também na RMSP (SCHARDONG et al., 2006). Atualmente, o ACQUANET integra módulos de alocação de água, qualidade da água, irrigação, produção de energia e curvas de aversão ao risco.

Barros et al. (2003), em uma parceria da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) com a Universidade da Califórnia (UCLA), criaram o modelo SISOPT para otimizar a operação de sistemas de geração de energia de grande porte pelo uso da técnica da PLS com o pacote MINOS. O modelo SISOPT foi aplicado ao complexo sistema hidrelétrico brasileiro com diferentes funções objetivo.

O modelo SISAGUA, desenvolvido por Barros et al. (2005), aplica algoritmos de programação linear inteira mista (PLIM) e programação não linear inteira mista (PNLIM) na operação de sistemas complexos de adução de água formados por reservatórios, estações de tratamento e elevatórias. O SISAGUA foi aplicado em estudos do sistema de abastecimento da RMSP e também ao sistema de Taiwan, com a otimização processada pelo *software* General Algebraic Modeling System (GAMS), da GAMS Development Corporation.

GAMS é um sistema de otimização com códigos específicos de programação aplicáveis a PL e a PNL, disponível para diferentes plataformas em computadores pessoais, estações de trabalho e computadores de grande porte. A linguagem GAMS é similar a outras linguagens de programação e o sistema inclui diversos algoritmos de otimização como, por exemplo, o MINOS (CIRILO, 2002).

Também com o uso da ferramenta GAMS, Brandão (2004) aplicou a técnica da PNL no desenvolvimento do modelo SFPLUS, voltado à otimização de sistemas de reservatórios de usos múltiplos na bacia do rio São Francisco. Foi empregado o pacote MINOS na otimização do sistema para condições hidrológicas definidas por três cenários distintos – seco, mediano e úmido. Procedeu-se à otimização seguindo dois métodos diferentes: o das restrições e o das ponderações. Os resultados permitiram a construção das curvas de Pareto, que explicitam as relações de troca ou *trade-offs* entre diferentes usos da água.

No método das restrições, a função objetivo buscou maximizar a energia média gerada no sistema, ou seja, incluiu-se apenas um uso da água - geração de energia - e os demais usos foram tratados como restrições. As curvas de Pareto para irrigação e geração de energia mostraram que, no São Francisco, em um cenário seco, cada m^3/s de água destinado à irrigação levou à perda de 2 MWmed na geração de energia elétrica, o equivalente a 17,5 GWh de energia ao longo de um ano. Uma limitação deste método é a impossibilidade de se trabalhar com mais do que três usos da água (BRANDÃO, 2004).

No método das ponderações, os usos competitivos da água foram incluídos na função objetivo, ponderados conforme sua prioridade de atendimento. A função objetivo buscou maximizar uma ponderação entre energia média gerada e vazão média extraída para irrigação. As relações de troca entre irrigação e geração de energia obtidas por este método mostraram que, em qualquer cenário hidrológico, o *trade-off* entre esses dois usos foi mais intenso na faixa em que a prioridade para

irrigação variou de 40% a 75%. A limitação deste método é a subjetividade associada à escolha dos coeficientes ponderadores do atendimento de cada uso (BRANDÃO, 2004).

A transposição das águas do São Francisco para as bacias do Nordeste Setentrional foi considerada por Brandão (2004), tendo por base a vazão de projeto cogitada à época, 54 m³/s nos dois eixos da transposição. Concluiu-se que, em um cenário de baixa disponibilidade hídrica, essa retirada implicaria em perdas da ordem de 3% na geração de energia em todo o sistema São Francisco.

Brandão (2004) também considerou os aspectos estocásticos associados ao problema. Para o cenário seco, as curvas de Pareto obtidas a partir de afluições derivadas da série histórica mostraram-se coincidentes com as obtidas pela geração de séries sintéticas de vazões. Para os cenários mediano e úmido, as curvas obtidas a partir das séries sintéticas apresentaram gradientes mais acentuados e valores menores que as obtidas pela série histórica.

No planejamento da operação do SIN, o ONS emprega os modelos NEWAVE e DECOMP, desenvolvidos pelo Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL) da Eletrobrás e pela Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (ZAMBON, 2004).

O Modelo de Despacho de Geração Hidrotérmica (NEWAVE) emprega a programação dinâmica dual estocástica (PDDE) para minimizar o valor esperado do custo de operação do sistema. São considerados o custo presente do combustível das térmicas e o custo futuro da água. As variáveis de decisão são a geração hidrelétrica, a geração térmica e os intercâmbios entre os subsistemas do SIN. Toma-se a decisão sobre quanto será gerado por hidrelétricas e por térmicas para atender a demanda de energia, considerando um horizonte de um a cinco anos com passo de tempo mensal. O NEWAVE agrega todas as usinas pertencentes a determinado subsistema em um único reservatório equivalente de energia, com volume igual ao total da "energia armazenada" em cada reservatório do subsistema. Assim, o NEWAVE simplifica o SIN, ao tratar apenas quatro reservatórios equivalentes relativos aos quatro subsistemas (CEPEL, 2011).

A agregação das usinas em reservatórios equivalentes empregada no NEWAVE foi o artifício que permitiu o emprego da PDDE de forma a evitar a "praga da dimensionalidade" característica da PD.

Os resultados do NEWAVE constituem os dados de entrada do Modelo de Determinação da Coordenação da Operação a Curto Prazo (DECOMP), que desagrega os quatro subsistemas equivalentes em usinas individualizadas para um horizonte de tempo de cinco semanas. O DECOMP, que emprega PL, define a geração hidráulica e térmica de cada usina do sistema, bem como o Custo Marginal de Operação (CMO), que pode ser entendido como um custo futuro mais elevado da água. Para cada subsistema é calculado seu CMO, que é um dos parâmetros que definem o preço da energia elétrica no mercado de curto prazo (LOPES, 2007).

Procede-se à execução dos modelos NEWAVE e DECOMP uma vez por mês em uma reunião conhecida por Programa Mensal da Operação (PMO), da qual participam os agentes do processo de planejamento do setor elétrico. Em virtude da constante atualização das previsões hidrológicas, semanalmente é feita uma revisão do processamento do DECOMP pelo ONS. Previsões de seca tendem a elevar o valor do CMO, previsões de grandes aflúências tendem a reduzi-lo (LOPES, 2007).

Lopes (2007) desenvolveu o modelo SolverSIN no planejamento de operação de sistemas hidrotérmicos com uso da PNL. O SolverSIN mostrou-se mais simples que os modelos baseados na PDDE sem perder a propriedade de precisão. Mostrou-se também eficiente ao adotar equações de balanço hidroenergético para os reservatórios equivalentes de energia e ao aplicar funções de perdas por vertimento e por variação de queda aos reservatórios equivalentes.

Zambon (2008) desenvolveu um SSD para o planejamento de sistemas hidrotérmicos de grande porte chamado SSD HIDROTERM. O modelo HIDRO otimiza o sistema de usinas individualizadas, sendo esta uma diferença significativa em relação ao SolverSIN e ao NEWAVE, e busca o máximo aproveitamento da capacidade hidrelétrica instalada. O modelo TERM otimiza o despacho das usinas térmicas e os intercâmbios entre os subsistemas. Os modelos podem ser empregados isoladamente ou integrados no modelo HIDROTERM.

O modelo HIDRO corresponde a uma evolução do SISOPT sem o emprego da PL e da PLS. A função objetivo busca minimizar a complementação da energia gerada pelas hidrelétricas com energia gerada pelas térmicas para atendimento da demanda de energia. A função objetivo proposta por Zambon minimiza o quadrado da diferença entre a demanda energética e a produção de energia. Trata-se, portanto, de um modelo a ser resolvido por PNL, cujas variáveis de decisão são a vazão turbinada e a vazão vertida em cada usina (ZAMBON, 2008).

Para gerar uma solução inicial completa e viável para a PNL, foi desenvolvido um simulador com três opções de operação para as usinas: fio d'água, turbinamento máximo e turbinamento e vertimento definidos pelo usuário. As demandas e a disponibilidade das usinas são variáveis no tempo. (ZAMBON, 2008).

O modelo TERM agrega as usinas térmicas e as demandas em subsistemas. Zambon propôs uma função objetivo que minimiza o custo total da geração térmica, dos intercâmbios e do *deficit* em cada passo de tempo. Os dados de entrada, para cada subsistema, são a previsão de demanda, a geração por PCH e UTN, a geração resultante do modelo HIDRO, energia importada e exportada, limites da geração térmica inflexível e máxima, limites de intercâmbio entre subsistemas e o custo das térmicas por subsistema. As variáveis de decisão são a geração térmica adicional e os intercâmbios em cada passo de tempo para cada subsistema (ZAMBON, 2008).

Zambon propôs ainda a execução do modelo HIDROTERM, ou por meio de um processo iterativo entre os modelos HIDRO e TERM, ou por uma formulação unificada. Neste caso, a função objetivo pode minimizar a complementação quadrática, como no modelo HIDRO, ou minimizar a soma do custo da geração térmica, dos intercâmbios e do *deficit*, como no modelo TERM (ZAMBON, 2008).

Os modelos do SSD HIDROTERM foram escritos em linguagem GAMS, o que torna muito flexível sua aplicação quando, por conta das características do problema, for desejável alterar a função objetivo e ou as restrições do problema.

Zambon (2008) aplicou o SSD HIDROTERM às oito usinas da cascata do rio Paranapanema e às 128 usinas do SIN em seus quatro subsistemas, com bom desempenho quanto ao tempo de processamento. O equacionamento simplificado das usinas a fio d'água trouxe vantagens para a solução da PNL. A adoção da PNL e de usinas individualizadas mostrou-se mais precisa na operação do sistema, em razão dos ganhos de produtividade observados, com o deplecionamento inicial dos reservatórios com menor perda por unidade de volume e com a priorização do armazenamento nos reservatórios em série para maximizar a geração total.

O SSD HIDROTERM também foi aplicado, com interessantes resultados, na operação do reservatório de Itaipu (BARROS et al., 2009), na operação do SIN com diferentes funções objetivo (BARROS et al., 2008; ZAMBON et al., 2011) e na avaliação dos impactos econômicos da operação do SIN sob diferentes restrições de armazenamento (ZAMBON et al., 2010).

4. METODOLOGIA

Os modelos adotados pelo ONS para a operação do SIN buscam maximizar a produção de energia elétrica pelas usinas. Os demais usos da água, notadamente as demandas hídricas consuntivas – abastecimento público, criação animal, irrigação e uso industrial – são tratados como restrições à maximização da geração de energia. Assim, este trabalho propõe uma nova forma de se proceder à operação dos reservatórios das usinas hidrelétricas de uma bacia hidrográfica marcada pelo uso intensivo do recurso hídrico.

Propõe-se otimizar a operação de um sistema de reservatórios de forma que, na função objetivo, seja contemplado não apenas o atendimento da demanda energética, como também o atendimento dos usos consuntivos do recurso hídrico. Dessa forma, a vazão retirada do sistema para atendimento das demandas consuntivas passa a integrar o conjunto de variáveis de decisão do modelo, conjunto do qual já fazem parte a vazão turbinada e a vazão vertida em cada usina.

Uma vez que a função objetivo inclui o atendimento de múltiplos usos, deve ser aplicado um coeficiente ponderador tanto para o atendimento da demanda objetivo de energia como para o atendimento de cada tipo de demanda hídrica objetivo considerada.

A região objeto deste estudo é a bacia hidrográfica do rio São Francisco, onde estão localizadas importantes usinas hidrelétricas, cuja potência total é de 10,4 GW. É também uma bacia com intenso uso consuntivo do recurso hídrico, principalmente para irrigação. Além disso, alguns dos principais reservatórios da bacia localizam-se em uma região com baixos índices pluviométricos e altas taxas de evaporação, o que contribui para um quadro de crescente conflito pelo uso da água.

4.1. O modelo HIDRO

A operação dos reservatórios da bacia do rio São Francisco, com vistas à geração de energia elétrica e ao atendimento dos usos consuntivos, será analisada

com o emprego do modelo HIDRO, parte integrante do SSD HIDROTERM desenvolvido por Zambon (2008), com alterações na função objetivo original.

O modelo HIDRO otimiza o sistema composto por um conjunto de usinas com reservatórios, cuja representação esquemática e grandezas envolvidas são mostradas na **Figura 4.1**.

Figura 4.1 - Representação esquemática de uma usina hidrelétrica e grandezas envolvidas

Cada reservatório apresenta um volume de água armazenado (S), que é alimentado pela vazão natural incremental afluyente (I) mais as vazões turbinadas e vertidas dos reservatórios a montante. Uma parcela do armazenamento se perde para o meio atmosférico por evaporação (E), que é função da área do reservatório (A), que é função do nível d'água montante (H), que é função do volume armazenado ($E(A(H(S)))$). Outra parte do volume armazenado é retirada para atendimento das demandas hídricas consuntivas (UC). Há também a parte do volume armazenado que é utilizada para geração de energia elétrica pela vazão turbinada (R'). A vazão vertida (R'') será liberada se houver excesso de água armazenada ou para atender demandas a jusante. O nível do canal de fuga a jusante (HT) é função da vazão total defluente ($R = R' + R''$). A potência (P) gerada em cada usina é função da vazão turbinada (R') e da queda bruta (Hb), que é a diferença entre o nível d'água a montante (H) e o canal de fuga a jusante do reservatório (HT).

O modelo HIDRO considera cada usina hidrelétrica de forma individualizada, com o máximo aproveitamento possível da capacidade instalada, isto é, opera-se cada reservatório de forma a minimizar o *deficit* de energia. A produção segue a

variação temporal da demanda de energia, de forma que a necessidade de complementação pelas usinas térmicas seja mínima. Quanto maior a necessidade de complementação de energia pelas térmicas, maior o gradiente médio dos custos dessa complementação. Uma função de complementação quadrática é utilizada para penalizar grandes desvios da geração pelas hidrelétricas em relação à demanda.

O modelo também busca maximizar as retiradas de água para o atendimento de diferentes demandas consuntivas da água - abastecimento público, irrigação, criação de animais, uso industrial. A retirada segue a variação temporal da demanda consuntiva considerada, de forma que o *deficit* de atendimento seja mínimo. Considera-se que a vazão retirada para atendimento dos usos consuntivos em cada usina/reservatório inclui não apenas as captações e derivações situadas no entorno do reservatório, como também todas as retiradas situadas na área incremental da bacia hidrográfica que contribui para o reservatório. Essa consideração é adequada, uma vez que, no modelo, a vazão afluente aos reservatórios é a vazão natural, ou seja, são desconsideradas as diversas interferências antrópicas.

O não atendimento das demandas hídricas gera aos usuários custos maiores quanto maior for o nível de *deficit*. Analogamente ao atendimento da demanda energética, uma função quadrática é utilizada para penalizar grandes diferenças entre a vazão retirada e a demanda hídrica. Trata-se, portanto, de um modelo de PNL, cuja função objetivo e cujas restrições são apresentadas na sequência.

Zambon (2008) propôs originalmente uma função objetivo que minimiza a complementação quadrática de energia, ou seja, o enfoque original do modelo HIDRO era o desempenho energético. Neste trabalho, propõe-se que a função objetivo minimize, também, o *deficit* de atendimento das demandas hídricas consuntivas. Assim, a função objetivo proposta pondera o percentual quadrático do *deficit* energético em relação à demanda de energia e o percentual quadrático do *deficit* hídrico em relação à demanda hídrica, sendo dada por:

$$\min Z = \sum_{t=1}^{nt} \left[\omega \left(\sum_{i=1}^{ni} \frac{D_{i,t} - P_{i,t}}{D_{i,t}} \right)^2 + \psi_u \left(\sum_{i=1}^{ni} \frac{DH_{i,u,t} - UC_{i,u,t}}{DH_{i,u,t}} \right)^2 \right] \quad (1)$$

onde:

Z = objetivo do modelo HIDRO;

t = índice do intervalo de tempo;

nt = número total de intervalos de tempo;

i = índice de cada reservatório/usina hidrelétrica;

ni = número total de reservatórios/usinas hidrelétricas;

u = índice do uso consuntivo;

ω = coeficiente ponderador do atendimento da demanda de energia;

ψ_u = coeficiente ponderador do atendimento do uso consuntivo u ;

$D_{i,t}$ = demanda objetivo de energia da usina i no intervalo de tempo t (MW);

$P_{i,t}$ = energia produzida pela usina i no intervalo de tempo t (MW);

$DH_{i,u,t}$ = demanda objetivo do uso consuntivo u atendida a montante do reservatório i no intervalo de tempo t (m³/s);

$UC_{i,u,t}$ = vazão retirada do reservatório i para atendimento do uso consuntivo u no intervalo de tempo t (m³/s).

Ressalta-se que, em razão da demanda por energia ser sempre igual ou superior à capacidade de geração das usinas hidrelétricas, não é possível ocorrer a situação na qual a usina hidrelétrica passe zero de vazão por suas turbinas enquanto libera água por seu vertedor, o que caracterizaria uma operação do reservatório bastante questionável sob o ponto de vista econômico.

O modelo HIDRO fica sujeito às seguintes restrições:

- A vazão defluente total é a soma da vazão turbinada com a vazão vertida:

$$R_{i,t} = R_{i,t} + R_{i,t} \quad (2)$$

- Equação da continuidade para reservatórios de acumulação:

$$S_{i,t} = S_{i,t-1} + dt \left[\sum_{m_j=1}^{nm_j} R_{m_j,t} + I_{i,t} - R_{i,t} - \sum_{u=1}^{nu} UC_{i,u,t} - DE_{i,t} \right] - E_{i,t} \quad (3)$$

- Equação da continuidade para as usinas a fio d'água:

$$0 = dt \left[\sum_{m_j=1}^{nm_j} R_{m_j,t} + I_{i,t} - R_{i,t} - \sum_{u=1}^{nu} UC_{i,u,t} - DE_{i,t} \right] - E_{i,t} \quad (4)$$

- Perdas por evaporação em um reservatório de acumulação:

$$E_{i,t} = \frac{A_{i,t} + A_{i,t-1}}{2} IE_{i,t} \quad (5)$$

- Perdas por evaporação em usinas a fio d'água:

$$E_{i,t} = Af_i \cdot IE_{i,t} \quad (6)$$

- Capacidade dos geradores:

$$P_{i,t} \leq P_i^{\max} \cdot ID_{i,t} \quad (7)$$

- Armazenamento mínimo e máximo, sem considerar o volume de espera para operações de controle cheia:

$$S_i^{\min} \leq S_{i,t} \leq S_{i,t}^{\max} \quad (8)$$

- Limites de vazão turbinada, vazão vertida e vazão para conservação ambiental:

$$R_i^{\min} \cdot ID_{i,t} \leq R_{i,t} \leq R_{i,t}^{\max} \cdot ID_{i,t} \quad (9)$$

$$R_{i,t}^* \geq 0 \quad (10)$$

$$R_{i,t} \geq R_i^{\min} \quad (11)$$

- Queda bruta média para usinas com reservatórios de acumulação:

$$Hb_{i,t} = \frac{H_{i,t} + H_{i,t-1}}{2} - HT_{i,t} \quad (12)$$

- Queda bruta média para reservatórios de usinas a fio d'água:

$$Hb_{i,t} = Hf_i - HT_{i,t} \quad (13)$$

- Energia produzida:

$$P_{i,t} = 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot \eta_i \cdot Hb_{i,t} \cdot R_{i,t} \quad (14)$$

- Nível d'água a montante do reservatório, constante (Hf_i) para usinas a fio d'água:

$$H_{i,t} = a_{0i} + a_{1i} \cdot S_{i,t} + a_{2i} \cdot S_{i,t}^2 + a_{3i} \cdot S_{i,t}^3 + a_{4i} \cdot S_{i,t}^4 \quad (15)$$

- Nível d'água no canal de fuga a jusante do reservatório:

$$HT_{i,t} = b_{0i} + b_{1i} \cdot R_{i,t} + b_{2i} \cdot R_{i,t}^2 + b_{3i} \cdot R_{i,t}^3 + b_{4i} \cdot R_{i,t}^4 \quad (16)$$

- A área do reservatório, que é constante (Af_i) para usinas que operam a fio d'água, é dada pela equação (17) como função do nível d'água ou, de forma simplificada, pela equação (18) como função do armazenamento:

$$A_{i,t} = c_{0i} + c_{1i} \cdot H_{i,t} + c_{2i} \cdot H_{i,t}^2 + c_{3i} \cdot H_{i,t}^3 + c_{4i} \cdot H_{i,t}^4 \quad (17)$$

$$A_{i,t} = f_{0i} + f_{1i} \cdot S_{i,t} + f_{2i} \cdot S_{i,t}^2 \quad (18)$$

- Limite de turbinamento em função da queda:

$$R_{i,t}^{\max} = d_{0i} + d_{1i} \cdot Hb_{i,t} + d_{2i} \cdot Hb_{i,t}^2 + d_{3i} \cdot Hb_{i,t}^3 + d_{4i} \cdot Hb_{i,t}^4 \quad (19)$$

- Desvio de vazão ou transposição do rio São Francisco para o Nordeste Setentrional a montante do reservatório de Itaparica:

$$DE_{4,t} = 26,4 + R_{3,t}^* \quad (20)$$

- Limites de operação da transposição do rio São Francisco:

$$26,4 \leq DE_{4,t} \leq 114,3 \quad (21)$$

- Retirada mínima para demandas hídricas prioritárias em situações de escassez:

$$\sum_{u=1}^{nu} UC_{i,u,t} \geq UC_{i,t}^{\min} \quad (22)$$

onde:

m_i = índice do reservatório/hidrelétrica imediatamente a montante de i ;

nm_i = número total de reservatórios/hidrelétricas a montante de i ;

nu = número total de tipos de uso consuntivo;

$A_{i,t}$ = área do reservatório i no intervalo t (km²);

Af_i = área do reservatório a fio d'água i (km²);

$DE_{i,t}$ = desvio de vazão (transposição) a montante do reservatório i durante o intervalo t , valor considerado positivo se desviado para outras bacias e negativo se afluente à bacia (m³/s);

$E_{i,t}$ = perda por evaporação no reservatório i durante o intervalo t (10⁶ m³);

$Hb_{i,t}$ = queda bruta média da usina i durante o intervalo t (m);

ε_i = produtividade específica da usina i (MW/(m³/s)/m);

η_i = rendimento médio da usina i , valor adimensional que considera a operação dos conjuntos turbina-gerador e a perda de carga dos circuitos hidráulicos desde a tomada d'água até o canal de fuga ($0 < \eta_i \leq 1$);

$H_{i,t}$ = nível d'água montante da usina i no intervalo t (m);

Hf_i = nível d'água a montante da usina a fio d'água i no intervalo t (m);

$HT_{i,t}$ = nível d'água no canal de fuga da usina i no intervalo t (m);

$ID_{i,t}$ = índice de disponibilidade das máquinas da usina i no intervalo t , valor adimensional relativo à manutenção ou à expansão do sistema ($0 \leq ID_{i,t} \leq 1$);

$IE_{i,t}$ = taxa de evaporação do reservatório i durante o intervalo de tempo t (m);

$I_{i,t}$ = vazão incremental afluente ao reservatório i durante o intervalo t (m³/s);

$P_i^{\max}$ = capacidade de geração da usina i (MW);

$R''_{i,t}$ = vazão vertida pela usina i no intervalo t (m³/s);

$R'_{i,t}$ = vazão turbinada pela usina i no intervalo t (m³/s);

$R_i^{\max}$ = vazão turbinada máxima da usina i (m³/s);

$R_{i,t}$ = vazão defluente total da usina i no intervalo t (m³/s);

$R_i^{\min}$ = vazão turbinada mínima na usina i (m³/s);

$S_{i,t}$ = volume armazenado no reservatório i durante o intervalo t (10^6 m^3);

$S_{i,t}^{max}$ = volume armazenado máximo no reservatório i (10^6 m^3);

$S_{i,t}^{min}$ = volume armazenado mínimo no reservatório i (10^6 m^3);

$UC_{i,t}^{min}$ = derivação mínima do reservatório i no intervalo t para atendimento de usos consuntivos considerados prioritários (m^3/s);

$a_{0i}, a_{1i}, a_{2i}, a_{3i}, a_{4i}$ = coeficientes do polinômio de quarto grau da equação do nível d'água do reservatório i em função do seu volume armazenado;

$b_{0i}, b_{1i}, b_{2i}, b_{3i}, b_{4i}$ = coeficientes do polinômio de quarto grau da equação no nível d'água no canal de fuga de jusante da usina i em função da sua vazão defluente;

$c_{0i}, c_{1i}, c_{2i}, c_{3i}, c_{4i}$ = coeficientes do polinômio de quarto grau da equação área do reservatório i em função do nível d'água no reservatório;

$d_{0i}, d_{1i}, d_{2i}, d_{3i}, d_{4i}$ = coeficientes do polinômio de quarto grau da máxima vazão turbinada em função da queda para a usina i ;

f_{0i}, f_{1i}, f_{2i} = coeficientes do polinômio alternativo de segundo grau da área do reservatório i em função do seu volume armazenado.

As variáveis de decisão do modelo são, para cada reservatório e em cada intervalo de tempo, a vazão turbinada ($R'_{i,t}$), a vazão vertida ($R''_{i,t}$) e a vazão retirada para usos consuntivos ($UC_{i,u,t}$).

Os coeficientes ponderadores ω e ψ_u expressos na equação (1) devem assumir valores complementares, ou seja, valores cuja soma é igual à unidade. Assim, esses adimensionais representam a preferência relativa entre o atendimento da demanda de energia e o atendimento das diferentes demandas hídricas consuntivas consideradas. Seus valores, portanto, refletem os critérios adotados pelo operador do modelo ou pelo decisor.

O modelo de simulação gera uma solução inicial viável para PNL, na qual todos os reservatórios são operados a fio d'água, ou seja, com o volume armazenado constante e igual ao volume máximo. A operação a fio d'água mostra-se, comumente, uma boa solução inicial para problemas de operação de reservatório tratados com PNL, sendo adotada em diversos estudos (LOPES, 2001; BRANDÃO, 2004; ZAMBON, 2008).

Devido à não linearidade, a perda por evaporação de cada reservatório é calculada por meio de iterações durante cada intervalo de tempo. A não linearidade ocorre pelo fato de a perda por evaporação ser função da média do armazenamento no início e no fim do intervalo de tempo, e o volume armazenado no fim de cada

intervalo depende da solução da vazão defluente, que é uma das variáveis de decisão. Para resolver a não linearidade, é empregado o método das substituições sucessivas: para uma dada vazão turbinada $R'_{i,t}$ e uma solução inicial para o volume armazenado $S_{i,t}$, calcula-se o novo armazenamento $S_{i,t}$ pelas equações (3), (5), (12), (15), (16) e (17). Por um processo análogo, calcula-se a máxima vazão turbinada: para um dado $H_{i,t-1}$ e uma solução inicial para $R^{max}_{i,t}$, calcula-se a nova $R^{max}_{i,t}$ pelas equações (7), (12), (15), (16) e (19).

4.2. Análise dos resultados

O impacto dos usos consuntivos na operação do sistema de reservatórios da bacia do rio São Francisco será avaliado para condições de escassez hídrica. Serão selecionados, portanto, os períodos do histórico que representem as estiagens mais severas já registradas na bacia.

Serão considerados diferentes cenários de demanda hídrica consuntiva, relacionados ao consumo de água nas atividades desenvolvidas na bacia do rio São Francisco. As demandas hídricas não consuntivas serão representadas pelo limite mínimo imposto à defluência das usinas hidrelétricas, o qual pode variar em função dos usos a que se pretende atender.

Todas as informações acerca das demandas hídricas na bacia do São Francisco e dos requisitos de vazão mínima a jusante dos reservatórios, bem como do histórico de afluições na bacia, são apresentadas no Capítulo 5.

Em todas as avaliações e análises desenvolvidas sobre os resultados, as quais são descritas na sequência, serão mantidas as mesmas restrições de volume armazenado inicial e de volume armazenado final nos reservatórios.

4.2.1. Avaliação dos índices de atendimento

Para avaliar os índices de atendimento obtidos em períodos de escassez, o modelo HIDRO será aplicado de forma que, na função objetivo, seja atribuída a

mesma prioridade tanto ao atendimento da demanda de energia como ao atendimento da demanda hídrica consuntiva.

Para quantificar a ocorrência de falhas no atendimento, deve ser definida uma faixa de valores em torno da qual a vazão fornecida e a energia gerada podem variar sem que se caracterize *deficit*.

Assim, em cada mês será considerado que houve falha no atendimento dos usos consuntivos se a variável *UC*, em qualquer reservatório da bacia, for menor do que 95% da demanda na área de contribuição incremental daquele reservatório naquele mês. Ou seja, haverá falha se o *deficit* hídrico em qualquer reservatório representar mais que 5% da demanda consuntiva naquele reservatório.

Critério análogo valerá para a avaliação das falhas na geração de energia pelas hidrelétricas. Em cada mês será considerado que houve falha se a geração de energia em toda a bacia foi menor que 95% da demanda total de energia, ou seja, no mês em que o *deficit* de energia representou mais que 5% da demanda.

Serão cotejados os valores das variáveis de decisão e dos índices de atendimento obtidos em cada reservatório para cada cenário de demanda hídrica, bem como para cada restrição de defluência mínima e entre as situações de transposição em operação e inativa.

4.2.2. Estabelecimento das relações de troca – *trade-offs* – entre geração de energia elétrica e uso consuntivo

O estabelecimento das relações de troca ou *trade-offs* entre geração de energia e uso consuntivo será feito sem que se associe uma preferência relativa maior a um dos tipos de atendimento em detrimento do outro.

Também será avaliado o impacto que o aumento da defluência mínima dos reservatórios para manutenção do ecossistema aquático provoca na geração de energia e no atendimento das demandas consuntivas.

Os resultados obtidos ao se considerar a operação da transposição do rio São Francisco serão cotejados com os resultados decorrentes da aplicação do modelo com a transposição inativa. Essa comparação permite verificar a influência da

transposição na operação dos reservatórios e no atendimento dos usos da água dentro da própria bacia.

A atribuição de um preço médio (R\$/MWh) ao incremento médio ou à perda média observados na geração de energia permitirá associar valor monetário ao impacto causado pelo aumento da demanda hídrica consuntiva, pela operação da transposição e também pelo aumento da demanda de conservação ambiental.

Pode-se estimar o preço médio da energia a partir dos dados históricos do Preço da Liquidação das Diferenças (PLD), divulgados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). O PLD é calculado com periodicidade semanal e com base no custo marginal de operação (CMO) pelo qual é valorada a energia comercializada no mercado de curto prazo.

Os dados históricos do PLD usados na estimativa do preço médio da energia e disponibilizados pela CCEE referem-se ao período de 30/junho/2001 a 25/maio/2012 e estão apresentados no Anexo A deste trabalho.

4.2.3. Análise de sensibilidade

Uma vez que a função objetivo expressa na equação (1) procura maximizar o atendimento de diferentes tipos de demanda em uma bacia marcada por múltiplos usos da água, ela permite que o decisor atribua diferentes prioridades de atendimento a cada tipo de demanda. Essa preferência relativa que decisor associa ao atendimento energético e ao atendimento dos usos consuntivos é expressa pelos coeficientes ω e ψ e afeta diretamente os resultados das variáveis P e UC .

Assim, será verificada a sensibilidade das variáveis P e UC pela consideração de diferentes valores para os coeficientes ω e ψ . Nessa análise, o modelo HIDRO é aplicado para um período da série histórica marcado por escassez hídrica. Diferentemente da análise anterior, nesta não é considerado o aumento dos requisitos de vazão mínima a jusante dos reservatórios. São comparados os resultados obtidos para dois cenários de demanda hídrica consuntiva. Em ambos os cenários, será considerado o funcionamento da transposição do rio São Francisco.

4.2.4. Avaliação do atendimento energético ao longo da curva de duração das afluições

Não sendo alcançada a demanda objetivo de energia nos períodos de maior escassez hídrica da bacia, será aplicado o modelo HIDRO para outros períodos de afluição escolhidos seguindo o ordenamento da curva de duração da energia natural afluyente (ENA) média obtida no Capítulo 5. Serão avaliados os períodos referentes aos percentis notáveis de 100% até o percentil de 50%.

Nesta avaliação, será considerado apenas um cenário de demanda hídrica consuntiva e apenas um conjunto de restrições de vazão mínima a jusante das usinas. Além disso, será considerada apenas a situação em que a transposição do São Francisco esteja em operação.

O percentual de *deficit* aceitável para o atendimento, de forma análoga às avaliações anteriores, será de 5% da demanda objetivo.

5. ESTUDO DE CASO: bacia hidrográfica do rio São Francisco

5.1. Caracterização física da bacia

A bacia hidrográfica do rio São Francisco apresenta uma área de drenagem de 636.920 km², o que representa 8% do Território Nacional. A bacia abrange 503 municípios de 7 unidades da federação: Minas Gerais, Goiás, Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e parte do Distrito Federal.

Em decorrência da grande variação espacial das suas características físicas e climáticas, a bacia do São Francisco pode ser dividida segundo critérios geológicos, geomorfológicos, hidrográficos e climáticos em 4 regiões fisiográficas homogêneas:

- Alto São Francisco: Região compreendida entre as cabeceiras do rio principal, na serra da Canastra, e a foz do rio Jequitaiá, em Minas Gerais. Apresenta clima predominantemente úmido. Nesta região localiza-se o reservatório da UHE Três Marias. O rio das Velhas, o rio Paraopeba e o rio Pará são os principais tributários neste trecho.
- Médio São Francisco: Região compreendida entre a foz do rio Jequitaiá, em Minas Gerais, e a barragem da UHE Sobradinho, na divisa entre Bahia e Pernambuco. Possui regiões de clima tropical subúmido seco e semiárido. A vazão do rio principal neste trecho sofre a influência da regularização causada pelo reservatório de Três Marias. Os rios Grande, Corrente e Paracatu são os principais tributários neste trecho.
- Submédio São Francisco: Região compreendida entre a barragem de Sobradinho e a cidade de Belo Monte/AL. Região de clima árido a semiárido, beneficiada com a vazão regularizada pelos reservatórios de Sobradinho e de Itaparica. Nela localizam-se as UHEs Itaparica, Xingó e as do Complexo Paulo Afonso-Moxotó.
- Baixo São Francisco: Corresponde ao trecho entre Belo Monte/AL e a foz no oceano Atlântico, na divisa de Sergipe e Alagoas. Nesta região de clima tropical subúmido, o rio principal tem sua vazão regularizada pelos reservatórios de Sobradinho e de Itaparica.

A **Figura 5.1** apresenta um mapa da bacia hidrográfica do rio São Francisco e suas regiões fisiográficas.

Fonte: ANA (2003a)

Figura 5.1 - Mapa da bacia hidrográfica do rio São Francisco

As características hidroclimáticas das regiões fisiográficas da bacia constam na **Tabela 5.1**.

Tabela 5.1 - Características hidroclimáticas das regiões da bacia do São Francisco

Característica	Regiões fisiográficas			
	Alto	Médio	Submédio	Baixo
Área de drenagem (km ²)	99.387	401.559	115.987	19.987
Extensão do rio principal (km)	1.003	1.152	568	140
Vazão natural média (m ³ /s)	1.189	2.708	2.812	2.850
Vazão com permanência de 95% (m ³ /s)	289	819	842	854
Vazão incremental específica (l/s/km ²)	11,9	3,8	0,9	1,9
Precipitação média anual (mm)	1.372	1.052	693	957
Evapotranspiração média anual (mm)	1.000	1.300	1.550	1.500
Temperatura média (°C)	23	24	27	25

Fonte: ANA (2005); CBHSF (2011).

As características hidroclimáticas da bacia apresentam grande variação entre as regiões fisiográficas. A precipitação média anual, por exemplo, que não passa de 500 mm em algumas áreas situadas no Submédio São Francisco, chega a 1.500 mm nas serras do Alto São Francisco e na foz. A distribuição sazonal das chuvas também varia ao longo da bacia. No Baixo São Francisco, o período chuvoso corresponde aos bimestres de maio-junho e de agosto-setembro. No Submédio São Francisco, as poucas chuvas concentram-se no trimestre de janeiro a março. Nas demais regiões, o trimestre mais úmido é o de novembro a janeiro e o trimestre mais seco é o de junho a agosto.

Ressalta-se que a bacia do São Francisco tem 53,8% de sua área localizada no Polígono das Secas. São 343.784 km² que se estendem do Médio ao Baixo São Francisco, caracterizados por frequentes e prolongadas estiagens. Em razão disso, observa-se que, nessas regiões, a evapotranspiração supera a precipitação, do que decorre a baixa vazão específica dessas áreas, sobretudo no Submédio São Francisco, conforme visto na **Tabela 5.1**.

Por apresentarem características tão díspares, as regiões fisiográficas contribuem em diferentes graus para os deflúvios do rio São Francisco. O Alto e o Médio São Francisco contribuem, respectivamente, com 42% e 54% da vazão média. As menores contribuições vêm do Submédio e do Baixo São Francisco, 4% e 1% da vazão média respectivamente. Essa distribuição não muda significativamente quando se avalia a contribuição para a vazão com permanência de 95% (Q_{95}) – valor

que é igualado ou superado em 95% do tempo (ANA, 2005). A **Tabela 5.2** apresenta a contribuição de cada região fisiográfica à Q_{MLT} e à Q_{95} do rio São Francisco.

Tabela 5.2 - Distribuição da Q_{MLT} e da Q_{95} nas regiões fisiográficas

Região fisiográfica	Q_{MLT}		Q_{95}	
	m ³ /s	%	m ³ /s	%
Alto	1.189,2	42%	288,7	34%
Médio	1.519,8	53%	530,6	62%
Submédio	104,2	4%	22,9	3%
Baixo	38,4	1%	11,5	1%
Bacia São Francisco	2.850,6	100%	853,7	100%

Entre as unidades da federação, Minas Gerais e Bahia são as que mais contribuem para a vazão média, com 73,5% e 20,4% respectivamente. Em seguida vêm Pernambuco com 3,2%, Goiás com 1,2%, Alagoas com 0,7%, Distrito Federal com 0,6% e Sergipe com 0,4% (ANA, 2005).

5.2. Descrição das principais demandas hídricas consuntivas

O rio São Francisco é submetido à exploração econômica desde sua descoberta pelo navegador florentino Américo Vespucci, em 10 de outubro de 1501. Inicialmente, o rio atraiu o interesse dos colonizadores do litoral do Nordeste por uma característica hidrológica auspiciosa e incomum na região: sua vazão aumentava muito na estação de estiagem e diminuía durante a estação das chuvas (BURTON, 1977).

A ocupação da bacia ocorreu em duas frentes de povoamento. A primeira teve início no século XVI no Baixo São Francisco e evoluiu da foz em direção ao interior, aproveitando-se da navegabilidade do rio até a cachoeira de Paulo Afonso. A segunda ocorreu no Alto São Francisco, desencadeada pela exploração das riquezas minerais descobertas pelos bandeirantes paulistas no final do século XVII em Minas Gerais (ANA, 2005).

Atualmente, a presença de todos os tipos de uso do recurso hídrico é uma importante característica da bacia do rio São Francisco. Destacam-se a geração de energia por hidrelétricas, a irrigação de culturas e o abastecimento humano. Concomitantemente, registram-se outras demandas como os usos industriais, a

diluição de efluentes, a pesca, a navegação, a aquicultura, as atividades turísticas e a manutenção da biota aquática. Tal quadro, aliado às condições socioeconômicas bastante diversas de suas regiões, algumas das quais marcadas por escassez hídrica e pobreza endêmica, tornam o estudo dessa bacia relevante sob o aspecto do gerenciamento dos recursos hídricos.

Conforme o Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (ANA, 2005), a vazão captada para usos consuntivos no ano 2000 foi, em média, de 166 m³/s, dos quais 69% destinavam-se à irrigação, 16% ao abastecimento público, 9% ao uso industrial, 4% à criação animal e 2% ao uso rural.

A **Figura 5.2** apresenta a distribuição da vazão captada em relação aos usos em cada região fisiográfica.

Figura 5.2 - Distribuição da vazão captada por tipo de uso em cada região fisiográfica

A **Tabela 5.3** apresenta, para toda a bacia do São Francisco, a representatividade da vazão captada para usos consuntivos (Q_{cap}) em relação à vazão média de longo termo (Q_{MLT}), à vazão com permanência de 95% (Q_{95}) e à vazão regularizada (Q_{reg}).

Tabela 5.3 - Balanço entre captação e disponibilidade hídrica na bacia do S. Francisco

Região fisiográfica	Vazões acumuladas (m^3/s)				$\frac{Q_{cap}}{Q_{MLT}}$	$\frac{Q_{cap}}{Q_{95}}$	$\frac{Q_{cap}}{Q_{reg}}$
	Q_{cap}	Q_{MLT}	Q_{95}	Q_{reg}			
Alto	42	1.189	289	513	4%	15%	8%
Médio	97	2.708	819	513	4%	12%	19%
Submédio	152	2.812	842	1.815	5%	18%	8%
Baixo	166	2.850	854	1.815	6%	19%	9%

A ANA considera, para a bacia do São Francisco, que a disponibilidade hídrica superficial (Q_{disp}) corresponde à vazão com permanência de 95% nos rios sem regularização e, nos rios com regularização, à vazão regularizada somada à vazão natural incremental com 95% de permanência. Assim, a representatividade da vazão captada para usos consuntivos Q_{cap} em relação à disponibilidade hídrica Q_{disp} , em cada região fisiográfica, fica como apresentado na **Tabela 5.4**.

Tabela 5.4 - Vazão captada e disponibilidade hídrica na bacia do S. Francisco

Região fisiográfica	Vazões acumuladas (m^3/s)		$\frac{Q_{cap}}{Q_{disp}}$
	Q_{cap}	Q_{disp}	
Alto	42	622	7%
Médio	97	1.160	8%
Submédio	152	1.838	8%
Baixo	166	1.849	9%

Ainda segundo o Plano Decenal, as taxas de retorno na bacia eram, em média, de 80% para abastecimento urbano e industrial, 50% para uso rural e apenas 20% para irrigação e criação animal. A vazão de retorno na bacia era, em média, de $60 m^3/s$, o que implica uma vazão consumida média em toda a bacia de $106 m^3/s$, dos quais 87% referentes à agricultura irrigada (ANA, 2005).

As demandas hídricas consideradas prioritárias pela Lei Federal 9.433/97, isto é, o consumo humano – que inclui abastecimento urbano e rural – e a criação animal, representam 10,6% da vazão de consumo total na bacia do São Francisco segundo o Plano Decenal. Os usos prioritários são mais expressivos na parte alta da bacia.

A **Figura 5.3** apresenta a distribuição da vazão consumida por tipo de uso em cada região fisiográfica da bacia do São Francisco segundo o Plano Decenal.

Figura 5.3 - Distribuição da vazão consumida por tipo de uso em cada região fisiográfica

Ressalta-se que os valores de vazão captada, de vazão consumida e de vazão de retorno adotados pelo Plano Decenal foram determinados no trabalho intitulado "Estimativas das vazões para atividades de uso consuntivo da água nas principais bacias do SIN", realizado pelo ONS em 2003. Esses valores servem de base para o ONS estabelecer as restrições de uso consuntivo na otimização da operação do SIN. O estudo também define taxas de crescimento do uso consuntivo que devem ser utilizadas na extrapolação dos valores para os anos posteriores.

A **Tabela 5.5** apresenta os valores de uso consuntivo na área de contribuição incremental dos reservatórios da bacia do São Francisco para o ano de 2011, considerados na otimização do SIN. Esses valores constam nos arquivos de saída do NEWAVE disponibilizados pela CCEE (CCEE, 2011).

Tabela 5.5 – Uso consuntivo em 2011 segundo ONS

Reservatório	Uso consuntivo (m ³ /s)												Média
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Retiro Baixo	1,2	2,4	1,5	2,7	1,8	2,3	2,3	2,0	2,3	1,4	1,0	1,0	1,8
Três Marias	4,2	8,4	5,4	9,6	6,4	8,3	8,0	7,1	8,0	4,9	3,6	3,5	6,4
Queimado	0,2	0,2	0,6	1,1	1,2	1,0	1,7	2,0	2,1	0,5	0,2	0,2	0,9
Sobradinho	50,6	62,1	30,7	71,0	73,9	79,4	73,5	87,7	92,4	48,9	17,7	16,9	58,6
Itaparica	57,1	45,7	17,9	47,9	49,1	40,1	46,5	57,6	68,5	69,3	70,4	40,9	50,9
P,Afonso-Moxotó	2,6	2,2	1,0	2,2	2,1	1,4	1,3	1,9	2,7	2,6	2,9	1,8	2,1
Xingó	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
Total	116,2	121,3	57,3	134,8	134,8	132,7	133,5	158,5	176,3	127,9	96,2	64,6	121,0

A despeito das informações acerca de vazão captada e de vazão consumida que constam no Plano Decenal, as outorgas emitidas para usos consuntivos na bacia do rio São Francisco permitem a consideração de valores diferentes dos até aqui apresentados. A partir de dados do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH), referentes às outorgas para uso da água na bacia do rio São Francisco emitidas até outubro de 2009, chega a 767 m³/s a vazão total outorgada para captação na bacia e a 24 m³/s a vazão total outorgada para lançamentos, o que resulta um consumo total outorgado de 743 m³/s (UFBA, 2010).

A maior parte das outorgas concedidas na bacia destina-se à irrigação exclusivamente ou à irrigação aliada a outros usos. A irrigação é responsável por 79,6% de toda vazão captada e por 82,1% de todo o consumo (UFBA, 2010).

A **Tabela 5.6** apresenta a distribuição das outorgas na bacia do rio São Francisco por tipo de uso.

Tabela 5.6 - Distribuição das outorgas segundo o tipo de uso

	Captação		Consumo	
	Q (m ³ /s)	%	Q (m ³ /s)	%
Abastecimento público	19,2	2,5%	6,6	0,9%
Criação animal	73,3	9,6%	73,2	9,9%
Irrigação	610,6	79,6%	610,3	82,1%
Indústria	8,0	1,0%	2,4	0,3%
Transposição	26,8	3,5%	26,8	3,6%
Outros	28,8	3,8%	23,7	3,2%
Total	766,7	100%	743,0	100%

Fonte: UFBA (2010)

Os usos considerados prioritários representam em conjunto 12,1% da vazão de captação outorgada na bacia e 10,8% do consumo outorgado, conforme apresentado na **Figura 5.4**. Se o conjunto dos usos prioritários incluir a transposição do rio São Francisco, a qual se destina ao abastecimento urbano e de comunidades

rurais, ele passa a representar 15% da vazão de captação outorgada e do consumo outorgado.

Figura 5.4 - Representatividade dos usos consuntivos na vazão outorgada na bacia do São Francisco

Descontadas as outorgas para uso de mananciais subterrâneos, tem-se que o total de captações superficiais outorgadas chega a 705 m³/s e que o total de lançamentos outorgados é de 14,5 m³/s em toda a bacia. Chega-se, portanto, a um consumo total de 690,5 m³/s outorgado para mananciais superficiais.

É possível agrupar as outorgas conforme a localização geográfica dos usuários relativa à área incremental de contribuição de cada um dos sete principais reservatórios da bacia do São Francisco: Retiro Baixo, Três Marias, Queimado, Sobradinho, Itaparica, Complexo Paulo Afonso-Moxotó e Xingó. Segundo esse critério, 62% do consumo outorgado total ocorre na área incremental de contribuição do reservatório de Sobradinho, conforme mostrado na **Figura 5.5**. A descrição dos reservatórios está apresentada com maior detalhamento no item 5.3.1.

Figura 5.5 - Distribuição do consumo outorgado nas áreas de contribuição dos reservatórios

A vazão de consumo outorgada na área incremental de contribuição dos reservatórios, considerando apenas mananciais superficiais, consta na **Tabela 5.7**.

Tabela 5.7 – Vazão de consumo outorgada até 2009 nas áreas de contribuição dos reservatórios

Reservatório	Consumo outorgado (m³/s)												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Retiro Baixo	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3
Três Marias	35,2	35,4	35,8	36,5	40,7	40,6	40,7	40,8	40,8	40,7	36,2	35,8	38,3
Queimado	1,3	1,3	1,3	1,3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,5	1,4
Sobradinho	416,7	422,6	432,3	448,7	434,2	425,9	437,2	457,1	468,3	419,8	385,8	379,9	427,4
Itaparica	139,9	142,2	136,6	128,6	120	114,6	121,5	129,8	136,5	137,9	139,9	136	131,9
P.Afonso-Moxotó	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
Xingó	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Total	611,8	620,2	624,7	633,8	615,1	601,3	619,6	647,9	665,8	618,5	581,9	571,9	617,7

A **Tabela 5.8** apresenta uma comparação entre os valores médios de vazão consumida na bacia do rio São Francisco, bem como a vazão consumida por usos prioritários, segundo o ONS, ano-base 2011, e segundo o CNARH, ano-base 2009. Para o cálculo do uso prioritário segundo ONS, supôs-se que sua representatividade no consumo total em 2011 manteve o mesmo percentual observado em 2000.

Tabela 5.8 – Diferença entre os valores de consumo segundo ONS e segundo CNARH

Reservatório	Consumo total (m³/s)		Uso prioritário (m³/s)		Uso prioritário / Total	
	ONS	CNARH	ONS	CNARH	ONS	CNARH
Retiro Baixo	1,8	13,3	1,1	1,5	59,1%	11,0%
Três Marias	6,4	38,3	2,8	4,2	43,3%	11,0%
Queimado	0,9	1,4	0,1	0,0	8,9%	1,2%
Sobradinho	58,6	427,3	7,0	39,0	12,0%	9,1%
Itaparica	50,9	131,9	1,5	7,4	3,3%	5,6%
P.Afonso-Moxotó	2,1	1,4	0,1	0,1	3,3%	4,6%
Xingó	0,3	3,7	0,1	0,2	45,9%	5,3%
Total	121,0	617,4	12,7	52,3	10,5%	8,5%

Alguns fatores podem explicar por que a vazão outorgada total na bacia supera a demanda hídrica estimada pelo ONS. Um deles é que os dados de vazão outorgada incluem as outorgas concedidas a empreendimentos que, embora não tenham sido implementados, já têm garantidos seu direito de uso do recurso hídrico, condição exigida em alguns processos de licenciamento como, por exemplo, a obtenção de licenças ambientais. Outro fator é que nem sempre os usuários informam ao Poder Público que deixaram de operar uma captação outorgada, e o registro da captação desativada continua a figurar entre as demais outorgas.

Ressalta-se, também, que são os próprios usuários que informam ao Poder Público os valores que constam em seu cadastro, o que torna algumas informações inconsistentes – notadamente no que se refere à sazonalidade das vazões captadas e lançadas – ou mesmo divergentes – por exemplo, ao se comparar o volume total anual com o volume obtido ao ser considerado o tempo de funcionamento de captações e sua frequência semanal.

Detalham-se, na sequência, os principais usos do recurso hídrico presentes na bacia do rio São Francisco.

5.2.1. Abastecimento urbano e uso industrial

A população da bacia do São Francisco, em 2003, era de 13.297.955 habitantes. Sua distribuição pelas regiões fisiográficas é heterogênea: 49% no Alto, 25% no Médio, 15% no Submédio e 11% no Baixo S. Francisco (ANA, 2004).

Cerca de 40% da população vive nos 251 municípios da bacia situados dentro do Polígono das Secas, que engloba todo o Submédio e parte do Médio e do Baixo São Francisco. Trata-se de uma área de clima semiárido, caracterizada pela pobreza crítica e pelo êxodo de população (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004).

Metade da população da bacia vive em 14 municípios maiores que 100.000 habitantes. A principal aglomeração urbana na bacia corresponde à Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), situada no Alto São Francisco. Composta por 26 municípios, a RMBH concentra 30% de toda a população da bacia em uma área de 6.255 km², o que não chega a 1% da superfície total da bacia. Outros centros urbanos relevantes na bacia são Divinópolis/MG no Alto São Francisco,

Montes Claros/MG e Barreiras/BA no Médio São Francisco, Juazeiro/BA e Petrolina/PE no Submédio e Arapiraca/AL no Baixo São Francisco (ANA, 2005).

A **Tabela 5.9** apresenta algumas características socioeconômicas das regiões fisiográficas.

Tabela 5.9 - Características socioeconômicas da bacia do São Francisco

Característica	Regiões fisiográficas				Bacia
	Alto	Médio	Submédio	Baixo	
População residente (hab)	6.489.402	3.364.383	2.021.289	1.422.881	13.297.955
Grau de urbanização (%)	93	57	54	51	74
Densidade demográfica (hab/km ²)	62,9	8,0	16,8	68,7	20,8
IDH dos municípios	0,55 a 0,80	0,34 a 0,72	0,44 a 0,66	0,36 a 0,53	0,34 a 0,80

Fonte: ANA (2005)

O rio São Francisco, em seu percurso de 2.863 km de extensão, é responsável pelo atendimento de 111 sedes municipais situadas em suas margens. Por meio de extensas linhas de adução, é também a principal solução para o abastecimento de outras 70 sedes municipais, algumas delas localizadas fora da bacia hidrográfica (ANA, 2010). A principal aglomeração urbana abastecida pelo rio São Francisco e que se situa fora da bacia é formada pela capital de Sergipe e dois municípios de seu entorno – Nossa Senhora do Socorro e Barra dos Coqueiros – situados na bacia do rio Sergipe (SERGIPE, 2010). O Sistema Adutor São Francisco, por meio de transposição, atende 60% dos moradores da Grande Aracaju, além de outros três municípios do interior sergipano (DESO, 2011).

Segundo o Plano Decenal, baseado no estudo de usos consuntivos do ONS, a demanda de abastecimento público é responsável pela retirada de 26 m³/s dos corpos hídricos superficiais da bacia do São Francisco, dos quais 69% correspondem às demandas do Alto São Francisco (ANA, 2005). A **Tabela 5.10** traz a demanda de abastecimento público entre as regiões segundo o Plano Decenal.

Tabela 5.10 - Demanda média de abastecimento público segundo ONS

Região fisiográfica	Demanda média	
	(m ³ /s)	%
Alto	18,0	69%
Médio	4,4	17%
Submédio	2,6	10%
Baixo	1,0	4%
Total	26,0	100%

Fonte: ANA (2005)

O Atlas Brasil (ANA, 2010), por sua vez, indica uma vazão retirada de 28 m³/s para o abastecimento de municípios da própria bacia e de 1,6 m³/s para municípios de bacias vizinhas. Segundo o Atlas, os mananciais superficiais da bacia abastecem uma população de 10 milhões de pessoas. A **Tabela 5.11** traz, para cada região fisiográfica, as retiradas para abastecimento público, incluindo as destinadas ao atendimento de municípios situados fora dos limites da bacia segundo o Atlas Brasil.

Tabela 5.11 - Demandas de abastecimento público da bacia do São Francisco atendidas por mananciais superficiais segundo Atlas Brasil

Regiões fisiográficas	Demanda média		População atendida (hab)
	(m ³ /s)	%	
Alto	17,1	58%	5.852.165
Médio	5,4	18%	1.952.719
Submédio	3,4	12%	1.199.994
Baixo	3,7	12%	731.205 (própria bacia) 468.833 (outras bacias)
Total	29,6	100%	10.204.916

Fonte: ANA (2010)

O uso da água para fins industriais na bacia do São Francisco ocorre, preponderantemente, na RMBH, na qual o setor industrial é bastante diversificado e apresenta uma demanda hídrica menor apenas que a de abastecimento público. Tal fato faz com que o Alto São Francisco responda por 90% da vazão retirada em toda a bacia para uso industrial. Nas demais regiões, a atividade industrial é de pequena relevância econômica (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004).

A **Tabela 5.12** apresenta a vazão retirada para uso industrial na bacia.

Tabela 5.12 - Vazão captada para usos industriais na bacia do São Francisco

Regiões fisiográficas	Demanda industrial			
	estimativa ANA		estimativa ONS	
	(m ³ /s)	%	(m ³ /s)	%
Alto	11,4	88,4%	13,8	90,8%
Médio	0,8	6,2%	0,6	3,9%
Submédio	0,4	3,1%	0,5	3,3%
Baixo	0,3	2,3%	0,3	2,0%
Total	12,9	100%	15,2	100%

Fonte: ANA/GEF/PNUMA/OEA (2004b)

A elevada demanda para abastecimento humano e para uso industrial, notadamente no setor de mineração, faz do Alto Rio das Velhas, no Alto São Francisco, uma das sub-bacias mais críticas em termos de disponibilidade hídrica:

nas proximidades da RMBH, a demanda hídrica para abastecimento público e para uso industrial ultrapassa 70% da vazão média de longo termo (ANA, 2005).

5.2.2. Irrigação

A principal demanda consuntiva de água na bacia é a irrigação, principalmente no Médio e no Submédio São Francisco. A agricultura irrigada é considerada uma atividade indutora do desenvolvimento regional da bacia ao adotar culturas de maior valor econômico e de melhor eficiência quanto à necessidade de água, notadamente na região de clima semiárido, cujos municípios são os que apresentam os menores indicadores sociais na bacia.

A expansão das áreas irrigadas na bacia ocorreu em ritmo mais acelerado a partir do final da década de 1960. Desde o final do século XIX, contudo, há registros de projetos de irrigação implantados pelo Governo Federal de forma isolada, cujo objetivo era o abastecimento de água no Semiárido sem qualquer integração com outros programas nacionais (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004a). A evolução da área irrigada no Brasil e na bacia do São Francisco é apresentada na **Figura 5.6**.

Figura 5.6 - Evolução da área irrigada no Brasil e na bacia do São Francisco

Os principais polos de irrigação implantados na bacia do São Francisco são Norte de Minas (32.283 ha irrigados), Oeste Baiano (23.334 ha), Irecê (2.166 ha), Guanambi (8.373 ha), Baixo São Francisco (10.507 ha) e Petrolina/Juazeiro (46.279 ha), o mais desenvolvido e voltado à produção de frutas para exportação (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004a).

A irrigação demanda 114 m³/s, o que corresponde a 69% da vazão captada total na bacia (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004b). A distribuição das demandas de irrigação em cada região fisiográfica é mostrada na **Tabela 5.13**.

Tabela 5.13 - Área irrigada e demanda de irrigação na bacia do São Francisco

Região fisiográfica	Área irrigada		Demanda de irrigação	
	(10 ³ ha)	%	(m ³ /s)	%
Alto	48	14%	7,7	7%
Médio	173	50%	45,1	40%
Submédio	87	25%	50,2	44%
Baixo	35	10%	11,0	10%
Total	343	100%	114	100%

Fonte: ANA/GEF/PNUMA/OEA (2004a, 2004b)

Os valores apresentados na **Tabela 5.13** para a demanda de irrigação são baseados no estudo realizado pelo ONS para determinação dos usos consuntivos de água na bacia do São Francisco, ano-base 2003. Outras fontes apresentam valores distintos para as retiradas com fins de irrigação na bacia. A resolução nº. 145 da Agência Nacional de Águas, de 22 de julho de 2002, estima os valores de vazão captada para irrigação na bacia do São Francisco para o período 2000-2007 apresentados na **Tabela 5.14**, os quais foram utilizados por Brandão (2004).

Tabela 5.14 - Estimativa da captação (m³/s) para irrigação na bacia

Ano	Montante de Sobradinho	Entre Sobradinho e Itaparica	Entre Itaparica e Xingó	Jusante de Xingó	Total
1999	94,2	86,8	4,0	8,4	193,3
2000	96,5	88,9	4,1	8,6	198,0
2001	98,7	90,9	4,2	8,8	202,6
2002	101,0	93,0	4,3	9,0	207,2
2003	103,2	95,1	4,4	9,2	211,9
2004	105,5	97,2	4,5	9,4	216,5
2005	107,8	99,3	4,6	9,6	221,2
2006	110,0	101,4	4,7	9,8	225,8
2007	112,3	103,4	4,8	10,0	230,4

Fonte: ANA (2002)

As áreas irrigadas na bacia se localizam, principalmente, ao longo da calha do rio São Francisco e dos afluentes perenes. A rede hidrográfica da bacia compõe-se, majoritariamente, de rios intermitentes. Quase todos os afluentes perenes localizam-

se em Minas Gerais, dos quais o Velhas, o Gorutuba, o Jequitai e o Verde Grande servem de manancial dos polos de irrigação. Outros mananciais perenes para irrigação são os rios Grande e Corrente, localizados no oeste da Bahia.

As altas demandas para irrigação de culturas e sua contínua expansão levaram à ocorrência de conflitos entre usuários da água na sub-bacia do Alto Preto, entre Goiás e Minas Gerais, e na do Alto Grande, no Oeste Baiano. O intenso consumo da agricultura irrigada, aliado à baixa precipitação, ocasiona a intermitência do fluxo do rio Salitre, na Bahia (MINAS GERAIS, 2003). Esses mesmos fatores também tornam crítica a disponibilidade hídrica nas sub-bacias dos rios Garças, Terra Nova e Alto Ipanema em Pernambuco e na do rio Verde Grande em Minas Gerais e na Bahia. Em todas essas sub-bacias, a demanda hídrica média chega a ultrapassar 70% da vazão média de longo termo (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004a).

Algumas áreas de grande consumo de água para irrigação, identificadas pelo Grupo de Estudos de Relações Intersectoriais (GERI) (UFBA, 2010), são mostradas nas Figuras 5.7, 5.8 e 5.9. A **Figura 5.7** mostra a vista aérea das áreas irrigadas na sub-bacia do Alto Rio Grande, no Oeste Baiano. A **Figura 5.8** mostra o canal de irrigação do Baixio de Irecê, no Centro Norte Baiano. A **Figura 5.9** mostra as áreas irrigadas nas proximidades de Jaíba, sub-bacia do Verde Grande, Norte de Minas.

Figura 5.7 – Áreas irrigadas na sub-bacia do Alto Rio Grande, Oeste Baiano

Figura 5.8 – Vista aérea do canal de irrigação do Baixo de Irecê, Bahia

Figura 5.9 – Áreas irrigadas em Jaíba, sub-bacia do Verde Grande, Norte de Minas

Estima-se que o potencial de áreas irrigadas em toda a bacia do rio São Francisco seja da ordem de 8 milhões de hectares. Estudos realizados em conjunto pela Codevasf e pela Chesf, contudo, concluem que é possível haver prejuízo no atendimento de outros usos da água caso a área irrigada total na bacia supere 800.000 hectares (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004a).

O fornecimento de água para a irrigação se beneficia de alguns reservatórios construídos na bacia, alguns dos quais utilizados para outros usos como abastecimento humano e geração de energia elétrica. Em algumas sub-bacias, o atendimento das demandas de irrigação pelo reservatório interfere na produção de energia pelas hidrelétricas nos períodos de estiagem prolongada. A porção da bacia que vai do entorno do reservatório de Sobradinho até o reservatório de Xingó é a que registra os principais conflitos entre irrigação e geração de energia elétrica.

5.2.3. Transposição do rio São Francisco para o Nordeste Setentrional

A vazão média do rio São Francisco em sua foz, $2.850 \text{ m}^3/\text{s}$, corresponde a 70% da disponibilidade de água doce de toda a Região Nordeste, sendo este um dos motivos apontados para se utilizarem as águas do São Francisco em localidades nordestinas situadas fora da bacia (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004).

O Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF) tem como objetivo aumentar a disponibilidade hídrica das bacias do Semiárido para o abastecimento humano. A versão inicial do projeto, datada de 1981, previa a transposição de $300 \text{ m}^3/\text{s}$. Nos estudos realizados em 1994 e 1998, propunha-se que a vazão transposta fosse de $180 \text{ m}^3/\text{s}$ e $70 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente (ALVES FILHO, 2000).

Atualmente, prevê-se que a retirada de $26,4 \text{ m}^3/\text{s}$ do rio São Francisco regularize as vazões afluentes aos grandes açudes do Nordeste Setentrional, que servem a 390 municípios dos estados de Pernambuco, da Paraíba, do Ceará e do Rio Grande do Norte. Estima-se que em 2025, horizonte do projeto, a população atendida seja de 12 milhões de habitantes, o que inclui as capitais Fortaleza/CE e João Pessoa/PB e cidades-polo como Campina Grande/PB, Crato/CE, Juazeiro do Norte/CE e Mossoró/RN (CODEVASF, 2011).

O projeto prevê a construção de dois eixos de integração, o Norte e o Leste. A derivação do eixo Norte será na cidade de Cabrobó/PE, a montante do reservatório de Itaparica. Apresentará 402 km de extensão e atenderá as bacias do rio Jaguaribe e do rio Salgado no Ceará, do rio Piranhas na Paraíba e no Rio Grande do Norte e do rio Apodi no Rio Grande do Norte. Também atenderá 3 sub-bacias do rio São Francisco em Pernambuco: as dos rios Brígida, Terra Nova e Pajeú. A vazão de operação do eixo Norte será de $16,4 \text{ m}^3/\text{s}$, a qual poderá variar até a capacidade máxima de $99 \text{ m}^3/\text{s}$ em situações de vertimento em Sobradinho.

A derivação do eixo Leste será no reservatório de Itaparica próximo à cidade de Floresta/PE. Com extensão de 220 km, atenderá a bacia do rio Paraíba na Paraíba e 2 sub-bacias do São Francisco em Pernambuco: a do rio Pajeú e a do rio Moxotó. A vazão de operação do eixo Leste será de $10 \text{ m}^3/\text{s}$, a qual, em situações de vertimento em Sobradinho, poderá variar até a capacidade máxima de $28 \text{ m}^3/\text{s}$.

A **Figura 5.10** apresenta um mapa de localização dos eixos da transposição do São Francisco, bem como as adutoras previstas no PISF.

Figura 5.10 - Mapa de localização dos eixos da transposição do rio São Francisco

A Resolução ANA n°.411/2005 outorga à transposição a vazão de operação de $26,4 \text{ m}^3/\text{s}$ e estabelece que esse valor pode ser ultrapassado somente quando o nível d'água no reservatório de Sobradinho superar o menor entre os seguintes

valores: volume de espera para controle de cheias ou 94% do volume útil. Nesse caso, a vazão máxima instantânea poderá chegar a $127 \text{ m}^3/\text{s}$, porém a vazão máxima diária não poderá ultrapassar $114,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (ANA, 2005).

Com relação ao impacto da transposição sobre as vazões do rio São Francisco, a vazão de operação contínua da transposição, $26,4 \text{ m}^3/\text{s}$, representa 1,4% da vazão de $1850 \text{ m}^3/\text{s}$ garantida pelo reservatório de Sobradinho (CODEVASF, 2011). Segundo as leituras de vazão mensal do posto fluviométrico 48020000, a vazão com permanência de 95% do tempo em Juazeiro/BA, após o início de operação de Sobradinho, é de $1410 \text{ m}^3/\text{s}$. A vazão de operação da transposição corresponderia, assim, a 1,8% da Q_{95} registrada neste posto. Se comparada à vazão mínima mensal registrada em Juazeiro/BA após a operação de Sobradinho, $906 \text{ m}^3/\text{s}$, a vazão de operação equivale a 3% desse valor.

O impacto da transposição sobre os usos múltiplos da água na bacia foi estimado por Brandão (2004). Para uma vazão de operação de $64 \text{ m}^3/\text{s}$, a perda média na geração de energia poderia chegar a 3% em um cenário de escassez hídrica. Caso não fossem consideradas as demandas de irrigação, a redução média da produção de energia, para o mesmo cenário de escassez e a mesma vazão de operação de $64 \text{ m}^3/\text{s}$, seria de 2% (BRANDÃO, 2004).

5.3. Descrição dos principais usos não consuntivos na bacia

5.3.1. Geração de energia pelas hidrelétricas

O potencial hidrelétrico da bacia do São Francisco é de 26 GW, o que representa 11% do potencial hidrelétrico do País, estimado em 243 GW. Na bacia do São Francisco, encontram-se 13% do total em operação por hidrelétricas no Brasil (ELETROBRÁS, 2010), conforme mostram os dados da **Tabela 5.15**.

As maiores usinas hidrelétricas em operação na bacia do São Francisco – Retiro Baixo (RBA), Três Marias (TMA), Queimado (QUE), Sobradinho (SOB), Itaparica (ITP), Complexo Paulo Afonso-Moxotó (PAM) e Xingó (XIN) – fazem parte do SIN e somam potência instalada de 10,6 GW. As últimas quatro hidrelétricas

citadas representam a base do suprimento de energia do subsistema Nordeste, e as três primeiras atendem o subsistema Sudeste.

Tabela 5.15 - Distribuição do potencial hidrelétrico pelas bacias hidrográficas

Bacia	Operação		Disponível		Total	
	GW	%	GW	%	GW	%
Amazonas	1,09	1%	88,81	55%	89,90	37%
Paraná	41,89	51%	20,41	13%	62,30	26%
São Francisco	10,69	13%	15,36	10%	26,05	11%
Tocantins-Araguaia	13,14	16%	13,08	8%	26,22	11%
Uruguai	6,53	8%	5,78	4%	12,31	5%
Atlântico Norte/Nordeste	0,32	0%	2,42	1%	2,74	1%
Atlântico Leste	4,82	6%	9,17	6%	13,99	6%
Atlântico Sudeste	3,46	4%	6,39	4%	9,85	4%
Total	81,93	100%	161,43	100%	243,36	100%

Fonte: SIPOT Dezembro/2010 (ELETROBRÁS, 2010)

Os reservatórios das usinas de Três Marias e de Sobradinho são os que apresentam maior capacidade de acumulação e propiciam a regularização plurianual das vazões do rio São Francisco. Os reservatórios de Retiro Baixo, no rio Paraopeba, de Queimado, no rio Preto, e de Itaparica, no rio São Francisco, têm capacidade de regularização anual. A **Figura 5.11** apresenta o diagrama esquemático das principais usinas hidrelétricas da bacia do São Francisco.

Figura 5.11 - Diagrama esquemático das usinas hidrelétricas da bacia do São Francisco

A **Tabela 5.16** apresenta as principais características dos reservatórios como a área de drenagem, o volume útil (VU), os níveis d'água mínimo e máximo, a vazão média afluente (Q_{af}) e a vazão regularizada (Q_{reg}), bem como a potência instalada nas usinas hidrelétricas. A evaporação líquida estimada para esses reservatórios, utilizada pelo setor elétrico (ONS, 2004), consta na **Tabela 5.17**. A **Tabela 5.18** apresenta os coeficientes dos polinômios de quarto grau que geram as curvas cota-volume, cota-área e cota-vazão de jusante de cada aproveitamento.

Tabela 5.16 - Características dos aproveitamentos hidrelétricos da bacia do S. Francisco

Reservatório / Usina	Operador	Potência instalada (MW)	Área de drenagem (km ²)	VU (hm ³)	NA mín. normal (m)	NA máx. normal (m)	Q _{af} (m ³ /s)	Q _{reg} (m ³ /s)
Retiro Baixo	Retiro Baixo	82	11.160	40,87	614,00	616,00	159	
Três Marias	Cemig	396	50.732	15.278	549,20	572,50	686	513
Queimado	Cemig	105	3.760	389	811,00	829,00	57	34
Sobradinho	Chesf	1.050	499.084	28.669	380,50	392,50	2.706	1.825
Itaparica	Chesf	1.500	593.384	3.549	251,50	251,50	2.791	1.875
P. Afonso-Moxotó	Chesf	4.283	606.270	158	251,00	251,50	2.810	1.875
Xingó	Chesf	3.162	610.544	65	137,20	138,00	2.810	1.875

Fonte: ANA (2007a), ANA/GEF/PNUMA/OEA (2004c), ONS (2010a).

Tabela 5.17 - Evaporação líquida (mm) dos reservatórios da bacia do S. Francisco

	Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Reservatório														anual
Retiro Baixo		-21	-14	9	30	45	49	69	83	60	30	1	-12	329
Três Marias		-1	-2	28	47	61	61	58	49	49	35	21	22	428
Queimado		21	4	21	33	59	70	77	79	80	51	17	51	563
Sobradinho		171	109	61	56	108	104	165	203	234	267	245	223	1946
Itaparica		163	88	47	35	55	41	81	138	190	227	235	202	1502
Paulo Afonso-Moxotó		163	88	47	35	55	41	81	138	190	227	235	202	1502
Xingó		163	88	47	35	55	41	81	138	190	227	235	202	1502

Fonte: ONS (2004)

Tabela 5.18 - Coeficientes dos polinômios dos reservatórios da bacia do S. Francisco

Reservatório	Curva Cota X Volume				
	A0	A1	A2	A3	A4
Retiro Baixo	5,915352E-02	1,642508E-01	-2,607112E-04	0	0
Três Marias	5,303318E+02	6,075960E-03	-4,836150E-07	2,203479E-11	-3,846500E-16
Queimado	8,017885E+02	1,142334E-01	-1,977012E-04	1,441183E-07	-2,488779E-17
Sobradinho	3,741790E+02	1,396690E-03	-5,351590E-08	1,155989E-12	-9,545989E-18
Itaparica	2,758130E+02	6,764889E-03	-8,868370E-07	7,067909E-11	-2,239850E-15
P.A.-Moxotó	2,515000E+02	0	0	0	0
Xingó	1,380000E+02	0	0	0	0
Reservatório	Curva Área X Cota				
	A0	A1	A2	A3	A4
Retiro Baixo	-7,237893E+05	2,350039E-03	-1,907499E+00	0	0
Três Marias	1,207500E+07	-8,934369E+04	2,479890E+02	-3,060890E-01	1,417750E-04
Queimado	-7,222561E+06	2,654824E+04	-3,252922E+01	1,328637E-02	0
Sobradinho	-5,037100E+05	4,913789E+03	-8,966889E+00	-1,891690E-02	4,653790E-05
Itaparica	-1,996950E+05	1,822240E+03	-4,435699E+00	-1,917610E-03	1,292100E-05
P.A.-Moxotó	2,130000E+02	0	0	0	0
Xingó	6,000000E+01	0	0	0	0
Reservatório	Curva Cota de jusante X Vazão defluente				
	A0	A1	A2	A3	A4
Retiro Baixo	5,77E+02	6,877187E-03	-2,099505E-06	3,629827E-10	-2,35895E-14
Três Marias	5,146558E+02	1,606860E-03	-2,552750E-07	2,885479E-11	-1,179780E-15
Queimado	6,362000E+02	3,073000E-02	-1,553100E-04	5,084740E-07	-6,098659E-10
Sobradinho	3,596538E+02	1,964010E-03	-2,968730E-07	2,508280E-11	-7,702299E-16
Itaparica	2,515000E+02	0	0	0	0
P.A.-Moxotó	1,380000E+02	0	0	0	0
Xingó	1,003861E+01	6,665461E-03	-2,454770E-06	4,559482E-10	-3,144850E-14

5.3.2. Navegação

Conforme o relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2010a), o País conta com 28.834 km de rios navegáveis, dos quais 7% situam-se na bacia do São Francisco. São 1.578 km no rio principal, dos quais 1.370 km entre Pirapora/MG e Juazeiro/BA e 208 km entre Piranhas/AL e a foz, além de 350 km no rio Grande e 110 km no rio Corrente, o que totaliza 2.038 km. Durante a estação das chuvas, notam-se condições adequadas à navegação no baixo curso dos afluentes Paracatu, por um trecho de 100 km, Velhas, por 90 km, e Carinhanha, por 80 km (ANA, 2007).

A bacia tem como principais portos Pirapora/MG, Itacarambi/MG, Ibotirama/BA, Juazeiro/BA e Petrolina/PE. O maior tráfego de embarcações é registrado na Bahia, entre a foz do rio Carinhanha e a foz do rio Grande (MINAS GERAIS, 2003). No trecho Piranhas-foz trafegam embarcações turísticas e de pesca. Nos trechos a montante de Petrolina/PE, realiza-se o escoamento da produção de soja e de milho do Oeste Baiano e o transporte de gesso agrícola para Barreiras/BA e de gipsita para Minas Gerais (ANA, 2007).

Após a construção dos reservatórios para geração de energia elétrica, alguns impactos negativos à navegação passaram a ser observados ao longo do rio São Francisco. No trecho entre os reservatórios de Três Marias e de Sobradinho, o processo de assoreamento causa frequentes encalhes de embarcações durante os meses de estiagem, o que ocasionou o abandono da navegação comercial nos 760 km entre os portos de Pirapora/MG e Ibotirama/BA (ANA, 2007). A navegação no trecho entre a barragem de Sobradinho e as cidades de Juazeiro/BA e Petrolina/PE fica impossibilitada quando a vazão defluente de Sobradinho baixa a valores próximos de $1.100 \text{ m}^3/\text{s}$, por não haver calado mínimo para as embarcações. A construção das barragens provocou impactos também no Baixo São Francisco, onde a modificação das condições de escoamento prejudicou a navegação e a falta de carreamento de sedimentos levou à extinção de algumas espécies da ictiofauna.

A fim de que a calha do São Francisco seja adequada à navegação, impõe-se a restrição de vazão mínima de $500 \text{ m}^3/\text{s}$ a jusante de Três Marias para garantia de calado mínimo das embarcações (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004c).

5.3.3. Restrições operativas das usinas

Conforme estudos do ONS (2010a, 2011), os reservatórios das usinas hidrelétricas estão sujeitos a algumas restrições operativas como, por exemplo, vazão defluente máxima, vazão defluente mínima, taxa de variação máxima da defluência e nível d'água máximo a montante.

A exigência de vazão defluente mínima ou vazão remanescente visa garantir a operação dos sistemas de captação de água para abastecimento público, o calado mínimo para navegação no rio, a proteção à ictiofauna e a manutenção do ecossistema aquático.

As restrições de vazão defluente máxima, por sua vez, são estabelecidas para minimizar inundações em lavouras, áreas residenciais e industriais, bem como evitar danos a estruturas como sistemas de captação para abastecimento público, estações de piscicultura, pontes, diques, portos fluviais, rodovias e ferrovias.

Em algumas sub-bacias, faz-se necessário, também, limitar a taxa de variação da defluência, ou seja, a máxima amplitude permitida ao longo de uma hora ou de um dia à vazão defluente, que é a soma da vazão turbinada com a vazão vertida. O objetivo, geralmente, é evitar danos à calha do rio. Os reservatórios de Queimado, de Três Marias e de Sobradinho apresentam restrições deste tipo.

Alguns reservatórios apresentam restrições quanto ao nível d'água máximo, a fim de impedir inundações de áreas urbanas e de lavouras localizados a montante do aproveitamento hidrelétrico. Restrições deste tipo são impostas aos reservatórios de Três Marias e de Itaparica.

Há outras restrições operativas estabelecidas para os reservatórios como, por exemplo, as relacionadas à concentração de oxigênio dissolvido, vazão máxima no vertedor e operações de descargas de fundo, cujo detalhamento foge dos objetivos deste trabalho.

A **Tabela 5.19** traz as restrições operativas dos reservatórios da bacia do São Francisco atualmente impostas aos agentes operadores das usinas.

Tabela 5.19 - Restrições operativas das usinas da bacia do São Francisco

UHE	Vazão defluente mínima (m ³ /s)	Vazão defluente máxima (m ³ /s)	NA máximo montante (m)	Taxa de variação de defluência
RBA	27,67	-	-	-
TMA	300(abastecimento) 500 (navegação)	4.000	572,50	100 a 200 m ³ /s/0,5h 500 a 700 m ³ /s/dia
QUE	8,8	300	-	150 m ³ /s/dia
SOB	1.300	8.000	-	500 m ³ /s/dia(operação normal) 1.000 m ³ /s/dia(contr. de cheia)
ITP	-	-	304,00	-
PAM	-	-	-	-
XIN	1.300	8.000	-	800 m ³ /s/h

Fonte: ONS (2010a, 2011)

Embora as restrições apresentadas na **Tabela 5.19** sejam definidas por meio de notas técnicas ou de licenças de operação, outros valores têm sido praticados pelo setor elétrico. É o caso, por exemplo, da vazão defluente mínima de Sobradinho, fixada em 1.300 m³/s na licença de operação desta UHE. Pela Resolução ANA nº. 434/2003, esse valor foi reduzido, em caráter excepcional, para 1.100 m³/s, em decorrência do baixo armazenamento verificado nos reservatórios da bacia. Em 2004, a Resolução ANA nº.139 determinou que a redução vigoraria até 30 de abril daquele ano. O ONS, todavia, continua a adotar o valor de 1.100 m³/s para determinar as Curvas Bianaais de Aversão ao Risco (CAR), usadas como referência de segurança para o suprimento energético do subsistema Nordeste (ONS, 2010).

Com relação às restrições mostradas na **Tabela 5.19**, ressalta-se que, nos casos de Três Marias, de Queimado e de Sobradinho, o estudo do ONS (2011) relata que vazões inferiores às fixadas como limite máximo são suficientes para provocar inundações em áreas urbanas e benfeitorias. É o que acontece, por exemplo, quando se atingem 204 m³/s a jusante de Queimado, 2.600 m³/s a jusante de Três Marias e 7.000 m³/s a jusante de Sobradinho.

5.3.4. Controle de cheias

Na bacia do São Francisco, o controle de cheias é exercido pelos reservatórios de Queimado, de Três Marias, de Sobradinho e de Itaparica, operados

pelo setor elétrico. Para esses reservatórios, o ONS estabelece volumes de espera que sejam adequados ao amortecimento das ondas de cheia e, portanto, evitem a superação das restrições de vazão máxima a jusante desses aproveitamentos, apresentadas anteriormente na **Tabela 5.19**.

Para o reservatório de Queimado, estabelecem-se volumes de espera associados a um período de retorno (*TR*) de 10 anos. Para Três Marias, o período de retorno associado aos volumes de espera é de 50 anos. Para Sobradinho e Itaparica, os períodos de retorno são, respectivamente, de 17 e de 18 anos (ONS, 2010a). A **Tabela 5.20** traz os volumes de espera (*VE*) desses reservatórios para o ciclo 2010-2011 (ONS, 2010a).

Tabela 5.20 - Volumes de espera dos reservatórios para 2010-2011

Período	Aproveitamentos											
	Queimado (TR=10 anos)			Três Marias (TR=50 anos)			Sobradinho (TR=17 anos)			Itaparica (TR=18 anos)		
	VE (hm³)	Cota (m)	%VU	VE (hm³)	Cota (m)	%VU	VE (hm³)	Cota (m)	%VU	VE (hm³)	Cota (m)	%VU
25.09.10 a 01.10.10	0	829,00	100,00	0	572,50	100,00	0	392,50	100,00	0	304,00	100,00
02.10.10 a 08.10.10	0	829,00	100,00	0	572,50	100,00	0	392,50	100,00	0	304,00	100,00
09.10.10 a 15.10.10	0	829,00	100,00	0	572,50	100,00	0	392,50	100,00	0	304,00	100,00
16.10.10 a 22.10.10	0	829,00	100,00	0	572,50	100,00	0	392,50	100,00	0	304,00	100,00
23.10.10 a 29.10.10	0	829,00	100,00	0	572,50	100,00	159	392,46	99,45	341	303,58	90,39
30.10.10 a 05.11.10	10	828,72	97,43	460	572,08	96,99	3306	391,68	88,47	564	303,29	84,10
06.11.10 a 12.11.10	70	826,94	82,03	670	571,87	95,61	5508	391,08	80,79	752	303,05	78,80
13.11.10 a 19.11.10	100	825,98	74,32	840	571,69	94,50	6234	390,87	78,26	926	302,83	73,90
20.11.10 a 26.11.10	100	825,98	71,76	1880	570,61	87,69	6244	390,87	78,22	1096	302,60	69,11
27.11.10 a 03.12.10	110	825,65	71,76	3110	569,22	79,64	6244	390,87	78,22	1423	302,17	59,89
04.12.10 a 10.12.10	120	825,31	69,19	4070	568,09	73,36	6244	390,87	78,22	1423	302,17	59,89
11.12.10 a 17.12.10	120	825,31	69,19	4020	568,15	73,69	6365	390,84	77,80	1423	302,17	59,89
18.12.10 a 24.12.10	110	825,65	71,76	3830	568,37	74,93	6365	390,84	77,80	1423	302,17	59,89
25.12.10 a 31.12.10	110	825,65	71,76	3400	568,88	77,75	6365	390,84	77,80	1423	302,17	59,89
01.01.11 a 07.01.11	100	825,98	74,32	3270	569,03	78,60	6365	390,84	77,80	1423	302,17	59,89
08.01.11 a 14.01.11	100	825,98	74,32	3040	569,30	80,10	6365	390,84	77,80	1423	302,17	59,89
15.01.11 a 21.01.11	90	826,31	76,89	2730	569,66	82,13	6365	390,84	77,80	1485	302,08	58,15
22.01.11 a 28.01.11	90	826,31	76,89	2530	569,89	83,44	6365	390,84	77,80	1534	302,01	56,76
29.01.11 a 04.02.11	80	826,63	79,46	2300	570,16	84,95	6365	390,84	77,80	1583	301,94	55,37
05.02.11 a 11.02.11	80	826,63	79,46	1970	570,51	87,11	6365	390,84	77,80	1633	301,88	53,99
12.02.11 a 18.02.11	70	826,94	82,03	1620	570,88	89,40	6365	390,84	77,80	1682	301,81	52,60
19.02.11 a 25.02.11	70	826,94	82,03	1390	571,13	90,90	6365	390,84	77,80	1731	301,74	51,22
26.02.11 a 04.03.11	60	827,25	84,59	1280	571,24	91,62	6365	390,84	77,80	1780	301,67	49,83
05.03.11 a 11.03.11	60	827,25	84,59	930	571,60	93,91	6365	390,84	77,80	1703	301,78	51,99
12.03.11 a 18.03.11	50	827,55	87,16	710	571,83	95,35	6274	390,86	78,12	1627	301,88	54,15
19.03.11 a 25.03.11	50	827,55	87,16	450	572,09	97,05	6130	390,90	78,62	1550	301,99	56,31
26.03.11 a 01.04.11	40	827,85	89,73	170	572,35	98,89	5510	391,08	80,78	1390	302,21	60,82
02.04.11 a 08.04.11	40	827,85	89,73	0	572,50	100,00	5090	391,20	82,25	810	302,98	77,17
09.04.11 a 15.04.11	30	828,14	92,30	0	572,50	100,00	4960	391,23	82,70	790	303,00	77,73
16.04.11 a 22.04.11	30	828,14	92,30	0	572,50	100,00	4960	391,23	82,70	230	303,72	93,52
23.04.11 a 29.04.11	20	828,43	94,86	0	572,50	100,00	4960	391,23	82,70	203	303,75	94,28
30.04.11 a 06.05.11	0	829,00	100,00	0	572,50	100,00	4960	391,23	82,70	35	303,96	99,01
07.05.11 a 13.05.11	0	829,00	100,00	0	572,50	100,00	4215	391,44	85,30	35	303,96	99,01
14.05.11 a 20.05.11	0	829,00	100,00	0	572,50	100,00	1520	392,13	94,70	20	303,98	99,44
21.05.11 a 27.05.11	0	829,00	100,00	0	572,50	100,00	230	392,44	99,20	0	304,00	100,00
28.05.11 a 03.06.11	0	829,00	100,00	0	572,50	100,00	0	392,50	100,00	0	304,00	100,00

5.3.5. Manutenção do ecossistema

A manutenção do ecossistema constitui uma demanda hídrica não consuntiva cuja estimativa pode ser feita a partir de diferentes métodos. Para avaliar a demanda de conservação dos ecossistemas aquáticos naturais e a proteção da ictiofauna em toda a bacia do São Francisco, o Plano Decenal da bacia, em seu Estudo Técnico nº. 16 (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004d), estima a demanda ambiental pelo Método de Tennant, o qual define percentuais da vazão média de longo termo para a manutenção do ecossistema. No estudo, foi estabelecido um percentual de 20% da Q_{MLT} para a defluência mínima de Retiro Baixo e de Três Marias e um percentual de 30% da Q_{MLT} para a defluência mínima em Sobradinho e em Xingó.

A **Tabela 5.21** apresenta a vazão defluente mínima dos reservatórios para a manutenção do ecossistema aquático.

Tabela 5.21 – Vazão mínima para conservação ambiental a jusante dos reservatórios

Reservatório	Defluência mínima	
	(m ³ /s)	% Q_{MLT}
Retiro Baixo	27,67	20%
Três Marias	405,70	20%
Sobradinho	843,80	30%
Xingó	855,00	30%

5.4. Histórico de afluições na bacia

As informações referentes à disponibilidade hídrica superficial na bacia do São Francisco constam do Estudo Técnico nº.1 desenvolvido para o Plano Decenal da bacia e tiveram como base a série histórica de vazões naturais de 1931 a 2001 (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004b). Segundo esse estudo, a vazão natural média anual do rio São Francisco é de 2850 m³/s. Em 95% do tempo, a vazão natural do rio São Francisco em sua foz permaneceu igual ou superior a 853 m³/s. O mês de maior vazão média é março, com 13.743 m³/s, e o de menor vazão média é outubro,

com $644 \text{ m}^3/\text{s}$. Considera-se vazão natural a contribuição natural da bacia caso não houvesse qualquer interferência antrópica na região como, por exemplo, regularização de reservatórios, transposição de rios ou captações (ONS, 2009).

A análise da série histórica de vazões naturais afluentes aos reservatórios da bacia do rio São Francisco pode ser feita a partir da energia natural afluente (ENA) aos reservatórios. Define-se ENA como a energia elétrica que pode ser gerada a partir da vazão natural em um aproveitamento hidrelétrico (ONS, 2009). A ENA de uma usina hidrelétrica, portanto, é o produto da vazão natural afluente a esta usina pela produtividade média desta usina. Por sua vez, a ENA de uma bacia hidrográfica é a soma das ENAs de todas as usinas hidrelétricas da bacia.

A série histórica de ENA da bacia do rio São Francisco, publicada pelo ONS, cobre o período de janeiro/1931 a dezembro/2009 e está apresentada no Anexo B deste trabalho. A ENA média da bacia, ou seja, a MLT é de 8.163 MWmed. A menor ENA do histórico, 3.968 MWmed, foi registrada no ano de 2001, e o valor máximo, 14.870 MWmed, foi registrado em 1979. As estatísticas da série histórica de ENA da bacia do rio São Francisco é apresentada na **Tabela 5.22**.

Tabela 5.22 – Estatísticas da série histórica de ENA da bacia do S. Francisco

	ENA (MWmed)	%MLT
MLT	8.163	100,0%
Desvio padrão	2.360	28,9%
Mínimo	3.968	48,6%
Mediana	7.860	96,3%
Máximo	14.870	182,2%
Coeficiente de Variação		0,289
Coeficiente de Assimetria		1,031
Coeficiente de Curtose		3,804
Excesso de Curtose		0,804

As estatísticas mostradas na **Tabela 5.22** indicam que, para a bacia do São Francisco, o valor da mediana equivale a 96,3% da MLT. A série histórica de ENA apresentaria, portanto, assimetria positiva, o que é confirmado pelo valor positivo obtido para o coeficiente de assimetria. Presume-se, assim, que a MLT apresente uma permanência no tempo mais baixa do que a maior parte dos anos do histórico.

De fato, a curva de permanência de ENA da bacia do São Francisco, mostrada na **Figura 5.12**, indica que a permanência da MLT é de 37,7%, ou seja, 62,3% dos anos do histórico registraram afluência média menor do que a MLT.

Figura 5.12 – Curva de permanência de ENA na bacia do S. Francisco

Para a identificação dos períodos de hidrologia mais escassa na bacia, foi avaliada a diferença entre a ENA média de cada ano e a mediana (96,3%MLT). Os valores negativos obtidos em anos consecutivos foram acumulados. A maior diferença acumulada – ou maior intensidade – foi obtida no período de 1998 a 2004. Esse período caracteriza não apenas o de seca mais severa na bacia do rio São Francisco, mas também o de maior duração (7 anos).

A **Tabela 5.23** apresenta a classificação dos períodos de seca da bacia do rio São Francisco segundo a intensidade acumulada.

Tabela 5.23 – Classificação dos períodos de seca na bacia do S. Francisco

Ordem	Ano inicial	Ano final	Duração (anos)	Intensidade acumulada
1	1998	2004	7	-5,881
2	1953	1956	4	-3,134
3	1975	1977	3	-2,242
4	1987	1990	4	-2,095
5	1995	1996	2	-1,832
6	1932	1934	3	-1,661
7	1971	1972	2	-1,599
8	1958	1959	2	-1,126
9	2006	2008	3	-0,994
10	1962	1963	2	-0,889
11	1938	1939	2	-0,603

Procedeu-se, também, à análise das médias-móveis de 7 anos de ENA da bacia do rio São Francisco. Essa análise permite comparar a afluência média do período 1998-2004 com a do período crítico adotado pelo setor elétrico, de

junho/1949 a novembro/1956, cuja duração também é de 7 anos. Foi construída a curva de duração das médias-móveis de 7 anos, mostrada na **Figura 5.13**.

Figura 5.13 – Curva de permanência das médias-móveis de 7 anos de ENA

A média-móvel do período de 1998-2004 vale 5.878 MWmed e constitui a menor média-móvel de 7 anos do histórico, ou seja, sua permanência é de 100%. O período 1950-1956 registra uma média-móvel igual a 6.957 MWmed, com permanência de 84%.

Percebe-se, de fato, que é inadequado estabelecer como período crítico de afluências para a bacia do rio São Francisco o mesmo comumente adotado pelo setor elétrico quando se deseja proceder a uma avaliação de cenários de escassez. Essa mesma constatação está expressa, também, no Plano Decenal da bacia do São Francisco em seu Estudo Técnico n.º. 1 (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004b).

6. APLICAÇÃO DO MODELO

No Capítulo 4 foi discutida a metodologia adotada na abordagem do problema de otimização da operação de um sistema de reservatórios voltados à geração de energia elétrica e ao atendimento de usos consuntivos da água. Foi apresentada uma nova função objetivo para o modelo HIDRO, a qual busca minimizar tanto o *deficit* de energia como o *deficit* no fornecimento de água para as demandas consuntivas. No caso específico da bacia do rio São Francisco, também foram acrescentadas as equações de restrição relativas às regras de operação da transposição do rio São Francisco para o Nordeste Setentrional.

O novo equacionamento do modelo HIDRO, baseado nas equações mostradas no Capítulo 4, foi elaborado em linguagem estruturada GAMS, que se mostra uma ferramenta útil para solução de problemas de programação linear, não linear, inteira e inteira mista. A ferramenta é associada a um conjunto de pacotes de otimização – *solver* – como, por exemplo, o MINOS, o CONOPT e o SNOPT, adequados ao tratamento de problemas de programação não linear.

Os códigos do modelo HIDRO, elaborados em linguagem GAMS e utilizados na otimização da operação do sistema de reservatórios da bacia do São Francisco, estão apresentados no Apêndice deste trabalho.

Na sequência, apresentam-se as variáveis de entrada do problema e as restrições impostas à otimização. As restrições e os valores das variáveis de entrada são baseados nas características da bacia do rio São Francisco e nas regras operativas de seus reservatórios, conforme a descrição apresentada no Capítulo 5.

6.1. Variáveis de entrada e restrições operativas

6.1.1. Demanda objetivo

A demanda objetivo de energia foi estimada como igual à soma das garantias físicas das usinas da bacia. Conforme a Portaria MME n° 258, de 28 de julho de 2008, a garantia física de um sistema, anteriormente chamada energia assegurada, é definida como a máxima quantidade de energia que este sistema pode suprir sob um dado critério de garantia de suprimento, atualmente fixado em 95%. O rateio da garantia física de um sistema entre todas as usinas que o compõem determina a garantia física de cada usina (BRASIL, 2008).

As usinas hidrelétricas da bacia do rio São Francisco somam uma garantia física de 6.189,5 MWmed, sendo este o valor adotado como demanda objetivo de energia. Os valores de garantia física de cada usina constam na **Tabela 6.1**.

Tabela 6.1 - Potência instalada e garantia física das usinas hidrelétricas

UHE	Potência instalada (MW)	Garantia Física (MWmed)
RBA	82	38,5
TMA	396	239,0
QUE	105	58,0
SOB	1.050	531,0
ITP	1.500	959,0
PAM	4.283	2.225,0
XIN	3.162	2.139,0
Total	10.578	6.189,5

Fonte: ANEEL (2011)

Com relação à demanda hídrica objetivo, não foi estabelecido um único valor a ser atendido. Em função da divergência observada entre as fontes pesquisadas no que se refere à demanda consuntiva na bacia do São Francisco, foram considerados 6 cenários de demanda hídrica objetivo. O cenário I é o de menor demanda consuntiva, considerada igual ao valor de uso consuntivo adotado pelo ONS para o ano de 2011 (UC_{ONS}). O cenário II considera a demanda consuntiva igual a uma vez e meia o valor UC_{ONS} . Seguindo essa progressão, foram estabelecidos os cenários III, IV e V, cujas demandas foram calculadas como o valor UC_{ONS} multiplicado, respectivamente, por dois, dois e meio e três. Finalmente, o cenário VI é o de maior demanda hídrica consuntiva, considerada igual ao consumo outorgado na bacia até

Para se chegar aos valores de consumo outorgado do cenário VI, foram utilizadas as informações relativas às outorgas de uso da água concedidas na bacia do São Francisco até outubro/2009, levantadas pelo Grupo de Estudos de Relações Intersectoriais (GERI) e agregadas por Unidade da Federação (UFBA, 2010).

Neste trabalho, mais importante que a distribuição das outorgas por Unidade da Federação é a sua distribuição pela área de contribuição dos reservatórios. Por meio das coordenadas geográficas dos pontos de captação e de lançamento informadas pelos usuários, cada outorga de captação e de lançamento foi classificada como pertencendo à área de contribuição incremental de algum dos reservatórios considerados nesta pesquisa. Distribuídos todos os pontos de captação e de lançamento para cada reservatório, o consumo outorgado foi calculado como a diferença entre os valores outorgados de vazão captada e de vazão de lançamento, não sendo considerados, portanto, os coeficientes de retorno típicos de cada uso da água.

Nos seis cenários considerados, a demanda hídrica associada a cada usina é representada por um conjunto de 12 valores referentes a cada mês do ano. A partir do 13º mês da otimização, repetem-se os valores da série. O mesmo ocorre no 25º mês e assim sucessivamente até o mês final da otimização.

Com relação à sazonalidade das demandas consuntivas, foi obedecida nos cenários I a V a variação mensal dos valores divulgados pelo ONS. No cenário VI, seguiu-se a sazonalidade dos valores outorgados para captação e lançamento.

6.1.2. Vazão afluente e perdas por evaporação

O modelo HIDRO foi aplicado para dois cenários de vazão afluente. Trata-se de dois períodos de 7 anos marcados por escassez hídrica na bacia do rio São Francisco, conforme discutido no Capítulo 5 item 5.4:

- Período 1998-2004, que se mostra como o de maior escassez de fluência na bacia em todo o histórico;
- Período 1950-1956, que se mostra como o segundo de escassez mais severa, coincide com o período crítico adotado pelo setor elétrico para todo o País.

O horizonte da otimização, portanto, foi de 84 meses, com início no mês de abril, marcado pelo fim da estação chuvosa na porção mais úmida da bacia.

Uma vez que as principais usinas hidrelétricas da bacia do rio São Francisco localizam-se no Nordeste Semiárido, onde as perdas por evaporação são relevantes, foi considerado no balanço hídrico dos reservatórios o saldo entre precipitação e evaporação adotado pelo ONS e mostrado no Capítulo 5 item 5.3.1.

6.1.3. Restrições operativas

No mês inicial da otimização, os reservatórios de regularização apresentaram volume armazenado igual a 100% do volume útil menos o volume de espera para controle de cheias no mês. A mesma restrição foi imposta para o volume armazenado no último mês da otimização. Sendo abril e março, respectivamente, os meses de início e de fim da otimização, o volume final exigido em cada reservatório seguiu os valores mostrados na **Tabela 6.3**.

Tabela 6.3 – Volume final dos reservatórios

Reservatório	Volume final (hm³)
RBA	241,59
TMA	18.837,43
QUE	485,84
SOB	27.751,48
ITP	9.071,86
PAM	1.226,00
XIN	3.800,00

As restrições de vazão defluente mínima de cada reservatório seguiram os valores do ONS discutidos no Capítulo 5 item 5.3.3. Um caso particular é o reservatório de Três Marias, que apresenta duas restrições de vazão defluente mínima pelo ONS. A defluência mínima que garante o abastecimento da população a jusante é de 300 m³/s. Para garantir as condições de navegação, a defluência mínima deve ser de 500 m³/s. Também foi considerado o valor intermediário de 400 m³/s, necessário à manutenção do ecossistema aquático, conforme apresentado no item 5.3.5.

Assim, definiram-se três conjuntos de restrições operativas, denominados TMA300, TMA400 e TMA500, que foram aplicados aos reservatórios e cujos valores são mostrados na **Tabela 6.4**.

Tabela 6.4 – Restrições de defluência mínima dos reservatórios

Configuração	Vazão defluente mínima (m ³ /s)						
	RBA	TMA	QUE	SOB	ITP	PAM	XIN
TMA300	27,67	300	8,8	1300	1300	1300	1300
TMA400	27,67	400	8,8	1300	1300	1300	1300
TMA500	27,67	500	8,8	1300	1300	1300	1300

Foi imposto um limite mínimo para a vazão fornecida aos usos consuntivos como forma de garantir o atendimento dos usos prioritários em caso de indisponibilidade hídrica. Tal limite mínimo foi considerado como um percentual da demanda hídrica total em cada trecho. Conforme discutido no Capítulo 5, os usos prioritários representam percentuais diferentes do consumo total de acordo com a referência utilizada, ONS ou CNARH. Para os cenários I a V, foram considerados os percentuais segundo o ONS e, para o cenário VI, foram considerados os percentuais segundo o CNARH, conforme apresentado na **Tabela 6.5**.

Tabela 6.5 – Representatividade dos usos prioritários em relação à demanda hídrica

Reservatório	Cenários I a V	Cenário VI
RBA	59,1%	11,0%
TMA	43,3%	11,0%
QUE	8,9%	1,2%
SOB	12,0%	9,1%
ITP	3,3%	5,6%
PAM	3,3%	4,6%
XIN	45,9%	5,3%

Finalmente, incluem-se entre as restrições as regras de operação da transposição do rio São Francisco para o Nordeste Setentrional. Foram considerados para a vazão de transposição o valor mínimo de 26,4 m³/s e o valor máximo de 114,3 m³/s, o qual pode ser praticado se houver vertimento no reservatório de Sobradinho, conforme apresentado no Capítulo 5 item 5.2.3. Para fins de comparação, também foi feita a otimização para a situação em que não há transposição, ou seja, quando a vazão transposta é igual a zero.

Na sequência, apresentam-se os resultados obtidos na aplicação do modelo.

6.2. Análise dos resultados

Neste item são apresentados os resultados obtidos na aplicação do modelo HIDRO que dão embasamento às seguintes análises:

- Análise dos índices de atendimento por trecho da bacia em períodos de escassez;
- Avaliação das relações de troca – *trade-offs* – entre geração de energia, usos consuntivos e conservação ambiental;
- Análise de sensibilidade do atendimento das demandas hídrica e de energia quanto à variação dos coeficientes ponderadores ω e ψ ;
- Avaliação da geração de energia para diferentes períodos de afluições ordenados pela curva de permanência de ENA.

6.2.1. Análise dos índices de atendimento

Para avaliar os índices de atendimento obtidos em períodos de escassez, procedeu-se à aplicação do modelo HIDRO com prioridades iguais atribuídas tanto à geração de energia como ao atendimento dos usos consuntivos. Dessa forma, os coeficientes ponderadores da função objetivo foram assumidos como $\omega = \psi = 0,5$.

No atendimento das demandas hídricas, foi considerado que houve falha no mês em que a vazão destinada aos usos consuntivos, em qualquer reservatório da bacia, foi menor que 95% da demanda naquele reservatório naquele mês, ou seja, no mês em que o *deficit* hídrico em um reservatório representar mais que 5% da demanda consuntiva naquele reservatório.

No atendimento da demanda energética, foi considerado que houve falha no mês em que a geração em toda a bacia foi menor que 95% da demanda de energia, ou seja, no mês em que o *deficit* de energia representou mais que 5% da demanda.

- Resultados do período abril/1998-março/2005

Nas soluções obtidas para todos os cenários de demanda hídrica, foram respeitados os limites mínimos de vazão a jusante dos aproveitamentos hidrelétricos. Com relação à transposição do São Francisco, a vazão transposta permaneceu igual ao valor mínimo de 26,4 m³/s em todos os cenários, uma vez que não houve vertimentos em Sobradinho.

Os resultados demonstram que as baixas afluências do período de abril/1998-março/2005 deixaram a energia média gerada abaixo de 90% da garantia física em, pelo menos, 98,8% do tempo. No cenário I, o *deficit* de energia médio para as três restrições de defluência foi de 17,5% da demanda na situação com transposição e de 16,4% da demanda quando não houve transposição. À medida que a demanda consuntiva aumentou, diminuiu a energia média gerada, o que fez o *deficit* de energia atingir, em termos médios, 35,3% da demanda no cenário VI tanto para a transposição ativa como inativa.

O índice de falhas no atendimento dos usos consuntivos mostrou-se baixo em quase todos os cenários de demanda hídrica, exceto para o cenário VI, no qual a vazão média fornecida ficou abaixo de 95% da demanda em 98% do tempo.

O *deficit* no atendimento das demandas consuntivas foi muito baixo nos cenários I a V, variando de 0,3% a 1,4% da demanda. No cenário VI, o *deficit* hídrico variou de 11,7% a 15,3% da demanda no caso em que não houve transposição, e de 15,7% a 19,1% da demanda na situação em que houve transposição. Esses percentuais referem-se ao *deficit* hídrico em toda a bacia.

É possível proceder a uma análise mais detalhada do atendimento das demandas consuntivas se o percentual de *deficit* e o índice de falhas forem observados por reservatório. Os resultados são apresentados na **Tabela 6.9**.

A região da bacia em que o *deficit* hídrico foi mais significativo é a área de contribuição incremental do reservatório de Sobradinho, na qual o *deficit* em relação à demanda, em termos médios, foi de 24,7% com a transposição ativa e de 19% sem transposição. Como os usos prioritários representam apenas 9,1% da demanda consuntiva deste trecho, pode-se afirmar que as demandas não prioritárias tiveram um *deficit* no atendimento de 15,6% com transposição e de 9,9% sem transposição.

Tabela 6.9 – Percentual de *deficit* e de falhas no atendimento de uso consuntivo no Cenário VI

	Reservatório	Transposição ativa			Transposição inativa		
		TMA300	TMA400	TMA500	TMA300	TMA400	TMA500
Deficit / Demanda	RBA	1,53%	1,53%	1,53%	1,53%	1,53%	1,53%
	TMA	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	QUE	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	SOB	22,70%	23,94%	27,62%	16,86%	18,14%	22,12%
	ITP	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	PAM	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	XIN	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Índice de falhas	RBA	5,95%	5,95%	5,95%	5,95%	5,95%	5,95%
	TMA	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	QUE	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	SOB	96,43%	96,43%	95,24%	94,05%	94,05%	94,05%
	ITP	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	PAM	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	XIN	0%	0%	0%	0%	0%	0%

A demanda consuntiva outorgada na área de contribuição incremental de Sobradinho totaliza 427,3 m³/s, o que representa 69,2% da demanda consuntiva outorgada em toda a bacia do São Francisco. Aliadas a uma demanda tão expressiva, têm-se a baixa afluência ao reservatório – que, no período, foi igual a 70,2%MLT, a alta taxa de evaporação da região e a restrição de defluência mínima de 1.300 m³/s a jusante de Sobradinho como fatores que interferem no balanço hídrico do reservatório de forma a diminuir a retirada média para uso consuntivo.

Com relação aos impactos da transposição do rio São Francisco, nota-se que sua operação afetou o atendimento das demandas consuntivas de Sobradinho por acarretar uma perda média de 23,8 m³/s na vazão fornecida a uso consuntivo, o que equivale a 5,7% da demanda consuntiva do trecho.

Se por um lado a operação da transposição acarretou impacto em termos quantitativos no atendimento do uso consuntivo em Sobradinho, ela não afetou o percentual de meses em que ocorre falha no atendimento hídrico. Houve falha no suprimento de água em 96% dos meses no caso da transposição ativa e em 94% dos meses no caso da transposição inativa.

Ainda com referência aos resultados obtidos para o cenário VI, observou-se que o aumento da vazão defluente mínima de Três Marias acarretou impacto no atendimento das demandas consuntivas. Uma avaliação açodada tenderia a associar o aumento da defluência mínima de Três Marias a uma queda no *deficit* hídrico em Sobradinho. Todavia os resultados apontam para uma situação contrária. Com a transposição inativa, o aumento de 200 m³/s na defluência mínima de Três

Marias levou à redução de $22,5 \text{ m}^3/\text{s}$ na retirada média para uso consuntivo. Com a transposição ativa, essa redução foi de $21,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Ambas as reduções equivalem a cerca de 5% da demanda. Embora seja um impacto pequeno, é interessante analisar as razões de sua ocorrência.

Como a função objetivo trabalha com dois atendimentos – de água e de energia – espera-se, que tenha havido uma queda no *deficit* energético com o aumento da defluência mínima. De fato, houve um aumento da energia gerada em Sobradinho, que variou de 309 MWmed na condição TMA300 para 327,4 MWmed na condição TMA500, considerando a transposição ativa. Esse ganho de 18,4 MWmed equivale a 3,5% da energia assegurada de Sobradinho. No entanto, não foram registradas alterações significativas na vazão turbinada média em Sobradinho, a qual variou de 1462 em TMA300 a 1465 m^3/s em TMA500.

Nota-se, assim, que o aumento de defluência de Três Marias foi aproveitado para aumentar o nível do reservatório de Sobradinho – o armazenamento médio subiu de 14.081 hm^3 em TMA300 para 16.714 hm^3 em TMA500 – e, dessa forma, incrementar a geração em detrimento ao atendimento das demandas consuntivas.

Na situação em que a transposição ficou inativa ocorreu efeito semelhante. Nas situações com e sem transposição, gerar mais energia em Sobradinho mostrou-se uma solução melhor do que aumentar atendimento hídrico. Ressalta-se que, nesta análise, a geração de energia e os usos consuntivos têm pesos iguais na função objetivo e que é exigido, ao final do período, um volume armazenado igual ao volume útil menos o volume de espera para controle de cheias, o que equivale, no 84°.mês da otimização, a 77,8% do volume útil do reservatório.

Os valores de energia gerada nos reservatórios, bem como a média do volume armazenado, a vazão turbinada média e a vazão média fornecida para uso consuntivo no cenário VI em cada reservatório, com e sem a operação da transposição, são apresentados na **Tabela 6.10**.

Os resultados obtidos em cada cenário de demanda hídrica sob as três restrições de defluência mínima, considerando a transposição ativa e inativa, são apresentados do Anexo C ao Anexo H deste trabalho.

Tabela 6.10 – Vazão média fornecida a uso consuntivo (UC), vazão turbinada média (R'), energia média gerada (E) e volume armazenado médio (S) no cenário VI

Reservatório	Transposição ativa			Transposição inativa		
	TMA300	TMA400	TMA500	TMA300	TMA400	TMA500
UC média (m³/s)	RBA	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1
	TMA	38,3	38,3	38,3	38,3	38,3
	QUE	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	SOB	330,4	325,1	309,3	355,3	349,8
	ITP	131,9	131,9	131,9	131,9	131,9
	PAM	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
	XIN	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
R' média (m³/s)	RBA	78,2	78,3	78,1	78,2	78,3
	TMA	409,1	454,7	503,7	419,5	459,3
	QUE	34,1	34,1	32,4	34,1	33,1
	SOB	1.461,8	1.461,8	1.464,7	1.435,2	1.435,2
	ITP	1.319,2	1.319,2	1.321,5	1.319,2	1.319,2
	PAM	1.309,3	1.309,3	1.311,6	1.309,3	1.309,3
	XIN	1.306,2	1.306,2	1.308,5	1.306,2	1.306,2
E (MWmed)	RBA	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4
	TMA	181,9	199,4	208,4	186,9	201,8
	QUE	56,1	56,1	53,9	56,1	56,1
	SOB	309,0	313,7	327,4	304,9	309,7
	ITP	603,2	603,1	606,5	602,5	602,4
	PAM	1.342,7	1.342,7	1.345,0	1.342,7	1.342,7
	XIN	1.459,3	1.459,3	1.461,8	1.459,3	1.459,3
S médio (hm³)	RBA	223,43	224,84	224,15	224,51	224,32
	TMA	15.692,70	14.885,04	12.369,69	15.722,39	14.932,11
	QUE	366,16	367,74	436,57	370,78	377,22
	SOB	14.080,67	14.787,10	16.714,11	14.263,35	15.010,58
	ITP	9.790,83	9.782,57	9.927,85	9.742,42	9.736,30

• Resultados do período abril/1950-março/1957

Em todos os cenários de demanda hídrica foram respeitados os limites mínimos de vazão a jusante dos aproveitamentos hidrelétricos nas condições TMA300 e TMA400. Contudo não foi encontrada solução viável para a condição TMA500. O valor mais próximo de 500 m³/s para defluência mínima de Três Marias para o qual se encontrou uma solução possível foi 437,5 m³/s, obtido por processo de tentativa e erro. Assim, para este período de aflúências, a condição TMA500 passa a ser designada TMA437.

Embora o período de 1950-1957 apresente aflúência média superior à do período 1998-2005 no exutório da bacia, mostra-se coerente com a realidade o fato de o modelo não ter encontrado solução viável quando foi imposta a restrição de vazão defluente mínima de Três Marias igual a 500 m³/s. A área de contribuição do reservatório de Três Marias insere-se na região Sudeste do Brasil, cujo período

crítico de afluições vai de junho/1949 a novembro/1957. De fato, verifica-se que, para Três Marias, as vazões médias mensais do período 1954-1957 são menores que as do período 2002-2005. A afluência média nos respectivos períodos vale $488 \text{ m}^3/\text{s}$ e $687 \text{ m}^3/\text{s}$.

Com relação a transposição do São Francisco, a vazão transposta média reduz-se à medida que aumenta a demanda consuntiva. Os maiores valores de vazão transposta média foram obtidos no cenário I: 33,8 m³/s com a restrição TMA300; 30,7 m³/s com a restrição TMA400; 31,7 m³/s com a restrição TMA437. No cenário VI, para as três restrições de defluência de Três Marias, a vazão transposta média permaneceu igual ao valor mínimo de 26,4 m³/s, uma vez que não houve vertimentos em Sobradinho neste cenário.

Os resultados obtidos com as afluências de abril/1950-março/1957 para os seis cenários de demanda hídrica, com e sem transposição, estão resumidos nas Tabelas 6.11, 6.12 e 6.13, respectivamente para as restrições TMA300, TMA400 e TMA437.

O período de abril/1950-março/1957 registrou índices mais altos de atendimento das demandas consuntivas e da demanda de energia do que o período de abril/1998-março/2005. O cenário VI, no qual o atendimento foi pior, chegou a registrar *deficit* hídrico de 4,4% da demanda e *deficit* de energia de 21% da demanda. Com relação ao índice de falhas, no cenário VI a vazão fornecida para uso consuntivo ficou abaixo de 95% da demanda em 60% do tempo, e a energia gerada ficou abaixo de 90% da demanda em 67% do tempo.

Tabela 6.11 – Resultados do período abr/1950-mar/1957 sob restrição TMA300

[illegible]

Tabela 6.12 – Resultados do período abr/1950-mar/1957 sob restrição TMA400

Cenário de demanda hídrica		(I) 1xUC _{ONS}		(II) 1,5xUC _{ONS}		(III) 2xUC _{ONS}		(IV) 2,5xUC _{ONS}		(V) 3xUC _{ONS}		(VI) Outorga	
Transposição		Ativa	Inativa	Ativa	Inativa	Ativa	Inativa	Ativa	Inativa	Ativa	Inativa	Ativa	Inativa
Função objetivo		0,23	0,19	0,38	0,32	0,56	0,49	0,79	0,69	1,05	0,94	3,26	3,06
Demanda Hídrica	Volume (hm ³)	26.737		40.095		53.463		66.838		80.187		136.456	
	Vazão (m ³ /s)	121,0		181,5		242,0		302,5		363,0		617,7	
Deficit Hídrico	Volume (hm ³)	27	23	78	71	174	160	326	303	548	516	1.662	1.501
	Vazão (m ³ /s)	0,1	0,1	0,4	0,3	0,8	0,7	1,5	1,4	2,5	2,3	7,5	6,8
	Deficit / Demanda	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	0,5%	0,5%	0,7%	0,6%	1,2%	1,1%
	Índice de falhas	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	60,7%	60,7%
Transposição média (m³/s)		30,7	0	32,7	0	29,6	0	28,4	0	26,4	0	26,4	0
Atendimento Energético	Demanda(MWmed)	6.190		6.190		6.190		6.190		6.190		6.190	
	Deficit(MWmed)	365	337	465	438	572	537	679	645	793	754	1.364	1.305
	Deficit / Demanda	5,9%	5,4%	7,5%	7,1%	9,2%	8,7%	11,0%	10,4%	12,8%	12,2%	22,0%	21,1%
	Índice de falhas	54,8%	54,8%	60,7%	54,8%	65,5%	65,5%	65,5%	65,5%	65,5%	65,5%	86,9%	82,1%

Tabela 6.13 – Resultados do período abr/1950-mar/1957 sob restrição TMA437

Cenário de demanda hídrica		(I) 1xUC _{ONS}		(II) 1,5xUC _{ONS}		(III) 2xUC _{ONS}		(IV) 2,5xUC _{ONS}		(V) 3xUC _{ONS}		(VI) Outorga	
Transposição		Ativa	Inativa	Ativa	Inativa	Ativa	Inativa	Ativa	Inativa	Ativa	Inativa	Ativa	Inativa
Função objetivo		0,26	0,21	0,59	0,53	4,10	4,02	8,85	8,75	25,18	25,10	48,45	48,29
Demanda Hídrica	Volume (hm ³)	26.737		40.095		53.463		66.838		80.187		136.456	
	Vazão (m ³ /s)	121,0		181,5		242,0		302,5		363,0		617,7	
Deficit Hídrico	Volume (hm ³)	27	23	117	116	677	675	1.244	1.239	1.821	1.816	6.033	5.977
	Vazão (m ³ /s)	0,1	0,1	0,5	0,5	3,1	3,1	5,6	5,6	8,2	8,2	27,3	27,1
	Deficit / Demanda	0,1%	0,1%	0,3%	0,3%	1,3%	1,3%	1,9%	1,9%	2,3%	2,3%	4,4%	4,4%
	Índice de falhas	0%	0%	51,2%	51,2%	60,7%	60,7%	60,7%	60,7%	60,7%	60,7%	60,7%	60,7%
Transposição média (m³/s)		31,7	0	29,6	0	27,5	0	28,5	0	30,5	0	26,4	0
Atendimento Energético	Demanda(MWmed)	6.190		6.190		6.190		6.190		6.190		6.190	
	Deficit(MWmed)	376	352	477	448	574	541	676	642	783	744	1.302	1.242
	Deficit / Demanda	6,1%	5,7%	7,7%	7,2%	9,3%	8,7%	10,9%	10,4%	12,6%	12,0%	21,0%	20,1%
	Índice de falhas	54,8%	54,8%	59,5%	54,8%	65,5%	65,5%	65,5%	65,5%	65,5%	65,5%	85,7%	81,0%

Diferentemente do que foi registrado no período 1998-2005, no qual o *deficit* hídrico da bacia foi registrado na área de contribuição de Sobradinho, para o período de 1950-1957 o *deficit* hídrico afetou com maior intensidade a área de contribuição do reservatório de Três Marias.

Nos cenários de demanda hídrica I a V, o baixo *deficit* hídrico concentrou-se na área de contribuição de Sobradinho quando valiam as restrições TMA300 e TMA400, com percentuais sempre menores que 1%. Sob a restrição TMA437, passa a ocorrer *deficit* com grande intensidade na área de contribuição de Três Marias e de Retiro Baixo, cujos valores no cenário V foram, respectivamente, de 34% e 25% da demanda.

No cenário VI, Sobradinho e Retiro Baixo apresentaram percentuais de *deficit* comparáveis sob as restrições TMA300 e TMA437, ambos próximos de 2%. Sob a restrição TMA437, enquanto Sobradinho registrou *deficit* percentual de apenas 0,7% da demanda, Retiro Baixo e Três Marias registraram *deficit* de 27% e 53% da demanda, respectivamente. Uma vez que os usos prioritários correspondem a 11% do consumo outorgado nestas duas áreas, tem-se que apenas 16% e 42% das demandas não prioritárias foram atendidas em Retiro Baixo e Três Marias, respectivamente. Esses valores não apresentaram alterações se comparadas as situações com transposição e sem transposição.

Observou-se que, diferentemente do ocorrido no período de abr/1998-mar/2005, quando o aumento da defluência mínima de Três Marias acarretou queda no atendimento do uso consuntivo em Sobradinho, no período de abr/1950-mar/1957 ocorreu melhora no atendimento das demandas consuntivas neste reservatório. Em 1998-2005, o aumento do *deficit* hídrico foi compensado por uma maior geração de energia em Sobradinho. Em 1950-1957, também houve aumento da energia média gerada em Sobradinho, embora de pequena magnitude – menos de 7,5 MWmed adicionais.

Contudo o aumento da energia gerada e a melhora do atendimento de uso consuntivo em Sobradinho foram compensados por uma queda expressiva da vazão fornecida a uso consuntivo em Três Marias e em Retiro Baixo. Ressalta-se que, com defluência mínima de 437,5 m³/s em Três Marias, a energia média gerada nesta usina também foi maior em 10,6 MWmed do que a energia média gerada sob a restrição TMA300.

Os resultados obtidos em cada cenário de demanda hídrica sob as três restrições de defluência mínima, considerando a transposição ativa e inativa, são apresentados do Anexo I ao Anexo N deste trabalho.

- *Custo da queda na geração devido ao aumento dos usos consuntivos*

Em ambos os períodos de afluência avaliados, observou-se que o *deficit* na geração de energia é significativo quando comparadas os cenários de demanda hídrica I, cujos valores são os adotados pelo ONS, e VI, cujos valores são iguais ao consumo outorgado na bacia. No período crítico de afluência (1998-2005), em que houve maiores impactos na geração de energia, registrou-se uma perda de

1134 MW_{med} na restrição TMA300 e de 1074 MW_{med} na restrição TMA500, o que resulta uma perda média de 1104 MW_{med} no período. Esse valor equivale, ao longo de um ano, a 9671 GWh a menos de energia.

Tomando-se por base o preço médio de comercialização de 1 MWh como igual a R\$72 no mercado livre, essa perda de energia representa, ao longo de um ano, uma perda de R\$696,3 milhões. O preço médio de R\$72/MWh pode ser calculado a partir do histórico de preços semanais da energia, divulgado pela CCEE para o período de 30/06/2001 a 01/06/2012 (CCEE, 2012a).

Se for adotada como referência uma empresa como a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf), cujo parque gerador possui 10,6 MW de potência instalada, equiparável a toda a potência instalada na bacia do São Francisco, é possível estabelecer um referencial para as perdas calculadas no período 1998-2005. No ano de 2011, a Chesf gerou 48.663 GWh e registrou uma receita operacional bruta de R\$6,5 bilhões (CHESF, 2012).

Dessa forma, se as demandas consuntivas na bacia do São Francisco equivalassem ao consumo outorgado na bacia, haveria uma queda na geração equivalente a 20% da produção de uma empresa do porte da Chesf, ou a 11% da sua receita operacional bruta, em relação aos valores de uso consuntivo adotado pelo ONS.

Ressalta-se que esses custos referem-se apenas às perdas para o agente gerador. Não se incluem os prejuízos econômicos em que incorreram os demais usuários do recurso hídrico, uma vez que suas demandas foram atendidas em apenas 17%, se for considerada toda a bacia. Tal custo é de estimativa muito complexa, dada a dificuldade de se atribuir valor econômico ao recurso hídrico, o qual é insumo relevante em diversos processos de produção e indispensável à vida.

6.2.2. Análise das relações de troca entre geração de energia, uso consuntivo e conservação ambiental

Procedeu-se ao estabelecimento das relações de troca entre diferentes usos da água por meio da análise dos resultados obtidos para todo o âmbito da bacia do rio São Francisco, em vez de serem considerados os reservatórios isoladamente.

- Período de afluência: abril/1998 a março/2005

Com relação ao *trade-off* entre geração de energia e uso consuntivo, deve-se observar que o *deficit* de energia é tanto maior quanto mais alta for a demanda hídrica consuntiva a ser atendida.

A **Tabela 6.14** apresenta o gradiente médio das curvas de Pareto obtidas para geração de energia e uso consuntivo (UC) considerando as afluências do período de abril/1998-março/2005.

Tabela 6.14 – Relação de troca entre geração de energia e uso consuntivo na bacia do São Francisco para o período abr/1998-mar/2005

Restrição TMA300						
Cenário	Transposição ativa			Transposição inativa		
	UC (m³/s)	Energia (MWmed)	Gradiente (MWmed/m³/s)	UC (m³/s)	Energia (MWmed)	Gradiente (MWmed/m³/s)
I	120,7	5.111		120,7	5.178	
II	180,5	4.952	-2,66	180,6	5.019	-2,66
III	240,1	4.795	-2,64	240,2	4.862	-2,65
IV	299,2	4.638	-2,65	299,4	4.704	-2,66
V	357,7	4.482	-2,67	357,9	4.549	-2,66
VI	520,4	3.978	-3,10	545,4	3.978	-3,05
Gradiente médio (MWmed/m³/s)			-2,74	-2,73		
Restrição TMA400						
Cenário	Transposição ativa			Transposição inativa		
	UC (m³/s)	Energia (MWmed)	Gradiente (MWmed/m³/s)	UC (m³/s)	Energia (MWmed)	Gradiente (MWmed/m³/s)
I	120,7	5.111		120,7	5.178	
II	180,5	4.952	-2,66	180,6	5.019	-2,66
III	240,1	4.795	-2,65	240,2	4.861	-2,66
IV	299,2	4.637	-2,67	299,4	4.704	-2,65
V	357,7	4.481	-2,67	357,9	4.548	-2,66
VI	515,2	4.000	-3,06	539,9	3.997	-3,03
Gradiente médio (MWmed/m³/s)			-2,74	-2,73		
Restrição TMA500						
Cenário	Transposição ativa			Transposição inativa		
	UC (m³/s)	Energia (MWmed)	Gradiente (MWmed/m³/s)	UC (m³/s)	Energia (MWmed)	Gradiente (MWmed/m³/s)
I	120,7	5.103		120,7	5.169	
II	180,5	4.944	-2,65	180,6	5.011	-2,65
III	240,1	4.785	-2,68	240,2	4.852	-2,67
IV	299,2	4.627	-2,67	299,4	4.693	-2,68
V	357,7	4.471	-2,67	357,9	4.537	-2,67
VI	499,4	4.028	-3,12	522,9	4.026	-3,10
Gradiente médio (MWmed/m³/s)			-2,76	-2,75		

Os resultados da **Tabela 6.14** mostram que o gradiente médio das curvas de Pareto é de -2,7 MWmed para cada m³/s destinado aos usos consuntivos e não apresenta alterações significativas entre as condições de defluência TMA300, TMA400 e TMA500, esteja a transposição em funcionamento ou inativa.

A obtenção de gradientes maiores que a unidade indicam que a geração de energia é mais sensível à variação da demanda consuntiva do que da vazão fornecida a uso consuntivo.

Uma perda de 2,7 MWmed totaliza, ao longo de um ano, 23.652 MWh a menos de energia. Tomando-se por base o preço médio de comercialização de 1 MWh como igual a R\$72, essa perda de energia representa, ao longo de um ano, uma perda de R\$1,7 milhão.

A operação da transposição só afeta significativamente o atendimento dos usos consuntivos quando a demanda é considerada igual ao consumo outorgado. Neste caso, ou seja, para o cenário VI, a transposição reduz em 24,4 m³/s em média o fornecimento para uso consuntivo, o que equivale a 4% da demanda total da bacia. Para os demais cenários de demanda hídrica, a transposição reduz em apenas 0,1 m³/s a vazão média fornecida para usos consuntivos. Os resultados são mostrados na **Tabela 6.15**.

Tabela 6.15 – Variação da vazão fornecida a usos consuntivos pela transposição do São Francisco no período abr/1998-mar/2005

Cenário	TMA300			TMA400			TMA500		
	UC (m ³ /s)		Variação	UC (m ³ /s)		Variação	UC (m ³ /s)		Variação
	Tr.Ativa	Tr.Inativa		Tr.Ativa	Tr.Inativa		Tr.Ativa	Tr.Inativa	
I	120,7	120,7	0,0%	120,7	120,7	0,0%	120,7	120,7	0,0%
II	180,5	180,6	0,0%	180,5	180,6	0,0%	180,5	180,6	0,0%
III	240,1	240,2	0,0%	240,1	240,2	0,0%	240,1	240,2	0,0%
IV	299,2	299,4	0,0%	299,2	299,4	0,0%	299,2	299,4	0,0%
V	357,7	357,9	-0,1%	357,7	357,9	-0,1%	357,7	357,9	-0,1%
VI	520,4	545,3	-4,6%	515,2	539,9	-4,6%	499,4	522,9	-4,5%

A transposição também não afetou de forma relevante a geração de energia pelas usinas hidrelétricas da bacia. Para os cenários I a V de demanda hídrica, a operação da transposição diminuiu a energia gerada em 66,7 MWmed, o que representa 1,1% da demanda de energia. Ao longo de um ano, essa perda de energia chega a 584 GWh ou R\$42 milhões, considerando o preço médio de

R\$72/MWh. Para o cenário VI, a variação de energia gerada com e sem transposição ficou abaixo de 0,1% da demanda.

Na média dos seis cenários, a perda na geração foi de 55,3 MWmed, o que equivale, ao longo de um ano, a R\$34,7 milhões considerando o preço médio de R\$72/MWh. Uma vez que a vazão transposta foi de 26,4 m³/s, tem-se uma perda na geração de energia de 2,1 MWmed para cada m³/s da transposição. Os resultados estão apresentados na **Tabela 6.16**.

Tabela 6.16 – Variação da geração de energia pela transposição do São Francisco no período abr/1998-mar/2005

Cenário	TMA300			TMA400			TMA500		
	Energia (MWmed)		Variação	Energia (MWmed)		Variação	Energia (MWmed)		Variação
	Tr.Ativa	Tr.Inativa		Tr.Ativa	Tr.Inativa		Tr.Ativa	Tr.Inativa	
I	5.111	5.178	-1,3%	5.111	5.178	-1,3%	5.103	5.169	-1,3%
II	4.952	5.019	-1,3%	4.952	5.019	-1,3%	4.944	5.011	-1,3%
III	4.795	4.862	-1,4%	4.795	4.861	-1,4%	4.785	4.852	-1,4%
IV	4.638	4.704	-1,4%	4.637	4.704	-1,4%	4.627	4.693	-1,4%
V	4.482	4.549	-1,5%	4.481	4.548	-1,5%	4.471	4.537	-1,5%
VI	3.978	3.978	0%	4.000	3.997	0,1%	4.028	4.026	0,1%

Esses resultados justificam as curvas de Pareto entre geração de energia e usos consuntivos, para as três condições de jusante em Três Marias, mostrarem-se muito próximas, conforme apresentado na **Figura 6.1**.

Figura 6.1 – Curvas de Pareto entre geração de energia e uso consuntivo no período abr/1998-mar/2005

Em cada cenário de demanda hídrica de I a V, a mudança das condições de defluência mínima de Três Marias não alterou a vazão média retirada para uso consuntivo, esteja a transposição ativa ou inativa. Apenas no cenário VI foi registrado impacto da defluência de Três Marias sobre a retirada média para uso consuntivo. Para este cenário, tem-se que o aumento de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ na exigência de vazão mínima a jusante de Três Marias implica uma diminuição média de $0,11 \text{ m}^3/\text{s}$ no fornecimento de água para uso consuntivo em toda a bacia. A perda de $21,1 \text{ m}^3/\text{s}$ na vazão fornecida, observada entre as restrições TMA300 e TMA500 com transposição, representa 3,4% da demanda hídrica. A variação observada sem a transposição foi semelhante, com perda de $22,4 \text{ m}^3/\text{s}$. As razões para o aumento do *deficit* hídrico com o aumento da defluência de Três Marias foram discutidas no item anterior.

A **Tabela 6.17** apresenta os gradientes entre conservação ambiental a jusante de Três Marias e uso consuntivo. A **Figura 6.2** apresenta as curvas de Pareto entre conservação ambiental e usos consuntivos.

Tabela 6.17 – Relação de troca entre conservação ambiental e uso consuntivo no período abr/1998-mar/2005

Qmín a jusante de Três Marias (m³/s)		Transposição ativa				Transposição inativa			
		300	400	500	Gradiente médio	300	400	500	Gradiente médio
UC (m³/s)	Cenário I	120,7	120,7	120,7	0	120,7	120,7	120,7	0
	Cenário II	180,5	180,5	180,5	0	180,6	180,6	180,6	0
	Cenário III	240,1	240,1	240,1	0	240,2	240,2	240,2	0
	Cenário IV	299,2	299,2	299,2	0	299,4	299,4	299,4	0
	Cenário V	357,7	357,7	357,7	0	357,9	357,9	357,9	0
	Cenário VI	520,5	515,2	499,4	0,11	545,4	539,9	522,9	0,11

Figura 6.2 – Curvas de Pareto entre conservação ambiental e uso consuntivo no período abr/1998-mar/2005

A mudança da defluência mínima de Três Marias também não ocasionou impacto significativo na geração de energia pelas usinas hidrelétricas da bacia. Para os cenários I a V, o gradiente entre energia e vazão defluente mínima é próximo de zero, ocorrendo ou não a transposição. Para o cenário VI, o aumento de 200 m³/s na defluência mínima de Três Marias implicou um aumento de 51 MWmed na geração de energia, ou seja, um gradiente de 0,25MWmed/m³/s. Esse aumento de 51 MWmed na geração totaliza, ao longo de um ano, 446 GWh, o que representa um ganho de R\$32 milhões, considerando o preço médio de R\$72/MWh.

A **Tabela 6.18** apresenta os gradientes entre conservação ambiental a jusante de Três Marias e geração de energia.

Tabela 6.18 – Relação de troca entre conservação ambiental e geração de energia no período abr/1998-mar/2005

Qmín a jusante de Três Marias (m ³ /s)	Transposição ativa				Transposição inativa			
	300	400	500	Gradiente médio	300	400	500	Gradiente médio
Cenário I	5.111,4	5.111,4	5.103,0	-0,04	5.178,3	5.178,2	5.169,2	-0,05
Cenário II	4.952,2	4.952,3	4.944,2	-0,04	5.019,2	5.019,0	5.010,7	-0,04
Energia (MWmed) Cenário III	4.794,7	4.794,7	4.784,7	-0,05	4.861,5	4.860,8	4.851,8	-0,05
Cenário IV	4.637,9	4.636,9	4.627,1	-0,05	4.704,3	4.703,8	4.693,5	-0,05
Cenário V	4.481,7	4.481,0	4.470,9	-0,05	4.548,6	4.548,2	4.537,3	-0,06
Cenário VI	3.977,6	4.000,0	4.028,5	0,25	3.977,8	3.977,4	4.026,2	0,24

A **Figura 6.3** apresenta as curvas de Pareto entre conservação ambiental e geração de energia.

Figura 6.3 – Curvas de Pareto entre conservação ambiental e geração de energia no período abr/1998-mar/2005

- Período de afluência: abril/1950 a março/1957

A **Tabela 6.19** apresenta o gradiente médio das curvas de Pareto obtidas para geração de energia e uso consuntivo considerando as afluências do período abril/1950-março/1957.

Os resultados mostram que o gradiente médio das curvas de Pareto é de - 1,8 MWmed para cada m³/s destinado aos usos consuntivos e não apresenta alterações significativas entre as condições de defluência TMA300, TMA400 e TMA437, esteja a transposição em funcionamento ou inativa.

Os gradientes obtidos maiores que a unidade indicam que a geração e energia mostrou-se mais sensível à variação da demanda consuntiva do que a vazão fornecida a uso consuntivo.

Tabela 6.19 – Relação de troca entre geração de energia e uso consuntivo na bacia do São Francisco para o período abr/1950-mar/1957

Restrição TMA300						
Cenário	Transposição ativa			Transposição inativa		
	UC (m³/s)	Energia (MWmed)	Gradiente (MWmed/m³/s)	UC (m³/s)	Geração (MWmed)	Gradiente (MWmed/m³/s)
I	120,9	5.842		120,9	5.871	
II	181,2	5.741	-1,68	181,2	5.769	-1,69
III	241,2	5.635	-1,76	241,3	5.671	-1,64
IV	301,1	5.527	-1,81	301,2	5.562	-1,81
V	360,5	5.414	-1,91	360,7	5.455	-1,80
VI	602,1	4.863	-2,28	602,5	4.921	-2,20
Gradiente médio (MWmed/m³/s)			-1,89			
Restrição TMA400						
Cenário	Transposição ativa			Transposição inativa		
	UC (m³/s)	Energia (MWmed)	Gradiente (MWmed/m³/s)	UC (m³/s)	Energia (MWmed)	Gradiente (MWmed/m³/s)
I	120,9	5.825		120,9	5.853	
II	181,1	5.724	-1,67	181,2	5.752	-1,67
III	241,2	5.618	-1,77	241,3	5.652	-1,65
IV	301,1	5.510	-1,79	301,2	5.545	-1,80
V	360,5	5.397	-1,91	360,6	5.435	-1,84
VI	610,1	4.825	-2,29	610,9	4.884	-2,20
Gradiente médio (MWmed/m³/s)			-1,89			
Restrição TMA437						
Cenário	Transposição ativa			Transposição inativa		
	UC (m³/s)	Energia (MWmed)	Gradiente (MWmed/m³/s)	UC (m³/s)	Energia (MWmed)	Gradiente (MWmed/m³/s)
I	120,9	5.814		120,9	5.838	
II	181,0	5.712	-1,69	181,0	5.741	-1,61
III	238,9	5.615	-1,68	238,9	5.648	-1,60
IV	296,9	5.514	-1,75	296,9	5.548	-1,73
V	354,7	5.407	-1,85	354,7	5.446	-1,77
VI	590,3	4.888	-2,20	590,6	4.948	-2,11
Gradiente médio (MWmed/m³/s)			-1,83			

Uma perda de 1,8 MWmed totaliza, ao longo de um ano, 15.768 MWh a menos de energia. Tomando-se por base o preço médio de comercialização de 1 MWh como igual a R\$72, essa queda na geração representa, ao longo de um ano, uma perda de R\$1,1 milhão. Trata-se de um gradiente menor em termos absolutos que o obtido para o período 1998-2005, em razão da menor afluência média registrada na bacia naquele período.

A operação da transposição não afetou significativamente o atendimento dos usos consuntivos em nenhum dos cenários analisados para este período de afluência. O impacto maior foi observado no cenário VI, com redução de 1,7 m³/s na vazão média fornecida às demandas consuntivas, o que representa apenas 0,1% da demanda hídrica total da bacia. Os resultados são mostrados na **Tabela 6.20**.

Tabela 6.20 – Variação da vazão fornecida a usos consuntivos pela transposição do São Francisco no período abr/1950-mar/1957

Cenário	TMA300			TMA400			TMA437		
	UC (m³/s)		Variação	UC (m³/s)		Variação	UC (m³/s)		Variação
	Tr.ativa	Tr.inativa		Tr.ativa	Tr.inativa		Tr.ativa	Tr.inativa	
I	120,9	120,9	0%	120,9	120,9	0%	120,9	120,9	0%
II	181,2	181,2	0%	181,1	181,2	0%	181,0	181,0	0%
III	241,2	241,3	0%	241,2	241,3	0%	238,9	238,9	0%
IV	301,1	301,2	0%	301,1	301,2	0%	296,9	296,9	0%
V	360,5	360,7	0%	360,5	360,6	0%	354,7	354,7	0%
VI	602,1	602,8	-0,1%	610,1	610,9	-0,1%	590,3	590,6	0%

Tal como no período de 1998-2005, a transposição também não afetou de forma relevante a geração de energia pelas usinas hidrelétricas da bacia. Contudo, diferentemente do observado naquele período, quando o maior impacto da transposição se fez sentir nos cenários de I a V, neste período de 1950-1957 o maior impacto da transposição sobre a geração de energia ocorreu nos cenários VI e V respectivamente.

No cenário VI, a operação da transposição ocasionou uma queda de 59 MWmed na geração de energia, o que representa 1% da demanda. Ao longo de um ano, essa perda de energia chega a 517 GWh ou R\$37,2 milhões, considerando o preço médio de R\$72/MWh. Para os cenários I a IV, a transposição acarretou uma perda de 32,8 MW médio na geração de energia. Considerando o preço médio de R\$72/MWh, essa perda representa, ao longo de um ano, R\$20,6 milhões.

Considerando a média dos seis cenários, registrou-se uma perda de 37,1 MWmed. A vazão transposta, na média dos seis cenários, foi de 29,7 m³/s. Tem-se, então que cada m³/s da transposição acarreta uma perda de 1,25 MWmed na geração de energia. Os resultados do impacto da transposição na geração de energia estão apresentados na **Tabela 6.21**.

Tabela 6.21 – Variação da geração de energia pela transposição do São Francisco no período abr/1950-mar/1957

Cenário	TMA300			TMA400			TMA437		
	Energia (MWmed)		Variação	Energia (MWmed)		Variação	Energia (MWmed)		Variação
	Tr.ativa	Tr.inativa		Tr.ativa	Tr.inativa		Tr.ativa	Tr.inativa	
I	5.842	5.871	-0,5%	5.825	5.853	-0,5%	5.814	5.838	-0,4%
II	5.741	5.769	-0,5%	5.724	5.752	-0,5%	5.712	5.741	-0,5%
III	5.635	5.671	-0,6%	5.618	5.652	-0,6%	5.615	5.648	-0,6%
IV	5.527	5.562	-0,6%	5.510	5.545	-0,6%	5.514	5.548	-0,6%
V	5.414	5.455	-0,8%	5.397	5.435	-0,7%	5.407	5.446	-0,7%
VI	4.863	4.921	-1,2%	4.825	4.884	-1,2%	4.888	4.948	-1,2%

Esses resultados justificam as curvas de Pareto entre geração de energia e usos consuntivos, para as três condições de jusante em Três Marias, mostram-se muito próximas, conforme é apresentado na **Figura 6.4**.

Figura 6.4 – Curvas de Pareto entre geração de energia e uso consuntivo no período abr/1950-mar/1957

Em cada cenário de demanda hídrica de I a V, a mudança das condições de defluência de Três Marias não alterou a vazão média retirada para uso consuntivo, esteja a transposição ativa ou inativa. Tal como no período de 1998-2005, apenas no cenário VI foi registrado impacto do aumento da defluência de Três Marias sobre a retirada para uso consuntivo. Para este cenário, tem-se que o aumento de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ na exigência de vazão mínima a jusante de Três Marias implica uma diminuição média de $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$ na vazão para uso consuntivo em toda a bacia. A perda de $11,8 \text{ m}^3/\text{s}$ na vazão fornecida, observada entre as restrições TMA300 e TMA437 com transposição, representa 1,9% da demanda hídrica. A variação observada sem a transposição foi semelhante, com perda de $12,2 \text{ m}^3/\text{s}$.

A **Tabela 6.22** apresenta os gradientes entre conservação ambiental a jusante de Três Marias e uso consuntivo. A **Figura 6.5** apresenta as curvas de Pareto entre conservação ambiental e usos consuntivos.

Tabela 6.22 – Relação de troca entre conservação ambiental e uso consuntivo no período abr/1950-mar/1957

Qmín a jusante de Três Marias (m³/s)		Transposição ativa				Transposição inativa			
		300	400	437	Gradiente médio	300	400	437	Gradiente médio
UC (m³/s)	Cenário I	120,9	120,9	120,9	0	120,9	120,9	120,9	0
	Cenário II	181,2	181,1	181,0	0	181,0	181,2	181,0	0
	Cenário III	241,2	241,2	238,9	0,02	241,3	241,3	238,9	0,02
	Cenário IV	301,1	301,1	296,9	0,03	301,2	301,2	296,9	0,03
	Cenário V	360,5	360,5	354,7	0,04	360,7	360,6	354,7	0,04
	Cenário VI	602,1	610,1	590,3	0,09	602,8	610,9	590,6	0,09

Figura 6.5 – Curvas de Pareto entre conservação ambiental e uso consuntivo no período abr/1950-mar/1957

A mudança da defluência mínima de Três Marias também não ocasionou impacto significativo na geração de energia pelas usinas hidrelétricas da bacia. O gradiente mais expressivo foi obtido para o cenário VI, no qual o aumento de 137 m³/s na defluência mínima de Três Marias implicou um aumento de 24,8 MWmed na geração de energia, ou seja, um gradiente de 0,18 MWmed/m³/s. Esse aumento de 24,8 MWmed na geração totaliza, ao longo de um ano, 217 GWh, o que equivale a um ganho de R\$15,6 milhões, considerando o preço médio de R\$72/MWh. Na situação sem transposição, o gradiente médio obtido foi semelhante.

A **Tabela 6.23** apresenta os gradientes entre conservação ambiental a jusante de Três Marias e geração de energia. A **Figura 6.6** apresenta as curvas de Pareto entre conservação ambiental e geração de energia.

Tabela 6.23 – Relação de troca entre conservação ambiental e geração de energia no período abr/1950-mar/1957

Qmín a jusante de Três Marias (m³/s)		Transposição ativa				Transposição inativa			
		300	400	437	Gradiente médio	300	400	437	Gradiente médio
Energia (MWmed)	Cenário I	5842	5825	5814	-0,20	5871	5853	5838	-0,24
	Cenário II	5741	5724	5712	-0,21	5769	5752	5741	-0,20
	Cenário III	5635	5618	5615	-0,15	5671	5652	5648	-0,17
	Cenário IV	5527	5510	5514	-0,09	5562	5545	5548	-0,10
	Cenário V	5414	5397	5407	-0,05	5455	5435	5446	-0,06
	Cenário VI	4863	4825	4888	0,18	4921	4884	4948	0,19

Figura 6.6 – Curvas de Pareto entre conservação ambiental e geração de energia no período abr/1950-mar/1957

6.2.3. Análise de sensibilidade à variação de prioridade

Procedeu-se à análise de sensibilidade das variáveis energia gerada e vazão destinada a uso consuntivo mediante a variação dos coeficientes ponderadores ω e ψ na função objetivo, os quais assumiram valores complementares. Foram adotados os seguintes valores de (ω, ψ) : (0,1; 0,9), (0,25; 0,75), (0,5; 0,5), (0,75; 0,25) e (0,9; 0,1). No caso dos valores (0,1; 0,9) é dada prioridade máxima ao atendimento

das demandas consuntivas. Para os valores (0,9; 0,1) tem-se a situação oposta, isto é, dá-se máxima prioridade à geração de energia.

Dentre os cenários de demanda hídrica objetivo utilizados neste trabalho, foram escolhidos para a análise de sensibilidade os cenários I e VI. Em ambos os cenários, foi considerada a operação da transposição do rio São Francisco. A demanda objetivo de energia foi considerada igual à garantia física das usinas.

O período de aflúências adotado na análise de sensibilidade foi de abril/1998 a março/2005. De forma análoga à análise anterior, foi imposto que os reservatórios chegassem ao final do período com volume armazenado igual ao volume útil menos o volume de espera para controle de cheias.

Uma vez que, para esta análise de sensibilidade, não foi levado em consideração o aumento da defluência mínima em Três Marias, apenas os valores do conjunto de restrições TMA500 foram adotados como limite de vazão mínima a jusante dos reservatórios da bacia.

A **Figura 6.7** apresenta os resultados obtidos para o cenário I e a **Figura 6.8** apresenta os resultados para o cenário VI.

Figura 6.7 – Curvas de Pareto entre geração de energia e uso consuntivo com variação dos coeficientes ponderadores ω e ψ – Cenário I

Figura 6.8 – Curvas de Pareto entre geração de energia e uso consuntivo com variação dos coeficientes ponderadores ω e ψ – Cenário VI

Os resultados demonstram que as relações de troca entre geração de energia e uso consuntivo tornam-se mais intensas quanto maior for a demanda hídrica.

No cenário I, em que as demandas consuntivas somam 121 m³/s em toda a bacia, não se observa uma variação significativa do gradiente à medida que se prioriza o atendimento de uma das demandas. Percebe-se que o limite mínimo do atendimento das demandas consuntivas é muito próximo do limite máximo, 117 e 121 m³/s respectivamente. O mesmo se observa com relação aos limites mínimo e máximo da geração de energia, 5100 e 5111 MWmed respectivamente.

Ao contrário, as relações de troca mostram-se intensas no cenário VI, em que as demandas consuntivas da bacia somam 617 m³/s. O limite máximo de atendimento dos usos consuntivos mantém-se próximo de 500 m³/s para valores de ω entre 0,1 e 0,75, isto é, para valores de ψ entre 0,9 e 0,25. No entanto, para valores de ω maiores que 0,75, a vazão fornecida aos usos consuntivos reduz-se até atingir o valor de 401 m³/s, que representa apenas 65% da demanda. À medida que o atendimento das demandas consuntivas deixa de ser priorizado em favor do

atendimento da demanda energética, a geração de energia eleva-se de 4016 MWmed para 4334 MWmed.

Esse incremento de 317,5 MWmed totaliza 2785 GWh de energia ao longo de um ano, o que representa R\$200 milhões, considerando-se o preço médio de R\$72/MWh. Ainda assim, o valor máximo obtido na geração equivale a apenas 70% da demanda objetivo de energia adotada na análise.

6.2.4. Avaliação da geração de energia ao longo da curva de duração das afluições

Na análise da série histórica de afluições na bacia do São Francisco apresentada no Capítulo 5, foi levantada a curva de duração da ENA média de 7 anos. Uma vez que, para os períodos mais severos de escassez analisados, a geração de energia ficou abaixo da demanda objetivo, procedeu-se à avaliação do desempenho do sistema de reservatórios quanto à geração para outros períodos de 7 anos nos quais a escassez hídrica é menos intensa.

Com essa finalidade, foi aplicado o modelo HIDRO considerando diferentes afluições aos reservatórios da bacia. A escolha dos períodos de afluição seguiu o ordenamento da curva de duração apresentada no Capítulo 5, iniciando-se pelo período com ENA média de 7 anos com 100% de permanência até o período de ENA média de 7 anos com 50% de permanência. Os períodos selecionados estão apresentados na **Tabela 6.24**.

Tabela 6.24 – ENA média de 7 anos e permanência dos períodos selecionados

Período	ENA média (MWmed)	Permanência
1998-2005	5878	100%
1950-1957	6957	84%
1934-1941	7292	75%
1967-1973	7516	70%
1954-1961	7561	65%
1935-1942	7600	60%
1985-1992	7762	55%
1959-1966	7918	50%

A demanda hídrica objetivo foi considerada igual à do cenário I, ou seja, o mesmo valor adotado pelo ONS em 2011. A demanda objetivo de energia foi considerada igual à energia assegurada das usinas. Os pesos atribuídos à geração de energia e aos usos consuntivos foram iguais, isto é, $\omega = \psi = 0,5$. Novamente foi imposto que os reservatórios apresentassem ao fim do período um volume armazenado igual ao volume útil menos o volume de espera para controle de cheias. Além disso, a vazão defluente mínima das usinas seguiu os valores definidos na condição TMA300.

Em todos os períodos, as demandas consuntivas foram atendidas praticamente em sua plenitude. A vazão fornecida ficou acima de 99,7% da demanda objetivo no período de 1998-2005 e acima de 99,9% nos demais períodos.

Com relação à geração de energia, o atendimento da demanda objetivo foi distinto em cada período analisado. A **Figura 6.9** apresenta a geração de energia ao longo dos 84 meses de cada período em comparação com a demanda objetivo de energia. Acumulando-se os valores do *deficit* mensal de energia em GWh, obtêm-se os valores apresentados na **Figura 6.10**.

Figura 6.9 – Geração de energia para os diferentes períodos

Figura 6.10 – Deficit de energia acumulado para os diferentes períodos de afluência

A **Tabela 6.25** apresenta um resumo dos resultados obtidos para os períodos de análise classificados em ordem crescente de permanência de ENA.

Tabela 6.25 – Atendimento energético para cada permanência de ENA

Período	Permanência de ENA	Função objetivo	Energia (MWmed)	Deficit/Demanda	Falhas
abr/59-mar/66	50%	0,01	6103	1,4%	0%
abr/85-mar/92	55%	0,09	5952	3,8%	0%
abr/35-mar/42	60%	0,01	6102	1,4%	0%
abr/54-mar/61	65%	0,05	6016	2,8%	27%
abr/67-mar/74	70%	0,10	5939	4,0%	57%
abr/34-mar/41	75%	0,02	6063	2,0%	0%
abr/50-mar/57	84%	0,21	5842	5,6%	55%
abr/98-mar/05	100%	1,30	5111	17,4%	100%

Os resultados mostram que o atendimento da demanda de energia, ao contrário do que se esperaria, não é estritamente crescente com a diminuição da ENA média de 7 anos. Os maiores *deficit* foram observados nos períodos de maior permanência, ou seja, 1998-2005 e 1950-1957, e o menor *deficit* foi observado para a mediana, isto é, 1959-1966. No entanto, para os demais períodos, tal correspondência não foi seguida rigorosamente.

O período de 1934-1941, por exemplo, cuja ENA média de 7 anos tem permanência de 75%, está entre os três períodos de menor *deficit* acumulado. Este foi o primeiro dos períodos analisados em que a geração de energia manteve-se acima de 95% da demanda objetivo em todos os 84 meses da otimização. O maior *deficit* percentual observado no período representou 4% da demanda objetivo.

Por outro lado, o período de 1985-1992, cuja permanência de ENA é de 55%, registrou um *deficit* acumulado semelhante ao do período de 1967-1971, cuja permanência de ENA é de 70%. Em ambos os períodos o desempenho mostrou-se pior que o do período de 1934-1941. E o período de 1935-1942, cuja permanência de ENA é de 60%, apresentou um desempenho quase idêntico ao da mediana.

Essa variação pode ser explicada pelas diferenças observadas entre as regiões fisiográficas da bacia, discutidas no Capítulo 5. Os valores da ENA média podem ocultar a ocorrência, em um mesmo período, de chuvas muito acima da média em uma região fisiográfica e de chuvas muito abaixo do esperado em outra região. O Alto São Francisco segue um regime hidrológico que difere muito do regime do Médio e Submédio São Francisco. Além disso, a capacidade instalada na bacia distribui-se de forma muito desigual entre essas regiões.

Obviamente, essa observação acerca da variação da geração média com a variação da ENA média de 7 anos reflete as restrições impostas ao problema nesta análise, principalmente no que se refere ao armazenamento exigido no último mês da otimização, considerado igual ao volume útil menos o volume de espera para controle de cheias.

Percebe-se, contudo, que, sob as restrições definidas neste estudo, as usinas hidrelétricas da bacia do São Francisco não conseguiram, em conjunto, gerar nem o equivalente a 95% de sua garantia física com o regime de vazões registrado em 1998-2005, período crítico da bacia, e em 1950-1957, período tido como crítico para o SIN. Uma vez que, nesta análise, foi considerado o valor de uso consuntivo adotado pelo ONS em 2011, entende-se que o desempenho das usinas seria ainda mais impactado negativamente se as demandas consuntivas fossem consideradas iguais ao consumo outorgado na bacia.

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvida uma nova função objetivo para o modelo HIDRO adequada à aplicação da programação não linear para avaliar o impacto das demandas hídricas consuntivas na operação de um sistema de reservatórios para geração de energia elétrica situados em uma bacia hidrográfica marcada por múltiplos usos do recurso hídrico. O conjunto de variáveis de decisão do modelo inclui não apenas a vazão turbinada e a vazão vertida em cada usina hidrelétrica, como também a vazão retirada para suprimento dos usos consuntivos.

Novas restrições também foram adicionadas ao modelo HIDRO de forma a contemplar o atendimento dos usos da água considerados prioritários – abastecimento urbano e rural e criação animal – em situações de indisponibilidade hídrica. A demanda de energia foi agregada em um único valor, de modo a permitir que todas as usinas hidrelétricas da região de estudo contribuam para o atendimento global. As demandas hídricas consuntivas foram agregadas por usina, segundo a localização dos usuários nas áreas de contribuição incremental de cada reservatório.

O novo equacionamento foi implementado no modelo HIDRO com o uso da ferramenta de programação GAMS, de forma que a metodologia pode ser adaptada e aplicada a sistemas de reservatórios quaisquer. As aplicações do modelo foram realizadas para a bacia hidrográfica do rio São Francisco, utilizando-se o pacote de otimização MINOS para a solução do problema.

Face à discrepância das informações referentes à vazão consumida na bacia, foram criados seis cenários de demanda hídrica consuntiva. As vazões afluentes aos reservatórios assumiram os valores observados nos períodos da série histórica de afluência em que foram registradas as estiagens mais intensas na bacia.

Observou-se que o período crítico de afluência na bacia do São Francisco foi registrado entre os anos de 1998 e 2005, diferentemente do que o setor elétrico adota para o SIN, que é entre 1950 e 1956. Em decorrência disso, o *deficit* no atendimento da demanda objetivo de recurso hídrico mostrou-se 2 a 5 vezes menor no período 1950-1956 em relação ao período 1998-2005, dependendo do cenário de

demanda consuntiva considerado. No atendimento da demanda objetivo de energia, essa relação variou de 1,5 a 3 vezes.

A escassez do período 1950-1956 mostrou-se mais intensa apenas na área da bacia situada a montante de Três Marias, a qual apresenta o regime de chuvas típico do Sudeste brasileiro, cujo histórico de afluições tem como período crítico a primeira metade da década de 1950. Para este período de afluição, o modelo HIDRO não obteve solução viável para defluência mínima de $500 \text{ m}^3/\text{s}$ de Três Marias, além de ter sido fornecida uma vazão equivalente a apenas 40% da demanda consuntiva na área a montante desta usina. Ressalta-se que a navegação entre Três Marias e Sobradinho só se realiza se a vazão no trecho for superior a $500 \text{ m}^3/\text{s}$.

Observou-se também que, no período crítico de 1998-2005, para valores de demanda hídrica consuntiva próximos aos adotados pelo ONS em 2011, não se registra *deficit* significativo no atendimento dos usos consuntivos. No entanto a geração de energia pelas usinas hidrelétricas no período não alcançou o valor de suas respectivas garantias físicas, variando de 73% a 83% da energia assegurada.

Caso o valor das demandas consuntivas seja igual ao consumo outorgado na bacia até outubro/2009, os índices de atendimento caem consideravelmente. A geração de energia alcança apenas 65% da garantia física e a vazão fornecida a usos consuntivos só atende de 81% a 89% da demanda.

Esses resultados demonstram que, sob condições de afluição mínima já registradas no histórico, a bacia do São Francisco não apresenta disponibilidade hídrica suficiente para atender todos os usos devidamente outorgados pelo Poder Público e, ao mesmo tempo, gerar, em suas usinas hidrelétricas, o equivalente à garantia física dessas usinas.

Neste cenário de indisponibilidade hídrica, a região da bacia que registra maior *deficit* de atendimento dos usos consuntivos, tanto em termos absolutos como em relação à demanda, é a área de contribuição incremental do reservatório de Sobradinho. Trata-se da porção da bacia que contribui com 54% da Q_{MLT} e com 62% da Q_{95} do rio São Francisco. Ao mesmo tempo, conforme discutido no Capítulo 5, nela se concentra a maior parte dos usos consuntivos da bacia, majoritariamente representados pela irrigação de lavouras.

Esse resultado indica que o ritmo de expansão da irrigação no Médio São Francisco registrado nas últimas décadas pode acarretar impactos na geração de

energia e também oferecer riscos ao atendimento dos usuários outorgados que, teoricamente, têm garantido seu direito de acesso ao recurso hídrico.

Observou-se também que a operação da transposição das águas do São Francisco para as bacias do Nordeste Setentrional não causa impacto relevante na geração de energia. Cada m^3/s derivado na transposição representou, em média, uma perda de 2,1 MWmed no período crítico de afluições.

O impacto da transposição sobre o atendimento dos usos consuntivos da própria bacia só é significativo se as demandas hídricas consuntivas forem consideradas iguais ao consumo outorgado. Neste caso, para o período crítico de afluições, registrou-se uma redução média de $24,4 \text{ m}^3/\text{s}$ na vazão fornecida aos usos consuntivos, o que representa 4% do consumo outorgado total na bacia.

Concomitantemente, a operação da transposição não afetou a obediência do limite de vazão defluente mínima em Xingó de $1.300 \text{ m}^3/\text{s}$, mesmo na consideração do pior cenário de demanda consuntiva no período de afluição mais escassa.

Ressalta-se que, no período crítico de afluições, por não ter sido registrado vertimento em Sobradinho, a transposição operou em seu limite mínimo de $26,4 \text{ m}^3/\text{s}$ em todos os meses da otimização.

No período de 1950-1957, houve meses em que, a despeito da ocorrência de vertimento em Sobradinho, a vazão transposta permaneceu no limite mínimo. Isso mostra que o modelo realizou a operação da transposição submetendo-a a um melhor atendimento das demandas hídrica e de energia da própria bacia do São Francisco, em vez de operá-la de forma isolada.

Finalmente, foram estabelecidas as curvas de Pareto que descrevem a relação de troca entre geração de energia, uso consuntivo e conservação ambiental. As curvas de Pareto entre geração de energia e uso consuntivo mostraram-se praticamente coincidentes tanto no período de afluição crítica de 1998-2005 como no período de 1950-1957. O gradiente obtido foi de -2,7 MWmed para cada m^3/s destinado a usos consuntivos no período 1998-2005 e de -1,8 MWmed no período 1950-1957. As curvas obtidas com a transposição inativa mantiveram os mesmos gradientes observados nas curvas levantadas com a operação da transposição.

A geração de energia mostrou-se mais sensível à variação da demanda consuntiva do que a vazão fornecida aos usos consuntivos quando a demanda consuntiva variou de 1 a 3 vezes o valor adotado pelo ONS. A vazão fornecida a uso consuntivo só se mostrou mais sensível do que a geração de energia quando a

demanda hídrica variou de 3 vezes o valor do ONS para o valor de consumo outorgado.

Observou-se também que essa relação de troca entre geração de energia e uso consuntivo torna-se mais intensa quando se atribui à geração de energia uma preferência relativa de 75% a 90%, isto é, quando se atribui aos usos consuntivos uma preferência relativa de 10% a 25%.

Foi observado que a conservação ambiental não estabelece *trade-off* significativo com a geração de energia nem com os usos consuntivos, principalmente no período 1998-2005. No período 1950-1957, no qual se registra escassez no trecho da bacia a montante de Três Marias, os *trade-offs* foram um pouco mais expressivos. Ainda assim, só foram obtidos gradientes significativos quando a demanda consuntiva foi considerada igual ao consumo outorgado. Neste caso, foi observado que o aumento de 1 m³/s no limite mínimo de defluência de Três Marias implica uma diminuição de 0,2 m³/s no atendimento dos usos consuntivos. Por outro lado, para cada m³/s adicionado ao limite mínimo de defluência em Três Marias, ocorre um aumento de 0,7 MWmed na geração de energia.

Todas essas considerações demonstram que a bacia do rio São Francisco está exposta a uma situação de conflito pelo uso do recurso hídrico que pode acarretar custos significativos no futuro por conta da expansão das demandas consuntivas nas áreas que mais contribuem para a disponibilidade hídrica superficial. Observou-se que, se as demandas consuntivas alcançarem valores iguais ao consumo outorgado até outubro/2009 na bacia, a perda média na geração de energia no período crítico de aflúências pode chegar a 1134 MWmed em relação à geração obtida com uso consuntivo igual ao adotado pelo ONS. Essa perda equivale a R\$693 milhões ao ano, considerando o preço médio de R\$72/MWh. Somam-se ainda a essa perda os custos associados ao despacho de usinas térmicas e também ao *deficit* no atendimento dos usos consuntivos, cuja estimativa é complexa em razão das dificuldades de se associar valor econômico a um recurso indispensável a diversas atividades econômicas e à vida.

O equacionamento proposto para o modelo HIDRO mostrou-se uma ferramenta adequada à avaliação dos impactos que as demandas hídricas consuntivas impõem à operação dos reservatórios para geração de energia elétrica em uma bacia hidrográfica marcada por conflitos entre os múltiplos usos da água.

No que se refere à metodologia, a introdução da vazão retirada para uso consuntivo na função objetivo, em vez de considerá-la uma restrição do problema, como atualmente procede o ONS, permitiu não apenas avaliar as relações de compromisso entre diferentes usos da água, como também se mostrou uma técnica interessante para estudos de alocação de água em cenários de escassez.

No que se refere ao esforço computacional requerido pelo modelo, o tempo de processamento dos períodos de 84 meses em um computador equipado com processador Intel® Core™ Duo 2,4 GHz e memória RAM de 4,0 Gbytes variou de 5 a 30 segundos, chegando poucas vezes ultrapassar esta marca. O tempo de processamento variou conforme a configuração do problema – período de afluência, cenário de demanda consuntiva, restrições de defluência mínima e pesos relativos atribuídos a geração de energia e a uso consuntivo.

Como sugestões para estudos futuros, podem ser considerados:

- Avaliar o impacto dos usos consuntivos na geração de energia considerando diferentes níveis de armazenamento nos reservatórios ao fim do período para estabelecer as melhores regras de deplecionamento e reenchimento em função também das demandas hídricas consuntivas e não apenas do melhor aproveitamento da cascata;
- Expandir a avaliação de impactos na bacia do São Francisco para diferentes cenários futuros, que contemplem projetos em discussão no Governo Federal para reforço da vazão do São Francisco pela transposição de bacias vizinhas, como a do Tocantins e a do Paraná;
- Desagregar a vazão destinada às demandas consuntivas com um todo em vazões fornecidas a usos consuntivos específicos, de forma a avaliar as relações de troca entre geração de energia e cada tipo de uso consuntivo;
- Avaliar o impacto dos usos consuntivos na geração de energia considerando a estocasticidade associada à precipitação e, por consequência, às vazões afluentes aos reservatórios;
- A ampliação da área de estudo com aplicação da metodologia às demais regiões hidrográficas brasileiras, abrangendo não somente as usinas hidrelétricas do SIN, como também as usinas termelétricas e nucleares que integram o sistema, avaliando de forma integrada o impacto do uso consuntivo na geração e no intercâmbio de energia entre os subsistemas.

REFERÊNCIAS

ALVES FILHO, J. **Transposição das Águas do São Francisco: agressão à natureza x solução ecológica**. 2a. ed. Maceió: Edições Catavento, 2000. 192 p.

ANA – Agência Nacional de Águas. Resolução nº.145, de 22 de julho de 2002. Dispõe sobre a estimativa da área irrigada e da vazão para irrigação na bacia do rio São Francisco. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2002/145-2002.pdf>> Acesso em: 5 mar. 2011.

_____. Resolução nº.434, de 9 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a redução temporária da descarga mínima defluente dos reservatórios de Sobradinho e Xingó, no rio São Francisco. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2003/434-2003.pdf>> Acesso em: 5 mar. 2011.

_____. **São Francisco River Basin: Physiographic Regions – New Limits** 2003. [S.l.], 2003a. 1 mapa. Escala gráfica. Disponível em: <<http://archive.iwlearn.net/www.ana.gov.br/www.ana.gov.br/gefsf/Arquivos/NovosLim2003.jpg>> Acesso em: 20 mai. 2012.

_____. Resolução nº.139, de 8 de março de 2004. Altera a Resolução nº.434, que dispõe sobre a redução temporária da descarga mínima defluente dos reservatórios de Sobradinho e Xingó, no rio São Francisco. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2004/139-2004.pdf>> Acesso em: 5 mar. 2011.

_____. Resolução nº.411, de 22 de setembro de 2005. Outorga ao Ministério da Integração Nacional o direito de uso de recursos hídricos do Rio São Francisco para a execução do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/saofrancisco/documentos/index.asp>> Acesso: 5 mar. 2011.

_____. **Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2004-2013): síntese executiva com apreciação das deliberações do CBHSF aprovadas na III Reunião Plenária de 28 a 31 de julho de 2004**. Brasília: 2005. 152 p.

_____. **A Navegação Interior e sua Interface com o Setor de Recursos Hídricos e Aproveitamento do Potencial Hidráulico para a Geração de Energia no Brasil**. Brasília: 2007. 170 p. (Caderno de Recursos Hídricos; 3).

_____. **Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: 2007a. 123 p. (Caderno de Recursos Hídricos; 2).

ANA. **Atlas Brasil:** abastecimento urbano de água. Brasília: 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>> Acesso em 04 abr. 2011.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil:** informe 2010. Brasília: 2010a. 76 p.

ANA/GEF/PNUMA/OEA. **Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do Rio São Francisco:** Programa de Ações Estratégicas para o Gerenciamento Integrado da Bacia do Rio São Francisco e da sua Zona Costeira – Síntese Executiva. Brasília: TDA, 2004. 48 p.

_____. **Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do Rio São Francisco:** Sub-projeto 4.5C – Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco (2004-2013): Agricultura irrigada. Estudo Técnico de Apoio nº 12. Brasília: 2004a. 128 p.

_____. **Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do Rio São Francisco:** Subprojeto 4.5C - Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2004-2013): Disponibilidade Hídrica Quantitativa e Usos Consuntivos. Estudo Técnico de Apoio nº 1. Brasília: 2004b. 63 p.

_____. **Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do Rio São Francisco:** Subprojeto 4.5C - Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2004-2013): Aproveitamento do potencial hidráulico para geração de energia elétrica. Estudo Técnico de Apoio nº 9. Brasília: 2004c. 58 p.

_____. **Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do Rio São Francisco:** Subprojeto 4.5C - Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2004-2013): Alocação de água. Estudo Técnico de Apoio nº 16. Brasília: 2004d. 53 p.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** Brasília: 2008. 236 p.

_____. **Banco de Informações de Geração.** 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em: 03 mai. 2012.

AZEVEDO, L.G.T.; PORTO, R.L.L.; ZAHED FILHO, K. Modelos de Simulação e de Rede de Fluxo. In: PORTO, R.L.L. (Org.). **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos.** Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2002. P. 165-227.

BARROS, M.T.L. et al. Otimização de sistemas de adução de água: o modelo SISAGUA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2005.

_____. Model to Optimize Large Hydrothermal System Operation Considering Water and Environment Sustainability. In: WORLD ENVIRONMENTAL & WATER RESOURCES CONGRESS, 2008, Honolulu. **Procedures...** Honolulu: American Society of Civil Engineers (ASCE), 2008.

_____. Impacts of the Upstream Storage Reservoirs on Itaipu Hydropower Plant Operation. In: WORLD ENVIRONMENTAL & WATER RESOURCES CONGRESS, 2009, Kansas City. **Procedures...** Kansas City: ASCE, 2009.

BRANDÃO, J.L.B. **Modelo para operação de sistemas de reservatórios com usos múltiplos**. 2004. 160 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BRASIL. Decreto nº. 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>> Acesso em: 04 jun. 2006.

_____. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. São Paulo: Editora Escala, [2006].

_____. Lei Federal nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da CF, e altera o artigo 1º. da Lei 8.001 de 13.03.1990 que modificou a Lei 7.990, de 28.12.1989. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em: 04 jun. 2006.

_____. Ministério de Minas e Energia (MME). Portaria nº. 258, de 28 de julho de 2008. Define a metodologia de cálculo da garantia física de novos empreendimentos de geração de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional - SIN, conforme metodologia constante do Anexo I. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>> Acesso em: 04 dez. 2011.

_____. _____. **Plano Nacional de Expansão de Energia 2019**. Brasília: MME/EPE, 2010. 2 v.

_____. _____. **Resenha Energética Brasileira: Exercício de 2010 (Preliminar)**. Brasília: 2011. Disponível em: <<http://www.portalpch.com.br>> Acesso em: 19 jul. 2011.

BURTON, R. **Viagem de canoa de Sabará ao Oceano Atlântico**. Tradução de David Jardim Júnior. Belo Horizonte: Ed. Itatiaia; São Paulo: EDUSP, 1977. 359 p.

CABRAL, B.; KELMAN, J. **Quem é responsável pela administração dos rios?** Revista Justiça e Cidadania, Rio de Janeiro, nº. 36, jul. 2003. Disponível em: <<http://www.kelman.com.br>> Acesso em: 04 jun. 2006.

CBHSF – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Disponível em: <<http://www.saofrancisco.cbh.gov.br>> Acesso em: 25 mar. 2011.

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Deck de Preços**. 2011. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/StaticFile/Arquivo/biblioteca_virtual/NW201101.zip> Acesso em: 03 mai. 2012.

_____. **Deck de Preços**. 2012. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/StaticFile/Arquivo/biblioteca_virtual/NW201205.zip> Acesso em: 03 mai. 2012.

_____. **Comercialização de Energia: Preços**. 2012a. Disponível em: <<http://www.ccee.org.br>> Acesso em: 27 mai. 2012.

CEPEL – Centro de Pesquisa de Energia Elétrica. **Manual de referência: modelo NEWAVE**. Disponível em: <<http://www.cose.fee.unicamp.br>> Acesso em: 11 fev. 2011.

CHESF – Companhia Hidro Elétrica do São Francisco. **Demonstrações Financeiras 2011**. [S.l.]: 2012. Disponível em: <http://www.chesf.gov.br/portal/page/portal/chesf_portal/conteudos_portal/docs/CHESF___Demonstracoes_Financeiras_2011x.pdf> Acesso em: 02 mai. 2012.

CIRILO, J.A. Programação Não Linear Aplicada a Recursos Hídricos. In: PORTO, R.L.L. (Org.). **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2002. p. 305-359.

CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br>> Acesso em: 25 mar. 2011.

DESO – Companhia de Saneamento de Sergipe. **Adutora do São Francisco - Deso**. Disponível em: <<http://www.deso-se.com.br>> Acesso em: 30 mar. 2011.

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT)**. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com>> Acesso em: 30 mar. 2011.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2007**: Ano base 2006. Rio de Janeiro: EPE, 2007. 60 p.

_____. **Balanco Energético Nacional 2010**: Ano base 2009. Rio de Janeiro: 2010. 276 p.

KELMAN, J. et al. Hidreletricidade. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Org.). **Águas Doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 3ª. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. cap. 16, p. 507-543.

LABADIE, J.W. Optimal Operation of Multireservoir Systems: State-of-the-Art Review. ASCE: Journal of Water Resources Planning and Management, v.130, n.2, p. 93-111, março/abril 2004.

LOPES, J.E.G. **Otimização de Sistemas Hidroenergéticos**. 2001. 85 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

_____. **Modelo de planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos de produção de energia elétrica**. 2007. 141 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MENDES, L.A. **Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência**. 2007. 187 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MINAS GERAIS. Assembleia Legislativa. **Rio São Francisco**: patrimônio cultural e natural. Belo Horizonte: ALMG, 2003. 182 p.

MOLION, L.C.B. Águas do Tocantins para o São Francisco. **Ciência Hoje**, v.33, n.197, p. 58-61, fev. 2003. Disponível em: <<http://www.sfrancisco.bio.br/arquivos/Molion%20LCB001.pdf>> Acesso em: 30 mar. 2011.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Evaporações líquidas nas usinas hidrelétricas**. Rio de Janeiro: 2004. 61 p. (Relatório RE 3/214/2004)

ONS. **Glossário de termos técnicos**. Rio de Janeiro: 2009. 46 p. (Procedimentos de Rede - Submódulo 20.1)

_____. **Curva bianual de aversão ao risco para a Região Nordeste**: biênio 2011/2012. Rio de Janeiro: 2010. 16 p. (Nota Técnica NT 128/2010)

_____. **Diretrizes para as regras de operação de controle de cheias**: bacia do rio São Francisco (ciclo 2010-2011). Rio de Janeiro: 2010a. 164 p. (Relatório RE 3/175/2010)

_____. **Inventário das restrições operativas hidráulicas dos aproveitamentos hidrelétricos**. Revisão 1. Rio de Janeiro: 2011. 149 p. (Relatório RE 3/039/2011)

_____. **Série de vazões naturais médias mensais**. 2011a. Disponível em: <http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx> Acesso em: 01 fev. 2011.

_____. **Diagrama Esquemático das Usinas Hidrelétricas do SIN**. 2011b. Disponível em: <http://www.ons.org.br/conheca_sistema/mapas_sin.aspx#> Acesso em: 25 mai 2011.

ROBERTO, A.N.; PORTO, R.L.L. Alocação de água entre múltiplos usos em uma bacia hidrográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1999, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 1999.

SCHARDONG, A. et al. Aplicação de técnicas de programação linear e extensões para otimização da alocação da água em sistemas de recursos hídricos considerando amortecimento em canais. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 1., 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABRH, 2006.

SERGIPE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Gestão Integrada das Águas Urbanas em Aracaju-SE/Brasil**: Relatório do Diagnóstico Qualitativo. Aracaju: 2010. 54 p.

UFBA – Universidade Federal da Bahia. **Regime de vazões ecológicas como condicionantes da cadeia produtiva: um estudo de cenários no baixo curso do rio São Francisco - Relatório Final**. Salvador: 2010. 342 p.

ZAMBON, R.C. **Planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos de grande porte**. 2008. 104 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

ZAMBON, R.C. et al. Economical Impacts on the Brazilian Hydrothermal System Production due to the Newly Imposed Constraints on Storage Reservoirs. In: WORLD ENVIRONMENTAL & WATER RESOURCES CONGRESS, 2010, Providence. **Procedures...** Providence: ASCE, 2010.

_____. Planning Operation of Large-Scale Hydrothermal System. In: WORLD ENVIRONMENTAL & WATER RESOURCES CONGRESS, 2011, Palm Springs. **Procedures...** Palm Springs: ASCE, 2011.

REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES

ANA. Resolução nº. 131, de 11 de março de 2003. Dispõe sobre procedimentos referentes à emissão de declaração de reserva de disponibilidade hídrica e de outorga de direito de uso de recursos hídricos, para uso de potencial de energia hidráulica superior a 1 MW em corpo de água de domínio da União e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>> Acesso em: 07 jan. 2008.

ANEEL. **Compensação financeira pela utilização de recursos hídricos.** Disponível em: <<http://www.aneel.com.br>> Acesso em: 07 jan. 2008.

BRASIL. Lei Federal nº. 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Institui, para os Estados, Distrito Federal e Municípios, compensação financeira pelo resultado da exploração de petróleo ou gás natural, de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica, de recursos minerais em seus respectivos territórios, plataforma continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.lei.adv.br>> Acesso em: 07 jan. 2008.

_____. Lei Federal nº. 8.001, de 13 de março de 1990. Define os percentuais da distribuição da compensação financeira de que trata a Lei 7.990 de 28.12.1989 e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.lei.adv.br>> Acesso em: 07 jan.2008.

_____. Decreto nº.1, de 11 de janeiro de 1991. Regulamenta o pagamento da compensação financeira instituída pela Lei 7.990 de 28.12.1989 e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>> Acesso em: 07 jan. 2008.

_____. Lei Federal nº. 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>> Acesso em: 04 jun. 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Plano Nacional de Recursos Hídricos – Síntese Executiva**. Brasília: MMA, 2006. 135 p.

HENKES, S.L. Histórico legal e institucional dos recursos hídricos no Brasil. Jus Navigandi. Teresina, a. 7, n. 66, jun. 2003. Disponível em: <<http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=4146>> Acesso em: 04 jun. 2006.

LANNA, A.E. Gestão dos recursos hídricos. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 1993. p. 727-768.

OLIVE, D.J. **Applied Robust Statistics**. Carbondale: Southern Illinois University, 2008. 588 p. Disponível em: < <http://www.math.siu.edu/olive/ol-bookp.htm> > Acesso em: 28 jul. 2010.

SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. **Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais**. Viçosa-MG: Ed. Folha de Viçosa, 2000. 659p.

APÊNDICE

Código do modelo HIDRO em linguagem GAMS

Código do modelo HIDRO com a operação da transposição do São Francisco

```
$ontext
HidroTerm 1.00 - HydroThermal Power System Optimization
Project: Tese1 - 15/10/2011, modelo GAMS-HIDRO
```

```
n1 : 155 - RETIRO BAIXO
n2 : 156 - TRES MARIAS
n3 : 162 - QUEIMADO
n4 : 169 - SOBRADINHO
n5 : 172 - ITAPARICA
n6 : 176 - COMP PAF-MOX
n7 : 178 - XINGO
```

```
$offtext
$offlisting
$onempty
```

```
Option limrow = 0
      limcol = 0;
```

```
Set    j    intervalos de tempo / i0*i84 /
      i(j) intervalos de tempo / i1*i84 /
      ii(i) intervalo inicial / i1 /
      m    usinas      / n0*n7 /
      n(m) usinas      / n1*n7 /
      p    polinomios   / p0*p4 /
      k    subsistemas  / k1 /
      nr(n) reservacao  / n1,n2,n3,n4,n5 /
      nf(n) fi dagua    / n6,n7 /
```

```
* nf=2, nr=5
```

```
;
```

```
Parameter dt(i) duracao dos intervalos em 10e6 s
```

```
 / i1 2.592
   i2 2.678
   i3 2.592
   i4 2.678
   i5 2.678
   i6 2.592
   i7 2.678
   i8 2.592
   i9 2.678
  i10 2.678
  i11 2.419
  i12 2.678
  i13 2.592
  i14 2.678
  i15 2.592
  i16 2.678
  i17 2.678
  i18 2.592
  i19 2.678
  i20 2.592
  i21 2.678
  i22 2.678
  i23 2.506
  i24 2.678
  i25 2.592
  i26 2.678
  i27 2.592
  i28 2.678
  i29 2.678
  i30 2.592
  i31 2.678
  i32 2.592
  i33 2.678
  i34 2.678
  i35 2.419
  i36 2.678
  i37 2.592
  i38 2.678
  i39 2.592
  i40 2.678
  i41 2.678
  i42 2.592
```


40.1,46.5,57.6,68.5,69.3,70.4,40.9,57.1,45.7,17.9,47.9,49.1,40.1,46.5,57.6,68.5,69.3,70.4,40.9,57.1,45.7,17.9,47.9,49.1,40.1,4
 6.5,57.6,68.5,69.3,70.4,40.9,57.1,45.7,17.9
 n6,2,2,2,1,1,4,1,3,1,9,2,7,2,6,2,9,1,8,2,6,2,2,1,2,2,2,1,1,4,1,3,1,9,2,7,2,6,2,9,1,8,2,6,
 2,2,1,2,2,2,1,1,4,1,3,1,9,2,7,2,6,2,9,1,8,2,6,2,2,1,2,2,2,1,1,4,1,3,1,9,2,7,2,6,2,9,1,8,2,6,2,2,1,2,2,2,1,1,4,1,3,1,9,2,7,2,6,2,9,1,8,2,
 6,2,2,1,2,2,2,1,1,4,1,3,1,9,2,7,2,6,2,9,1,8,2,6,2,2,1
 n7,0,3,0,3,0,2,0,2,0,2,0,3,0,3,0,4,0,3,0,3,0,3,0,2,0,3,0,3,0,4,0,3,0,3,0,3,0,2,0,3,0,3,0,2,0,2,0,3,0,3,0,4,0,3,
 0,3,0,3,0,2,0,3,0,3,0,2,0,2,0,3,0,3,0,4,0,3,0,3,0,3,0,2,0,3,0,3,0,2,0,2,0,3,0,3,0,2,0,2,0,2,0,3,0,3,
 0,4,0,3,0,3,0,3,0,2,0,3,0,3,0,2,0,2,0,3,0,3,0,4,0,3,0,3,0,3,0,2,0,3,0,3,0,2,0,2,0,2,0,3,0,3
 \$offdelim

Table QI(n,i) vazao afluente

\$ondelim

n,i1,i2,i3,i4,i5,i6,i7,i8,i9,i10,i11,i12,i13,i14,i15,i16,i17,i18,i19,i20,i21,i22,i23,i24,i25,i26,i27,i28,i29,i30,i31,i32,i33,i34,i35,i36,i37,i3
 8,i39,i40,i41,i42,i43,i44,i45,i46,i47,i48,i49,i50,i51,i52,i53,i54,i55,i56,i57,i58,i59,i60,i61,i62,i63,i64,i65,i66,i67,i68,i69,i70,i71,i72,i7
 3,i74,i75,i76,i77,i78,i79,i80,i81,i82,i83,i84
 n1,116,92,109,68,68,42,72,151,153,207,103,289,117,84,58,50,42,40,49,110,157,255,380,242,140,89,71,59,50,73,48,140,252,
 166,68,98,46,39,38,32,32,34,51,94,183,292,361,200,100,76,58,51,42,55,38,101,245,502,269,224,131,80,65,58,53,44,38,65,16
 3,350,284,231,208,129,89,79,62,42,47,50,218,340,263,384
 n2,511,457,379,256,248,196,262,681,698,907,600,1637,533,343,216,193,106,104,133,608,759,1069,2131,1451,688,419,310,
 239,166,240,112,570,915,741,322,445,215,158,138,117,111,119,199,428,796,1329,1808,961,428,304,233,187,112,159,86,34
 5,860,1656,1178,883,488,327,249,218,169,151,101,220,718,1288,1791,1838,1050,477,394,332,261,195,196,210,1009,1721,1
 247,1617
 n3,33,27,23,19,15,12,17,54,73,52,38,71,36,29,24,21,17,15,18,27,53,64,72,90,56,42,34,29,22,25,17,35,72,52,36,55,35,27,22,1
 7,14,13,16,45,46,61,62,48,41,29,24,20,15,14,9,18,37,52,41,54,57,37,27,21,19,19,15,21,25,78,167,126,115,76,59,47,43,37,35,
 38,55,53,82,129
 n4,1536,1122,950,838,751,620,704,1994,3241,3013,1827,4212,2245,1201,874,787,663,695,570,1601,2990,4169,5271,4455,3
 316,1730,1188,930,923,918,703,1823,3655,3158,1695,1719,1096,845,824,645,632,659,714,1201,2187,4440,4761,3516,2234,
 1074,883,851,644,506,665,936,1871,4118,4387,2737,2604,1374,983,890,747,680,506,843,1611,3233,5002,6786,5329,2737,1
 493,1304,1010,899,889,1063,1841,4123,4915,4807
 n5,1636,1226,974,839,785,660,684,1852,3209,3166,1922,4005,2595,1329,914,797,689,793,597,1516,3186,4332,5182,4516,3
 676,1828,1231,960,1011,936,806,1717,3668,3465,1803,1795,1326,847,836,680,631,657,750,1156,2171,5244,4766,3671,236
 2,1110,894,847,662,501,672,909,1783,4087,4574,2720,2712,1406,998,896,755,687,507,823,1582,3017,4910,6771,5422,2941
 ,1526,1316,1027,905,883,1044,1734,4052,4988,4912
 n6,1686,1252,983,851,787,719,709,1842,3204,3196,1957,3892,2714,1336,933,797,697,782,619,1479,3223,4364,5092,4530,3
 789,1855,1243,964,1018,934,852,1653,3616,3553,1826,1767,1377,862,850,685,631,668,737,1135,2147,5244,4766,3671,236
 2,1110,894,847,662,501,672,909,1783,4087,4574,2720,2712,1406,998,896,755,687,507,823,1582,3017,4910,6771,5422,2941
 ,1526,1316,1027,905,883,1044,1734,4052,4988,4912
 n7,1686,1252,983,851,787,719,710,1843,3204,3196,1957,3892,2714,1336,933,797,697,782,619,1480,3224,4364,5092,4530,3
 789,1855,1243,964,1018,934,852,1654,3616,3553,1826,1767,1377,862,850,685,631,668,737,1135,2147,5244,4766,3671,236
 2,1110,894,847,662,501,672,909,1783,4087,4574,2720,2712,1406,998,896,755,687,507,823,1582,3017,4910,6771,5422,2941
 ,1526,1316,1027,905,883,1044,1734,4052,4988,4912
 \$offdelim

Table Ev(n,i) evaporacao

\$ondelim

n,i1,i2,i3,i4,i5,i6,i7,i8,i9,i10,i11,i12,i13,i14,i15,i16,i17,i18,i19,i20,i21,i22,i23,i24,i25,i26,i27,i28,i29,i30,i31,i32,i33,i34,i35,i36,i37,i3
 8,i39,i40,i41,i42,i43,i44,i45,i46,i47,i48,i49,i50,i51,i52,i53,i54,i55,i56,i57,i58,i59,i60,i61,i62,i63,i64,i65,i66,i67,i68,i69,i70,i71,i72,i7
 3,i74,i75,i76,i77,i78,i79,i80,i81,i82,i83,i84
 n1,0.03,0.045,0.049,0.069,0.083,0.06,0.03,0.001,-0.012,-0.021,-0.014,0.009,0.03,0.045,0.049,0.069,0.083,0.06,0.03,0.001,-
 0.012,-0.021,-0.014,0.009,0.03,0.045,0.049,0.069,0.083,0.06,0.03,0.001,-0.012,-0.021,-
 0.014,0.009,0.03,0.045,0.049,0.069,0.083,0.06,0.03,0.001,-0.012,-0.021,-
 0.014,0.009,0.03,0.045,0.049,0.069,0.083,0.06,0.03,0.001,-0.012,-0.021,-
 0.014,0.009,0.03,0.045,0.049,0.069,0.083,0.06,0.03,0.001,-0.012,-0.021,-
 0.014,0.009,0.03,0.045,0.049,0.069,0.083,0.06,0.03,0.001,-0.012,-0.021,-0.014,0.009
 n2,0.047,0.061,0.061,0.058,0.049,0.049,0.035,0.021,0.022,-0.001,-
 0.002,0.028,0.047,0.061,0.061,0.058,0.049,0.049,0.035,0.021,0.022,-0.001,-
 0.002,0.028,0.047,0.061,0.061,0.058,0.049,0.049,0.035,0.021,0.022,-0.001,-
 0.002,0.028,0.047,0.061,0.061,0.058,0.049,0.049,0.035,0.021,0.022,-0.001,-
 0.002,0.028,0.047,0.061,0.061,0.058,0.049,0.049,0.035,0.021,0.022,-0.001,-
 0.002,0.028,0.047,0.061,0.061,0.058,0.049,0.049,0.035,0.021,0.022,-0.001,-
 0.002,0.028,0.047,0.061,0.061,0.058,0.049,0.049,0.035,0.021,0.022,-0.001,-0.002,0.028
 n3,0.033,0.059,0.07,0.077,0.079,0.08,0.051,0.017,0.051,0.021,0.004,0.021,0.033,0.059,0.07,0.077,0.079,0.08,0.051,0.017,0.051,0.021,0.004,0.021,0.033,0.059,0.07,0.077,0.079,0.
 51,0.021,0.004,0.021,0.033,0.059,0.07,0.077,0.079,0.08,0.051,0.017,0.051,0.021,0.004,0.021,0.033,0.059,0.07,0.077,0.079,0.
 08,0.051,0.017,0.051,0.021,0.004,0.021,0.033,0.059,0.07,0.077,0.079,0.08,0.051,0.017,0.051,0.021,0.004,0.021,0.033,0.059,0.
 07,0.077,0.079,0.08,0.051,0.017,0.051,0.021,0.004,0.021,0.033,0.059,0.07,0.077,0.079,0.08,0.051,0.017,0.051,0.021,0.004,0.
 021
 n4,0.056,0.108,0.104,0.165,0.203,0.234,0.267,0.245,0.223,0.171,0.109,0.061,0.056,0.108,0.104,0.165,0.203,0.234,0.267,0.24
 5,0.223,0.171,0.109,0.061,0.056,0.108,0.104,0.165,0.203,0.234,0.267,0.245,0.223,0.171,0.109,0.061,0.056,0.108,0.104,0.165,
 0.203,0.234,0.267,0.245,0.223,0.171,0.109,0.061,0.056,0.108,0.104,0.165,0.203,0.234,0.267,0.245,0.223,0.171,0.109,0.061,0.
 056,0.108,0.104,0.165,0.203,0.234,0.267,0.245,0.223,0.171,0.109,0.061,0.056,0.108,0.104,0.165,0.203,0.234,0.267,0.245,0.2
 23,0.171,0.109,0.061
 n5,0.035,0.055,0.041,0.081,0.138,0.19,0.227,0.235,0.202,0.163,0.088,0.047,0.035,0.055,0.041,0.081,0.138,0.19,0.227,0.235,0.
 202,0.163,0.088,0.047,0.035,0.055,0.041,0.081,0.138,0.19,0.227,0.235,0.202,0.163,0.088,0.047,0.035,0.055,0.041,0.081,0.13
 8,0.19,0.227,0.235,0.202,0.163,0.088,0.047,0.035,0.055,0.041,0.081,0.138,0.19,0.227,0.235,0.202,0.163,0.088,0.047,0.035,0.
 055,0.041,0.081,0.138,0.19,0.227,0.235,0.202,0.163,0.088,0.047,0.035,0.055,0.041,0.081,0.138,0.19,0.227,0.235,0.202,0.163,
 0.088,0.047

39.631,957.558,1007.026,918.387,833.948,1633.689,3599.936,3540.037,1818.252,1763.262,1374.124,857.626,846.631,678.5
58,620.026,652.387,718.948,1115.689,2130.936,3718.343,3718.343,3667.262,2359.124,1105.626,890.631,840.558,651.026,4
85.387,653.948,889.689,1766.936,3718.343,3718.343,2716.262,2709.124,1401.626,994.631,889.558,744.026,671.387,488.94
8,803.689,1565.936,3004.037,3718.343,3718.343,3718.343,2936.626,1522.631,1309.558,1016.026,889.387,864.948,1024.68
9,1717.936,3718.343,3718.343,3718.343
n7,1570.18,1052.961,788.621,562.532,426.013,279.839,230.585,1382.861,2763.105,2764.912,1750.289,2782.217,2598.18,11
36.961,738.621,508.532,336.013,342.839,139.585,1019.861,2763.509,2787.907,2803.456,2794.947,2780.17,1655.961,1048.6
21,675.532,657.013,494.839,372.585,1193.861,2771.195,2771.878,1619.289,1651.177,1261.18,662.961,655.621,396.532,270
0.13,228.839,257.585,674.861,1744.626,2804.175,2797.711,2777.842,2246.18,910.961,699.621,558.532,301.013,61.839,192.
585,448.861,1380.626,2782.35,2794.033,2604.177,2596.18,1206.961,803.621,607.532,394.013,247.839,27.585,362.861,1179
.626,2712.867,2800.446,2782.612,2808.451,2741.961,1331.621,1027.532,666.013,465.839,403.585,583.861,1331.626,2781.6
53,2801.661,2801.91
\$offdelim

Table Rvini(n,i) vazao vertida inicial

[illegible]

Table Sini(n,j) armazenamento inicial

[illegible]

[illegible]

Table UCini(n,i) uso consuntivo inicial

[illegible]

Table DEini(n,i) desvio de transposicao inicial

[illegible]

Table pvini(m,i) fracao do vertimento para transposicao

[illegible]

n2 19528
 n3 557
 n4 34116
 n5 10782
 n6 1226
 n7 3800 /

Parameter SSend(n) armazenamento final

/ n1 241.59
 n2 18837.43
 n3 485.84
 n4 27751.48
 n5 9071.86
 n6 1226
 n7 3800 /

Parameter Rtmin(n) limite de turbinamento
 *limite de vazao minima jusante das usinas

/ n1 27.67
 n2 500
 n3 8.8
 n4 1300
 n5 1300
 n6 1300
 n7 1300 /

Parameter Rtmax(n) limite de turbinamento

/ n1 238.1192656896
 n2 815.2588694712
 n3 60.3581901696
 n4 4011.599151936
 n5 3091.947670974
 n6 3741.2783470587
 n7 2856.8045941728 /

Parameter Pmax(n) limite de potencia

*Considerado igual à demanda máxima

/ n1 38.5
 n2 239
 n3 58
 n4 531
 n5 959
 n6 2225
 n7 2139 /

Parameter nn(n) produtividade especifica

/ n1 0.008755
 n2 0.008564
 n3 0.008829
 n4 0.009023
 n5 0.008931
 n6 0.009035
 n7 0.009119 /

Parameter Af(nf) area

/ n6 213
 n7 60 /

Parameter Hf(nf) cota do reservatorio

/ n6 251.5
 n7 138 /

Parameter DEmin(n) limite do desvio de transposicao

/ n1 0
 n2 0
 n3 0
 n4 0
 n5 26.4
 n6 0
 n7 0 /

Parameter DEmax(n) limite do desvio de transposicao

/ n1 0
 n2 0
 n3 0
 n4 0
 n5 114.3

n6 0
n7 0 /

Parameter pvmin(m) porcentagem do vertimento para transposicao

/ n0 0
n1 0
n2 0
n3 0
n4 0
n5 0
n6 0
n7 0 /

Positive Variable

Rt(n,i) vazao turbinada
Rv(n,i) vazao vertida
R(n,i) vazao total
S(nr,j) volume
Hr(nr,j) cota no reservatorio
Ht(n,i) cota no canal de fuga
Hg(n,i) queda
Ar(nr,j) area
pv(m,i) percent de vertimento na defluencia
Pot(n,i) potencia
UC (n,i) vazao para uso consuntivo
hdp(n,i) deficit hidrico percentual

Variable

DE(n,i) desvio de transposicao
edp(k,i) deficit percentual de energia
Z objetivo

;

* Limites

Rt.lo(n,i) = Rtmin(n);
Rt.up(n,i) = Rtmax(n);
R.lo(n,i) = Rtmin(n);
S.lo(nr,i) = SSmin(nr);
S.up(nr,i) = SSmin(nr)+(SSmax(nr)-SSmin(nr))*FC(nr,i);
S.fx(nr,"i0") = Sini(nr,"i0");
S.fx(nr,"i84") = SSend(nr);
DE.lo(n,i) = DEmin(n);
DE.up(n,i) = DEmax(n);
pv.lo(m,i) = pvmin(m);
Pot.up(n,i) = Pmax(n);
UC.up(n,i) = DH(n,i);

* Solucao inicial

S.l(nr,j) = Sini(nr,j);
Hr.l(nr,j) = a(nr,"p0")+S.l(nr,j)*(a(nr,"p1")+S.l(nr,j)*(a(nr,"p2")+S.l(nr,j)*(a(nr,"p3")+S.l(nr,j)*a(nr,"p4"))));
Ar.l(nr,j) = c(nr,"p0")+Hr.l(nr,j)*(c(nr,"p1")+Hr.l(nr,j)*(c(nr,"p2")+Hr.l(nr,j)*(c(nr,"p3")+Hr.l(nr,j)*c(nr,"p4"))));
Rt.l(n,i) = Rtini(n,i);
Rv.l(n,i) = Rvini(n,i);
R.l(n,i) = Rtini(n,i)+Rvini(n,i);
Ht.l(n,i) = b(n,"p0")+R.l(n,i)*(b(n,"p1")+R.l(n,i)*(b(n,"p2")+R.l(n,i)*(b(n,"p3")+R.l(n,i)*b(n,"p4"))));
Hg.l(nr,i) = (Hr.l(nr,i-1)+Hr.l(nr,"i0"))\$ii(i)+Hr.l(nr,i)*0.5-Ht.l(nr,i);
Hg.l(nf,i) = Hf(nf)-Ht.l(nf,i);
DE.l(n,i) = DEini(n,i);
pv.l(m,i) = pvini(m,i);
Pot.l(n,i) = nn(n)*Hg.l(n,i)*Rt.l(n,i);
UC.l(n,i) = UCini(n,i);
edp.l(k,i) = edpini(k,i);
hdp.l(n,i) = hdpini(n,i);

Equation

C1(i) continuidade
C2(i) continuidade
C3(i) continuidade
C4(i) continuidade
C5(i) continuidade
C6(i) continuidade
C7(i) continuidade
QQ(n,i) vazao
CV(nr,j) cota no reservatorio
CT(n,i) cota no canal de fuga
CQR(nr,i) queda
CQf(nf,i) queda
AA(nr,j) area

```

DESV(n,i) transposicao
QUC1(n,i) derivacao consuntiva minima
QUC2(n,i) derivacao consuntiva minima
QUC3(n,i) derivacao consuntiva minima
QUC4(n,i) derivacao consuntiva minima
QUC5(n,i) derivacao consuntiva minima
QUC6(n,i) derivacao consuntiva minima
QUC7(n,i) derivacao consuntiva minima
GERA(n,i) potencia
AE(k,i) adimensional
AUC(n,i) adimensional
OBJ objetivo
;
C1(i).. S("n1",i) =e= S("n1",i-1)+S("n1","i0")$ii(i) + dt(i)*(
+Ql("n1",i)-R("n1",i)-UC("n1",i)-DE("n1",i) )
-Ev("n1",i)*(Ar("n1",i-1)+Ar("n1","i0")$ii(i));
C2(i).. S("n2",i) =e= S("n2",i-1)+S("n2","i0")$ii(i) + dt(i)*(
-Ql("n1",i)+R("n1",i)
+Ql("n2",i)-R("n2",i)-UC("n2",i)-DE("n2",i) )
-Ev("n2",i)*(Ar("n2",i-1)+Ar("n2","i0")$ii(i));
C3(i).. S("n3",i) =e= S("n3",i-1)+S("n3","i0")$ii(i) + dt(i)*(
+Ql("n3",i)-R("n3",i)-UC("n3",i)-DE("n3",i) )
-Ev("n3",i)*(Ar("n3",i-1)+Ar("n3","i0")$ii(i));
C4(i).. S("n4",i) =e= S("n4",i-1)+S("n4","i0")$ii(i) + dt(i)*(
-Ql("n2",i)+R("n2",i)
-Ql("n3",i)+R("n3",i)
+Ql("n4",i)-R("n4",i)-UC("n4",i)-DE("n4",i) )
-Ev("n4",i)*(Ar("n4",i-1)+Ar("n4","i0")$ii(i));
C5(i).. S("n5",i) =e= S("n5",i-1)+S("n5","i0")$ii(i) + dt(i)*(
-Ql("n4",i)+R("n4",i)
+Ql("n5",i)-R("n5",i)-UC("n5",i)-DE("n5",i) )
-Ev("n5",i)*(Ar("n5",i-1)+Ar("n5","i0")$ii(i));
C6(i).. 0 =e= dt(i)*(
-Ql("n5",i)+R("n5",i)
+Ql("n6",i)-R("n6",i)-UC("n6",i)-DE("n6",i) )
-Ev("n6",i)*Af("n6");
C7(i).. 0 =e= dt(i)*(
-Ql("n6",i)+R("n6",i)
+Ql("n7",i)-R("n7",i)-UC("n7",i)-DE("n7",i) )
-Ev("n7",i)*Af("n7");

QQ(n,i).. R(n,i) =e= Rt(n,i)+Rv(n,i);

DESV(n,i).. DE(n,i) =e= DEmin(n)+ pv(n-1,i)*Rv(n-1,i)*DEmin(n)/DEmin("n5");

CV(nr,j).. Hr(nr,j) =e= a(nr,"p0")+S(nr,j)*(a(nr,"p1")+S(nr,j)*(a(nr,"p2")+S(nr,j)*(a(nr,"p3")+S(nr,j)*a(nr,"p4"))));
CT(n,i).. Ht(n,i) =e= b(n,"p0")+R(n,i)*(b(n,"p1")+R(n,i)*(b(n,"p2")+R(n,i)*(b(n,"p3")+R(n,i)*b(n,"p4"))));
CQr(nr,i).. Hg(nr,i) =e= (Hr(nr,i-1)+Hr(nr,"i0")$ii(i)+Hr(nr,i))*0.5-Ht(nr,i);
CQf(nf,i).. Hg(nf,i) =e= Hf(nf)-Ht(nf,i);

AA(nr,j).. Ar(nr,j) =e= c(nr,"p0")+S(nr,j)*(c(nr,"p1")+S(nr,j)*c(nr,"p2"));

*QUC usos prioritários segundo ONS
QUC1(n,i).. UC("n1",i) =g= 0.59*DH("n1",i);
QUC2(n,i).. UC("n2",i) =g= 0.43*DH("n2",i);
QUC3(n,i).. UC("n3",i) =g= 0.09*DH("n3",i);
QUC4(n,i).. UC("n4",i) =g= 0.12*DH("n4",i);
QUC5(n,i).. UC("n5",i) =g= 0.03*DH("n5",i);
QUC6(n,i).. UC("n6",i) =g= 0.03*DH("n6",i);
QUC7(n,i).. UC("n7",i) =g= 0.46*DH("n7",i);

GERA(n,i).. Pot(n,i) =e= nn(n)*Hg(n,i)*Rt(n,i);

AE(k,i).. edp(k,i) =e= ( DD(k,i)-sum(n, Pot(n,i)) )/DD(k,i);

AUC(n,i).. hdp(n,i) =e= ( DH(n,i)-UC(n,i) )/DH(n,i);

OBJ.. Z =e= sum(i, ( 0.5*sqr( sum(k, edp(k,i)) ) + 0.5*sqr( sum(n, hdp(n,i)) ) ));

Model                                HIDRO
C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,QQ,CV,CT,CQr,CQf,AA,DESV,QUC1,QUC2,QUC3,QUC4,QUC5,QUC6,QUC7,GERA,AE,AUC,OBJ /;

Option NLP = MINOS;

HIDRO.nodlim = 10000;
HIDRO.workspace = 200;
HIDRO.optfile = 1;

```

```

file opt /C:\Users\Ludmilson\Documents\gamsdir\projdir\minos.opt/
put opt;
put 'superbasics limit 7050' /;
put 'scale nonlinear variables' /;
put 'optimality tolerance 0.000001' /;
putclose;

```

```

Option reslim = 36000;
Option iterlim = 200000;

```

Solve HIDRO using NLP minimizing Z;

Código do modelo HIDRO sem a transposição do São Francisco

```

$ontext
HidroTerm 1.00 - HydroThermal Power System Optimization
Project: Tese1 - 15/10/2011, modelo GAMS-HIDRO

```

```

n1 : 155 - RETIRO BAIXO
n2 : 156 - TRES MARIAS
n3 : 162 - QUEIMADO
n4 : 169 - SOBRADINHO
n5 : 172 - ITAPARICA
n6 : 176 - COMP PAF-MOX
n7 : 178 - XINGO

```

```

$offtext
$offlisting
$onempty

```

```

Option limrow = 0
      limcol = 0;

```

```

Set    j    intervalos de tempo / i0*i84 /
      i(j) intervalos de tempo / i1*i84 /
      ii(i) intervalo inicial / i1 /
      m    usinas      / n0*n7 /
      n(m) usinas      / n1*n7 /
      p    polinomios  / p0*p4 /
      k    sistemas    / k1 /
      nr(n) reservacao / n1,n2,n3,n4,n5 /
      nf(n) fiodagua   / n6,n7 /

```

```
* nf=2, nr=5
```

```
;
```

```
Parameter dt(i) duracao dos intervalos em 10e6 s
```

```

/ i1 2.592
  i2 2.678
  i3 2.592
  i4 2.678
  i5 2.678
  i6 2.592
  i7 2.678
  i8 2.592
  i9 2.678
  i10 2.678
  i11 2.419
  i12 2.678
  i13 2.592
  i14 2.678
  i15 2.592
  i16 2.678
  i17 2.678
  i18 2.592
  i19 2.678
  i20 2.592
  i21 2.678
  i22 2.678
  i23 2.506
  i24 2.678
  i25 2.592
  i26 2.678

```


Table FC(n,i) controle de cheias

[illegible]

Table Rtini(n,i) vazao turbinada inicial

\$ondelim
n,i1,i2,i3,i4,i5,i6,i7,i8,i9,i10,i11,i12,i13,i14,i15,i16,i17,i18,i19,i20,i21,i22,i23,i24,i25,i26,i27,i28,i29,i30,i31,i32,i33,i34,i35,i36,i37,i38,i39,i40,i41,i42,i43,i44,i45,i46,i47,i48,i49,i50,i51,i52,i53,i54,i55,i56,i57,i58,i59,i60,i61,i62,i63,i64,i65,i66,i67,i68,i69,i70,i71,i72,i73,i74,i75,i76,i77,i78,i79,i80,i81,i82,i83,i84
n1,115.736,91.617,108.569,67.413,67.294,41.473,71.745,150.991,153.102,207.179,103.132,234.319,116.736,83.617,57.569,49.413,41.294,39.473,48.745,109.991,157.102,233.089,237.577,232.602,139.736,88.617,70.569,58.413,49.294,72.473,47.745,139.991,232.976,166.179,68.132,97.923,45.736,38.617,37.569,31.413,31.294,33.473,50.745,93.991,183.102,234.437,236.907,199.923,99.736,75.617,57.569,50.413,41.294,54.473,37.745,100.991,232.719,238.119,233.599,223.923,130.736,79.617,64.569,57.413,52.294,43.473,37.745,64.991,163.102,236.518,234.145,230.923,207.736,128.617,88.569,78.413,61.294,41.473,46.745,49.991,218.102,236.162,233.38,237.711
n2,491.267,432.164,353.301,232.162,227.651,175.175,247.714,672.292,689.283,718.437,601.019,728.501,513.267,318.164,190.301,169.162,85.651,83.175,118.714,599.292,715.977,720.868,734.632,726.063,668.267,394.164,284.301,215.162,145.651,219.175,97.714,561.292,718.417,715.838,323.019,433.699,195.267,133.164,112.301,93.162,90.651,98.175,184.714,419.292,716.565,724.567,730.801,719.079,408.267,279.164,207.301,163.162,91.651,138.175,71.714,336.292,717.568,728.895,722.455,717.885,468.267,302.164,223.301,194.162,148.651,130.175,86.714,211.292,709.283,724.730,592,731.018,720.288,452.164,368.301,308.162,240.651,174.175,181.714,201.292,719.841,729.716,723.433,728.244
n3,32.231,25.667,21.369,17.264,13.219,10.136,15.85,52.231,52.315,51.527,37.952,309.35,231.27,67,22.369,19.264,15.219,13.136,16.85,26.604,51.85,52.278,52.315,52.385,52.239,40.67,32.369,27.264,20.219,23.136,15.85,34.604,52.311,51.527,35.95,2.236,34.231,25.67,20.369,15.264,12.219,11.136,14.85,44.604,44.85,52.265,52.271,47.527,40.231,27.67,22.369,18.264,13.219,12.136,7.85,17.604,35.85,51.527,40.95,52.231,52.244,35.67,25.369,19.264,17.219,17.136,13.85,20.604,23.85,52.338,52.623,52.504,52.469,52.327,52.25,45.264,41.219,35.136,33.85,37.604,52.233,52.226,52.356,52.513

n4,1434.721,945.075,772.655,582.1,445.499,259.778,315.854,1631.496,2919.843,2774.404,1659.462,4011.599,2143.721,102
4.075.696,655,531.1,357.499,334.778,181.854,1238.496,2668.843,3930.404,4011.599,4011.599,3214.721,1553.075,1010.655
.674,1,617.499,557.778,314.854,1460.496,3333.843,2919.404,1527.462,1622.075,994.721,668.075,646.655,389.1,326.499,29
8.778,325.854,838.496,1865.843,4011.599,4011.599,3419.075,2132.721,897.075,705.655,595.1,338.499,145.778,276.854,57
3.496,1549.843,3879.404,4011.599,2640.075,2502.721,1197.075,805.655,634.1,441.499,319.778,117.854,480.496,1289.843
2994.404,4011.599,4011.599,4011.599,2560.075,1315.655,1048.1,704.499,538.778,500.854,700.496,1519.843,3884.404,401
1.599,4011.599
n5,1523.866,1032.567,783.939,558.789,438.079,240.851,227.722,1416.612,2827.215,2878.481,1725.22,3007.147,2482.866,1
135.567,723.939,516.789,342.079,373.851,140.722,1080.612,2804.215,3007.147,3007.147,3007.147,3007.147,1634.567,104
0.939,679.789,664.079,516.851,349.722,1281.612,3007.147,3007.147,1606.22,1683.968,1213.866,653.567,645.939,399.789,
284.079,237.851,293.722,720.612,1789.215,3007.147,3007.147,3007.147,2249.866,916.567,703.939,566.789,315.079,81.851
215.722,473.612,1401.215,3007.147,3007.147,2608.968,2599.866,1212.567,807.939,615.789,408.079,267.851,50.722,387.6
12,1200.215,2729.481,3007.147,3007.147,2747.567,1335.939,1035.789,680.079,485.851,426.722,608.612,1352.21
5,3007.147,3007.147,3007.147
n6,1683.124,1247.626,979.631,844.558,776.026,703.387,690.948,1822.689,3187.936,3183.307,1949.252,3718.343,2711.124,
1331.626,929.631,790.558,686.026,766.387,600.948,1459.689,3206.936,3718.343,3718.343,3718.343,3718.343,1850.626,12,
39.631,957.558,1007.026,918.387,833.948,1633.689,3599.936,3540.037,1818.252,1763.262,1374.124,857.626,846.631,678.5
58,620.026,652.387,718.948,1115.689,2130.936,3718.343,3718.343,3667.262,2359.124,1105.626,890.631,840.558,651.026,4
85.387,653.948,889.689,1766.936,3718.343,3718.343,2716.262,2709.124,1401.626,994.631,889.558,744.026,671.387,488.94
8,803.689,1565.936,3004.037,3718.343,3718.343,3718.343,2936.626,1522.631,1309.558,1016.026,889.387,864.948,1024.68
9,1717.367,3718.343,3718.343,3718.343
n7,1570.18,1052.961,788.621,562.532,426.013,279.839,230.585,1382.861,2763.105,2764.912,1750.289,2782.217,2598.18,11
36.961,738.621,508.532,336.013,342.839,139.585,1019.861,2763.509,2787.907,2803.456,2794.947,2780.17,1655.961,1048.6
21,675.532,657.013,494.839,372.585,1193.861,2771.195,2771.878,1619.289,1651.177,1261.18,662.961,655.621,396.532,270
0.13,228.839,257.585,674.861,1744.626,2804.175,2797.711,2777.842,2246.18,910.961,699.621,558.532,301.013,61.839,192.
585,448.861,1380.626,2782.35,2794.033,2604.177,2596.18,1206.961,803.621,607.532,394.013,247.839,27.585,362.861,1179
.626,2712.867,2800.446,2782.612,2808.451,2741.961,1331.621,1027.532,666.013,465.839,403.585,583.861,1331.626,2781.6
53,2801.661,2801.91
\$offdelim

Table Rvini(n,i) vazao vertida inicial

[illegible]

Table Sini(n,j) armazenamento inicial

[illegible]

[illegible]

Table UCini(n,i) uso consuntivo inicial

[illegible]

Table DEini(n,i) desvio de transposicao inicial

[illegible]

Table edpini(k,i) deficit de energia inicial

[illegible]

Parameter SSend(n) armazenamento final

/ n1 241.59
n2 18837.43
n3 485.84
n4 27751.48
n5 9071.86
n6 1226
n7 3800 /

Parameter Rtmin(n) limite de turbinamento

*limite de vazao minima jusante das usinas

/ n1 27.67
n2 500
n3 8.8
n4 1300
n5 1300
n6 1300
n7 1300 /

Parameter Rtmax(n) limite de turbinamento

/ n1 238.1192656896
n2 815.2588694712
n3 60.3581901696
n4 4011.599151936
n5 3091.947670974
n6 3741.2783470587
n7 2856.8045941728 /

Parameter Pmax(n) limite de potencia

*Considerado igual à demanda máxima

/ n1 38.5
n2 239
n3 58
n4 531
n5 959
n6 2225
n7 2139 /

Parameter nn(n) produtividade especifica

/ n1 0.008755
n2 0.008564
n3 0.008829
n4 0.009023
n5 0.008931
n6 0.009035
n7 0.009119 /

Parameter Af(nf) area

/ n6 213
n7 60 /

Parameter Hf(nf) cota do reservatorio

/ n6 251.5
n7 138 /

Parameter DEmin(n) limite do desvio de transposicao

/ n1 0
n2 0
n3 0
n4 0
n5 0
n6 0
n7 0 /

Positive Variable

Rt(n,i) vazao turbinada
Rv(n,i) vazao vertida
R(n,i) vazao total
S(nr,j) volume
Hr(nr,j) cota no reservatorio
Ht(n,i) cota no canal de fuga
Hg(n,i) queda
Ar(nr,j) area
Pot(n,i) potencia
UC (n,i) vazao para uso consuntivo
hdp(n,i) deficit hidrico percentual

Variable

DE(n,i) desvio de transposicao
edp(k,i) deficit percentual de energia
Z objetivo

;

* Limites

Rt.lo(n,i) = Rtmin(n);
Rt.up(n,i) = Rtmax(n);
R.lo(n,i) = Rtmin(n);
S.lo(nr,i) = SSmin(nr);
S.up(nr,i) = SSmin(nr)+(SSmax(nr)-SSmin(nr))*FC(nr,i);
S.fx(nr,"i0") = Sini(nr,"i0");
S.fx(nr,"i84") = SSend(nr);
DE.lo(n,i) = DEmin(n);
DE.up(n,i) = DEmin(n);
Pot.up(n,i) = Pmax(n);
UC.up(n,i) = DH(n,i);

* Solucao inicial

S.l(nr,j) = Sini(nr,j);
Hr.l(nr,j) = a(nr,"p0")+S.l(nr,j)*(a(nr,"p1")+S.l(nr,j)*(a(nr,"p2")+S.l(nr,j)*(a(nr,"p3")+S.l(nr,j)*a(nr,"p4"))));
Ar.l(nr,j) = c(nr,"p0")+Hr.l(nr,j)*(c(nr,"p1")+Hr.l(nr,j)*(c(nr,"p2")+Hr.l(nr,j)*(c(nr,"p3")+Hr.l(nr,j)*c(nr,"p4"))));
Rt.l(n,i) = Rtini(n,i);
Rv.l(n,i) = Rvini(n,i);
R.l(n,i) = Rtini(n,i)+Rvini(n,i);
Ht.l(n,i) = b(n,"p0")+R.l(n,i)*(b(n,"p1")+R.l(n,i)*(b(n,"p2")+R.l(n,i)*(b(n,"p3")+R.l(n,i)*b(n,"p4"))));
Hg.l(nr,i) = (Hr.l(nr,i-1)+Hr.l(nr,"i0"))\$ii(i)+Hr.l(nr,i)*0.5-Ht.l(nr,i);
Hg.l(nf,i) = Hf(nf)-Ht.l(nf,i);
DE.l(n,i) = DEini(n,i);
Pot.l(n,i) = nn(n)*Hg.l(n,i)*Rt.l(n,i);
UC.l(n,i) = UCini(n,i);
edp.l(k,i) = edpini(k,i);
hdp.l(n,i) = hdpini(n,i);

Equation

C1(i) continuidade
C2(i) continuidade
C3(i) continuidade
C4(i) continuidade
C5(i) continuidade
C6(i) continuidade
C7(i) continuidade
QQ(n,i) vazao
CV(nr,j) cota no reservatorio
CT(n,i) cota no canal de fuga
CQR(nr,i) queda
CQf(nf,i) queda
AA(nr,j) area
DESV(n,i) transposicao
QUC1(n,i) derivacao consuntiva minima
QUC2(n,i) derivacao consuntiva minima
QUC3(n,i) derivacao consuntiva minima
QUC4(n,i) derivacao consuntiva minima
QUC5(n,i) derivacao consuntiva minima
QUC6(n,i) derivacao consuntiva minima
QUC7(n,i) derivacao consuntiva minima
GERA(n,i) potencia
AE(k,i) adimensional
AUC(n,i) adimensional
OBJ objetivo

;

C1(i).. S("n1",i) =e= S("n1",i-1)+S("n1","i0")\$ii(i) + dt(i)*(
+Ql("n1",i)-R("n1",i)-UC("n1",i)-DE("n1",i))
-Ev("n1",i)*(Ar("n1",i-1)+Ar("n1","i0")\$ii(i));
C2(i).. S("n2",i) =e= S("n2",i-1)+S("n2","i0")\$ii(i) + dt(i)*(
-Ql("n1",i)+R("n1",i)
+Ql("n2",i)-R("n2",i)-UC("n2",i)-DE("n2",i))
-Ev("n2",i)*(Ar("n2",i-1)+Ar("n2","i0")\$ii(i));
C3(i).. S("n3",i) =e= S("n3",i-1)+S("n3","i0")\$ii(i) + dt(i)*(
+Ql("n3",i)-R("n3",i)-UC("n3",i)-DE("n3",i))
-Ev("n3",i)*(Ar("n3",i-1)+Ar("n3","i0")\$ii(i));
C4(i).. S("n4",i) =e= S("n4",i-1)+S("n4","i0")\$ii(i) + dt(i)*(
-Ql("n2",i)+R("n2",i)
-Ql("n3",i)+R("n3",i)
+Ql("n4",i)-R("n4",i)-UC("n4",i)-DE("n4",i))
-Ev("n4",i)*(Ar("n4",i-1)+Ar("n4","i0")\$ii(i));
C5(i).. S("n5",i) =e= S("n5",i-1)+S("n5","i0")\$ii(i) + dt(i)*(

```

-Ql("n4",i)+R("n4",i)
+Ql("n5",i)-R("n5",i)-UC("n5",i)-DE("n5",i) )
-Ev("n5",i)*(Ar("n5",i-1)+Ar("n5","i0")$ii(i));
C6(i).. 0 =e= dt(i)*(
-Ql("n5",i)+R("n5",i)
+Ql("n6",i)-R("n6",i)-UC("n6",i)-DE("n6",i) )
-Ev("n6",i)*Af("n6");
C7(i).. 0 =e= dt(i)*(
-Ql("n6",i)+R("n6",i)
+Ql("n7",i)-R("n7",i)-UC("n7",i)-DE("n7",i) )
-Ev("n7",i)*Af("n7");

QQ(n,i).. R(n,i) =e= Rt(n,i)+Rv(n,i);

DESV(n,i).. DE(n,i) =e= DEmin(n);

CV(nr,j).. Hr(nr,j) =e= a(nr,"p0")+S(nr,j)*(a(nr,"p1")+S(nr,j)*(a(nr,"p2")+S(nr,j)*(a(nr,"p3")+S(nr,j)*a(nr,"p4"))));
CT(n,i).. Ht(n,i) =e= b(n,"p0")+R(n,i)*(b(n,"p1")+R(n,i)*(b(n,"p2")+R(n,i)*(b(n,"p3")+R(n,i)*b(n,"p4"))));
CQr(nr,i).. Hg(nr,i) =e= (Hr(nr,i-1)+Hr(nr,"i0")$ii(i)+Hr(nr,i))*0.5-Ht(nr,i);
CQf(nf,i).. Hg(nf,i) =e= Hf(nf)-Ht(nf,i);

AA(nr,j).. Ar(nr,j) =e= c(nr,"p0")+S(nr,j)*(c(nr,"p1")+S(nr,j)*c(nr,"p2"));

*QUC usos prioritários segundo ONS
QUC1(n,i).. UC("n1",i) =g= 0.59*DH("n1",i);
QUC2(n,i).. UC("n2",i) =g= 0.43*DH("n2",i);
QUC3(n,i).. UC("n3",i) =g= 0.09*DH("n3",i);
QUC4(n,i).. UC("n4",i) =g= 0.12*DH("n4",i);
QUC5(n,i).. UC("n5",i) =g= 0.03*DH("n5",i);
QUC6(n,i).. UC("n6",i) =g= 0.03*DH("n6",i);
QUC7(n,i).. UC("n7",i) =g= 0.46*DH("n7",i);

GERA(n,i).. Pot(n,i) =e= nn(n)*Hg(n,i)*Rt(n,i);

AE(k,i).. edp(k,i) =e= ( DD(k,i)-sum(n, Pot(n,i)) )/DD(k,i);

AUC(n,i).. hdp(n,i) =e= ( DH(n,i)-UC(n,i) )/DH(n,i);

OBJ.. Z =e= sum(i, ( 0.5*sqr( sum(k, edp(k,i)) ) + 0.5*sqr( sum(n, hdp(n,i)) ) ));

Model
C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,QQ,CV,CT,CQr,CQf,AA,DESV,QUC1,QUC2,QUC3,QUC4,QUC5,QUC6,QUC7,GERA,AE,AUC,OBJ /
HIDRO

Option NLP = MINOS;

HIDRO.nodlim = 10000;
HIDRO.workspace = 200;
HIDRO.optfile = 1;

file opt /C:\Users\Ludmilson\Documents\gamssdir\projdir\minos.opt/
put opt;
put 'superbasics limit 7050' /;
put 'scale nonlinear variables' /;
put 'optimality tolerance 0.000001' /;
putclose;

Option reslim = 36000;
Option iterlim = 200000;

Solve HIDRO using NLP minimizing Z;

```

Anexo A – Histórico do PLD (30/jun/2001 a 01/jun/2012) segundo CCEE

Preço médio (R\$/MWh) por submercado

Ano	Mês	Data Início	Data Fim	Pesado SE	Médio SE	Leve SE	Pesado S	Médio S	Leve S	Pesado NE	Médio NE	Leve NE	Pesado N	Médio N	Leve N
2001	7	30/06/2001	06/07/2001	684.00	684.00	684.00	141.61	141.61	141.61	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00
2001	7	07/07/2001	13/07/2001	684.00	684.00	684.00	4.00	4.00	4.00	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00
2001	7	14/07/2001	20/07/2001	684.00	684.00	684.00	4.00	4.00	4.00	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00
2001	7	21/07/2001	27/07/2001	684.00	684.00	684.00	86.94	86.94	86.94	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00
2001	8	28/07/2001	03/08/2001	684.00	684.00	684.00	37.12	37.12	37.12	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00
2001	8	04/08/2001	10/08/2001	684.00	684.00	684.00	4.00	4.00	4.00	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00
2001	8	11/08/2001	17/08/2001	684.00	684.00	684.00	37.12	37.12	37.12	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00
2001	8	18/08/2001	24/08/2001	684.00	684.00	684.00	60.62	60.62	60.62	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00
2001	8	24/08/2001	31/08/2001	684.00	684.00	684.00	86.94	86.94	86.94	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00
2001	9	01/09/2001	07/09/2001	684.00	684.00	684.00	93.24	93.24	93.24	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00
2001	9	08/09/2001	14/09/2001	684.00	684.00	684.00	63.55	63.55	63.55	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00
2001	9	15/09/2001	21/09/2001	684.00	684.00	684.00	79.72	79.72	79.72	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00	684.00
2001	9	22/09/2001	28/09/2001	336.00	336.00	336.00	63.55	63.55	63.55	562.15	562.15	562.15	336.00	336.00	336.00
2001	10	29/09/2001	05/10/2001	336.00	336.00	336.00	63.55	63.55	63.55	562.15	562.15	562.15	336.00	336.00	336.00
2001	10	06/10/2001	12/10/2001	336.00	336.00	336.00	4.00	4.00	4.00	562.15	562.15	562.15	336.00	336.00	336.00
2001	10	13/10/2001	19/10/2001	336.00	336.00	336.00	4.00	4.00	4.00	562.15	562.15	562.15	336.00	336.00	336.00
2001	10	20/10/2001	26/10/2001	336.00	336.00	336.00	4.00	4.00	4.00	562.15	562.15	562.15	336.00	336.00	336.00
2001	11	27/10/2001	02/11/2001	336.00	336.00	336.00	4.00	4.00	4.00	562.15	562.15	562.15	336.00	336.00	336.00
2001	11	03/11/2001	09/11/2001	336.00	336.00	336.00	41.74	41.74	41.74	562.15	562.15	562.15	336.00	336.00	336.00
2001	11	10/11/2001	16/11/2001	336.00	336.00	336.00	46.62	46.62	46.62	562.15	562.15	562.15	336.00	336.00	336.00
2001	11	17/11/2001	23/11/2001	336.00	336.00	336.00	41.74	41.74	41.74	562.15	562.15	562.15	336.00	336.00	336.00
2001	11	24/11/2001	30/11/2001	336.00	336.00	336.00	31.82	31.82	31.82	562.15	562.15	562.15	336.00	336.00	336.00
2001	12	01/12/2001	07/12/2001	336.00	336.00	336.00	4.00	4.00	4.00	562.15	562.15	562.15	336.00	336.00	336.00
2001	12	08/12/2001	14/12/2001	336.00	336.00	336.00	4.00	4.00	4.00	562.15	562.15	562.15	336.00	336.00	336.00
2001	12	15/12/2001	21/12/2001	336.00	336.00	336.00	49.30	49.30	49.30	562.15	562.15	562.15	336.00	336.00	336.00
2001	12	22/12/2001	28/12/2001	336.00	336.00	336.00	41.74	41.74	41.74	562.15	562.15	562.15	336.00	336.00	336.00
2002	1	29/12/2001	31/12/2002	336.00	336.00	336.00	41.74	41.74	41.74	562.15	562.15	562.15	336.00	336.00	336.00
2002	1	01/01/2002	04/01/2002	336.00	336.00	336.00	41.74	41.74	41.74	562.15	562.15	562.15	4.00	4.00	4.00
2002	1	05/01/2002	11/01/2002	336.00	336.00	336.00	64.04	64.04	64.04	562.15	562.15	562.15	4.00	4.00	4.00
2002	1	12/01/2002	18/01/2002	336.00	336.00	336.00	64.04	64.04	64.04	562.15	562.15	562.15	4.00	4.00	4.00
2002	1	19/01/2002	25/01/2002	336.00	336.00	336.00	64.04	64.04	64.04	562.15	562.15	562.15	4.00	4.00	4.00
2002	2	26/01/2002	01/02/2002	134.76	134.76	134.76	8.88	8.88	8.88	319.41	319.41	319.41	4.19	4.19	4.19
2002	2	02/02/2002	08/02/2002	134.76	134.76	134.76	10.82	10.82	10.82	319.41	319.41	319.41	5.17	5.17	5.17
2002	2	09/02/2002	15/02/2002	9.25	9.25	9.25	8.88	8.88	8.88	319.41	319.41	319.41	4.19	4.19	4.19
2002	2	16/02/2002	22/02/2002	5.42	5.42	5.42	5.14	5.14	5.14	319.41	319.41	319.41	4.00	4.00	4.00
2002	3	23/02/2002	28/02/2002	8.14	8.14	8.14	6.97	6.97	6.97	319.41	319.41	319.41	4.49	4.49	4.49
2002	3	01/03/2002	01/03/2002	8.14	8.14	8.14	6.97	6.97	6.97	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49
2002	3	02/03/2002	08/03/2002	4.66	4.66	4.66	4.12	4.12	4.12	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
2002	3	09/03/2002	15/03/2002	8.70	8.70	8.70	8.38	8.38	8.38	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88
2002	3	16/03/2002	22/03/2002	13.10	13.10	13.10	12.32	12.32	12.32	7.32	7.32	7.32	7.32	7.32	7.32
2002	3	23/03/2002	29/03/2002	12.30	12.30	12.30	11.21	11.21	11.21	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04
2002	4	30/03/2002	05/04/2002	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	6.17	6.17	6.17	6.17	6.17	6.17
2002	4	06/04/2002	12/04/2002	10.87	10.87	10.87	11.09	11.09	11.09	5.72	5.72	5.72	5.72	5.72	5.72
2002	4	13/04/2002	19/04/2002	15.84	15.84	15.84	17.03	17.03	17.03	8.71	8.71	8.71	8.71	8.71	8.71
2002	4	20/04/2002	26/04/2002	15.96	15.96	15.96	16.37	16.37	16.37	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75
2002	5	27/04/2002	03/05/2002	20.57	20.09	20.03	20.42	20.09	20.03	4.00	4.00	4.00	20.57	20.09	20.03
2002	5	04/05/2002	10/05/2002	27.19	25.24	24.87	27.19	26.82	26.29	4.38	4.38	4.38	27.19	25.24	24.87
2002	5	11/05/2002	17/05/2002	19.58	19.06	18.61	20.43	20.17	19.99	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
2002	5	18/05/2002	24/05/2002	21.17	20.86	20.86	23.17	22.83	22.81	4.13	4.13	4.13	4.13	4.13	4.13
2002	5	25/05/2002	31/05/2002	14.51	13.83	11.11	11.67	11.47	11.11	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
2002	6	01/06/2002	07/06/2002	9.40	9.09	8.51	4.00	4.00	4.00	5.57	5.57	5.57	5.57	5.57	5.57
2002	6	08/06/2002	14/06/2002	14.52	14.21	14.13	14.42	14.21	13.96	7.69	7.69	7.69	7.69	7.69	4.70
2002	6	15/06/2002	21/06/2002	14.80	14.37	14.37	14.37	14.22	13.31	7.73	7.73	7.73	7.73	7.73	6.17
2002	6	22/06/2002	28/06/2002	15.75	15.38	15.06	15.06	14.16	13.71	7.61	7.61	7.61	7.61	7.61	4.00
2002	7	29/06/2002	05/07/2002	16.33	15.99	15.83	16.15	15.99	15.83	15.89	15.89	15.89	15.89	15.89	15.01
2002	7	06/07/2002	12/07/2002	17.93	17.91	17.56	17.93	17.91	17.56	17.52	17.52	17.52	17.52	17.52	8.15
2002	7	13/07/2002	19/07/2002	18.04	17.98	17.75	18.04	17.98	17.75	17.35	17.35	17.35	17.35	11.88	11.12
2002	7	20/07/2002	26/07/2002	16.31	16.30	16.08	16.31	16.30	16.08	15.59	15.59	15.59	15.59	15.59	6.69
2002	8	27/07/2002	02/08/2002	14.83	14.71	14.61	17.12	17.12	14.61	15.44	15.44	15.44	14.83	14.71	14.61
2002	8	03/08/2002	09/08/2002	13.92	13.56	13.56	16.44	16.44	13.56	13.52	13.52	13.52	13.52	13.52	12.92
2002	8	10/08/2002	16/08/2002	9.51	9.44	9.39	9.47	9.44	9.23	11.72	11.72	11.72	9.51	9.44	9.39
2002	8	17/08/2002	23/08/2002	10.21	10.11	9.99	10.11	10.11	9.85	12.41	12.41	12.41	10.21	10.11	9.99
2002	8	24/08/2002	30/08/2002	12.11	11.80	11.79	12.11	12.00	11.79	14.07	14.07	14.07	12.11	11.80	11.79
2002	9	31/08/2002	06/09/2002	7.00	6.98	6.85	7.00	6.98	6.85	5.93	5.93	5.86	5.93	5.93	5.86
2002	9	07/09/2002	13/09/2002	6.74	6.51	6.50	7.55	7.55	6.50	5.87	5.81	5.65	5.87	5.81	5.65
2002	9	14/09/2002	20/09/2002	6.11	5.88	5.86	6.20	6.20	5.86	5.54	5.54	5.54	5.54	5.54	5.54
2002	9	21/09/2002	27/09/2002	4.99	4.87	4.83	4.83	4.83	4.59	4.93	4.87	4.83	4.93	4.87	4.83
2002	10	28/09/2002	04/10/2002	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
2002	10	05/10/2002	11/10/2002	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
2002	10	12/10/2002	18/10/2002	4.35	4.13	4.00	4.00	4.00	4.00	4.06	4.00	4.00	4.06	4.00	4.00
2002	10	19/10/2002	25/10/2002	5.03	4.89	4.80	4.00	4.00	4.00	4.67	4.66	4.55	4.67	4.66	4.55
2002															

Anexo A (continuação)

Ano	Mês	Data Início	Data Fim	Pesado SE	Médio SE	Leve SE	Pesado S	Médio S	Leve S	Pesado NE	Médio NE	Leve NE	Pesado N	Médio N	Leve N
2002	12	14/12/2002	20/12/2002	5.73	5.67	5.57	4.00	4.00	4.00	6.13	6.13	6.13	9.61	9.61	9.21
2002	12	21/12/2002	27/12/2002	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01
2003	1	28/12/2002	03/01/2003	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
2003	1	04/01/2003	10/01/2003	4.18	4.17	4.17	4.16	4.16	4.00	5.29	5.25	5.19	5.29	5.25	5.19
2003	1	11/01/2003	17/01/2003	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
2003	1	18/01/2003	24/01/2003	4.12	4.09	4.01	4.00	4.00	4.00	4.25	4.25	4.25	4.12	4.09	4.01
2003	1	25/01/2003	31/01/2003	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
2003	2	01/02/2003	07/02/2003	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
2003	2	08/02/2003	14/02/2003	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
2003	2	15/02/2003	21/02/2003	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
2003	2	22/02/2003	28/02/2003	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
2003	3	01/03/2003	07/03/2003	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
2003	3	08/03/2003	14/03/2003	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
2003	3	15/03/2003	21/03/2003	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
2003	3	22/03/2003	28/03/2003	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
2003	4	29/03/2003	31/03/2003	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
2003	4	01/04/2003	04/04/2003	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48
2003	4	05/04/2003	11/04/2003	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48
2003	4	12/04/2003	18/04/2003	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48
2003	4	19/04/2003	25/04/2003	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48
2003	4	26/04/2003	02/05/2003	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48
2003	5	03/05/2003	09/05/2003	6.84	6.71	6.51	6.84	6.71	6.51	5.57	5.57	5.57	5.57	5.48	5.48
2003	5	10/05/2003	16/05/2003	6.73	6.65	6.60	6.73	6.65	6.60	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.48
2003	5	17/05/2003	23/05/2003	7.37	7.28	7.18	7.37	7.28	7.18	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
2003	5	24/05/2003	30/05/2003	8.66	8.54	8.44	8.66	8.54	8.44	7.10	7.10	7.09	7.10	7.10	7.09
2003	6	31/05/2003	06/06/2003	12.27	12.11	11.83	12.27	12.11	11.83	11.49	11.49	11.49	11.49	11.49	5.48
2003	6	07/06/2003	13/06/2003	12.40	12.22	11.87	12.40	12.22	11.87	11.36	11.36	11.23	11.36	11.36	11.23
2003	6	14/06/2003	20/06/2003	9.42	9.21	9.05	9.42	9.21	9.05	9.42	9.21	9.05	9.42	9.21	9.05
2003	6	21/06/2003	27/06/2003	10.88	10.73	10.66	10.88	10.73	10.66	10.55	10.55	10.55	10.55	10.55	10.55
2003	7	28/06/2003	04/07/2003	13.98	13.59	13.27	13.98	13.59	13.27	9.98	9.98	9.98	13.98	13.59	13.27
2003	7	05/07/2003	11/07/2003	14.95	14.34	14.29	14.95	14.88	14.29	10.33	10.33	10.33	14.63	14.34	14.29
2003	7	12/07/2003	18/07/2003	14.52	13.92	13.56	17.18	17.01	16.83	10.84	10.84	10.84	13.92	13.92	13.56
2003	7	19/07/2003	25/07/2003	12.28	12.00	11.55	12.28	12.00	11.62	9.04	9.04	9.04	12.00	12.00	11.55
2003	7	26/07/2003	01/08/2003	12.46	12.18	11.74	12.46	12.18	11.96	9.08	9.08	9.08	12.18	12.18	11.74
2003	8	02/08/2003	08/08/2003	16.41	15.66	15.28	17.32	17.17	17.11	13.61	13.06	13.06	15.66	15.66	15.28
2003	8	09/08/2003	15/08/2003	19.74	18.81	18.14	19.74	19.40	18.14	14.52	14.28	14.28	19.72	18.81	18.14
2003	8	16/08/2003	22/08/2003	18.43	17.57	17.04	20.34	19.03	17.87	13.84	13.62	13.62	17.64	17.57	17.04
2003	8	23/08/2003	29/08/2003	17.73	16.90	16.40	22.71	22.39	16.64	12.93	12.93	12.93	16.90	16.90	16.40
2003	9	30/08/2003	05/09/2003	17.16	17.11	16.47	19.75	19.70	17.11	14.29	13.71	13.71	17.15	17.11	16.47
2003	9	06/09/2003	12/09/2003	18.07	17.85	17.43	22.07	21.79	17.92	14.84	14.24	14.24	18.07	17.85	17.43
2003	9	13/09/2003	19/09/2003	17.64	17.07	16.80	20.93	20.93	17.07	13.62	13.62	13.62	17.64	17.07	16.80
2003	9	20/09/2003	26/09/2003	18.67	17.94	17.70	22.26	22.04	17.91	16.95	16.95	16.95	18.67	17.94	17.70
2003	10	27/09/2003	03/10/2003	24.45	24.20	23.32	24.66	24.42	24.20	20.11	20.11	19.86	24.45	24.20	23.32
2003	10	04/10/2003	10/10/2003	27.47	26.74	26.28	27.51	27.51	26.93	21.45	21.45	20.58	27.47	26.74	26.28
2003	10	11/10/2003	17/10/2003	27.52	27.01	26.36	28.09	28.04	27.06	20.05	20.05	20.05	27.52	27.01	26.35
2003	10	18/10/2003	24/10/2003	23.05	22.90	22.31	23.33	23.26	22.53	17.32	17.32	17.32	22.90	22.90	22.31
2003	10	25/10/2003	31/10/2003	28.37	28.12	27.37	28.37	28.37	27.37	20.95	20.95	20.95	28.12	28.12	26.40
2003	11	01/11/2003	07/11/2003	24.87	24.60	23.82	27.13	27.13	23.82	20.50	20.50	20.50	24.87	24.60	23.18
2003	11	08/11/2003	14/11/2003	28.30	27.95	27.07	31.18	31.18	29.46	23.20	23.20	23.20	28.30	27.95	27.07
2003	11	15/11/2003	21/11/2003	33.05	32.59	30.90	35.87	35.87	34.15	27.18	27.18	26.07	33.05	32.59	30.90
2003	11	22/11/2003	28/11/2003	29.66	29.63	28.42	29.66	29.63	28.71	29.63	29.63	28.42	29.66	29.63	28.42
2003	12	29/11/2003	30/11/2003	25.07	24.96	24.33	25.07	24.96	24.33	22.16	22.16	21.77	25.07	24.96	22.47
2003	12	01/12/2003	05/12/2003	25.07	24.96	24.33	25.07	24.96	24.33	82.72	82.72	82.72	25.07	24.96	22.47
2003	12	06/12/2003	12/12/2003	23.70	23.70	23.07	23.70	23.70	23.07	82.72	82.72	82.72	23.70	23.70	21.47
2003	12	13/12/2003	19/12/2003	16.95	16.95	16.95	16.95	16.95	16.95	16.95	16.95	16.95	16.95	16.95	16.95
2003	12	20/12/2003	26/12/2003	19.21	19.08	18.45	19.08	19.08	18.45	18.45	18.45	18.45	19.21	19.08	18.45
2004	1	27/12/2003	02/01/2004	17.39	17.39	17.39	17.39	17.39	17.39	58.24	58.24	58.24	17.39	17.39	16.95
2004	1	03/01/2004	09/01/2004	27.05	27.05	27.05	27.05	27.05	27.05	412.83	412.83	412.83	27.00	27.00	26.91
2004	1	10/01/2004	16/01/2004	25.47	25.47	25.12	25.47	25.47	25.12	315.21	315.21	272.57	25.14	25.05	25.05
2004	1	17/01/2004	23/01/2004	17.58	17.58	17.58	17.58	17.58	17.58	315.21	315.21	315.21	16.95	16.95	16.95
2004	1	24/01/2004	30/01/2004	27.28	27.28	27.28	27.28	27.28	27.28	255.33	255.33	255.33	18.59	18.59	18.59
2004	2	31/01/2004	06/02/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	2	07/02/2004	13/02/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	2	14/02/2004	20/02/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	2	21/02/2004	27/02/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	3	28/02/2004	05/03/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	3	06/03/2004	12/03/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	3	13/03/2004	19/03/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	3	20/03/2004	26/03/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	4	27/03/2004	02/04/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	4	03/04/2004	09/04/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	4	10/04/2004	16/04/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	4	17/04/2004	23/04/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	4	24/04/2004	30/04/2004												

Anexo A (continuação)

Ano	Mês	Data Início	Data Fim	Pesado SE	Médio SE	Leve SE	Pesado S	Médio S	Leve S	Pesado NE	Médio NE	Leve NE	Pesado N	Médio N	Leve N
2004	6	19/06/2004	25/06/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	7	26/06/2004	02/07/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	7	03/07/2004	09/07/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	7	10/07/2004	16/07/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	7	17/07/2004	23/07/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	7	24/07/2004	30/07/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	8	31/07/2004	06/08/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	8	07/08/2004	13/08/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	8	14/08/2004	20/08/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	8	21/08/2004	27/08/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	9	28/08/2004	03/09/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	9	04/09/2004	10/09/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	9	11/09/2004	17/09/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	9	18/09/2004	24/09/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	10	25/09/2004	01/10/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	10	02/10/2004	08/10/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	10	09/10/2004	15/10/2004	19.49	19.30	19.30	19.49	19.30	19.30	18.59	18.59	18.59	19.49	19.30	19.30
2004	10	16/10/2004	22/10/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	10	23/10/2004	29/10/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	11	30/10/2004	05/11/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	11	06/11/2004	12/11/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	11	13/11/2004	19/11/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	11	20/11/2004	26/11/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	12	27/11/2004	03/12/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	12	04/12/2004	10/12/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	12	11/12/2004	17/12/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	12	18/12/2004	24/12/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2004	12	25/12/2004	31/12/2004	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59	18.59
2005	1	01/01/2005	07/01/2005	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	1	08/01/2005	14/01/2005	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	1	15/01/2005	21/01/2005	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	1	22/01/2005	28/01/2005	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	2	29/01/2005	04/02/2005	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	2	05/02/2005	11/02/2005	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	2	12/02/2005	18/02/2005	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	2	19/02/2005	25/02/2005	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	3	26/02/2005	04/03/2005	18.33	18.33	18.33	25.12	25.12	23.70	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	3	05/03/2005	11/03/2005	18.33	18.33	18.33	27.35	27.35	25.66	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	3	12/03/2005	18/03/2005	18.33	18.33	18.33	25.82	25.56	24.21	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	3	19/03/2005	25/03/2005	18.33	18.33	18.33	25.96	25.43	24.31	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	4	26/03/2005	01/04/2005	18.33	18.33	18.33	33.50	32.91	31.01	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	4	02/04/2005	08/04/2005	18.33	18.33	18.33	137.05	134.96	131.02	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	4	09/04/2005	15/04/2005	20.17	19.82	19.74	49.16	47.90	19.74	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	4	16/04/2005	22/04/2005	26.11	25.40	25.03	75.82	74.57	73.01	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	4	23/04/2005	29/04/2005	34.76	33.73	33.31	101.73	99.68	97.02	18.33	18.33	18.33	34.76	18.33	18.33
2005	5	30/04/2005	06/05/2005	48.82	47.99	47.99	89.14	86.01	47.99	18.33	18.33	18.33	48.82	18.33	18.33
2005	5	07/05/2005	13/05/2005	42.25	42.25	42.25	132.35	126.81	46.06	18.33	18.33	18.33	42.25	18.33	18.33
2005	5	14/05/2005	20/05/2005	49.45	49.38	49.38	180.73	177.04	49.38	18.33	18.33	18.33	49.45	18.33	18.33
2005	5	21/05/2005	27/05/2005	46.00	45.92	45.01	67.60	45.92	45.01	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	6	28/05/2005	03/06/2005	28.91	28.76	28.09	28.76	22.42	21.80	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	6	04/06/2005	10/06/2005	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33
2005	6	11/06/2005	17/06/2005	31.80	31.55	31.39	31.80	31.55	31.39	18.33	18.33	18.33	31.80	31.55	31.39
2005	6	18/06/2005	24/06/2005	31.22	30.52	29.72	27.63	27.24	26.88	18.33	18.33	18.33	31.22	30.52	29.72
2005	7	25/06/2005	01/07/2005	24.99	24.38	24.37	24.99	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	24.99	24.38	24.37
2005	7	02/07/2005	08/07/2005	27.18	26.34	26.15	26.82	26.34	26.15	18.33	18.33	18.33	27.18	26.34	26.15
2005	7	09/07/2005	15/07/2005	33.28	32.74	32.72	33.28	32.74	32.72	18.33	18.33	18.33	33.28	32.74	32.72
2005	7	16/07/2005	22/07/2005	36.24	35.42	35.26	36.24	35.42	35.26	18.33	18.33	18.33	36.24	35.42	35.26
2005	7	23/07/2005	29/07/2005	34.83	34.31	34.13	34.83	34.31	34.13	18.33	18.33	18.33	34.83	34.31	34.13
2005	8	30/07/2005	05/08/2005	29.62	28.63	28.46	29.62	28.63	28.46	18.33	18.33	18.33	29.62	28.63	28.46
2005	8	06/08/2005	12/08/2005	27.93	27.49	27.13	27.93	27.49	27.13	18.33	18.33	18.33	27.93	27.49	27.13
2005	8	13/08/2005	19/08/2005	38.55	37.79	37.36	38.55	37.79	37.36	18.33	18.33	18.33	38.55	37.79	37.36
2005	8	20/08/2005	26/08/2005	34.13	33.46	32.94	34.13	33.46	32.94	18.33	18.33	18.33	34.13	33.46	32.94
2005	9	27/08/2005	02/09/2005	48.35	47.48	47.10	48.35	47.48	47.10	19.53	19.40	19.40	48.35	47.48	47.10
2005	9	03/09/2005	09/09/2005	40.76	39.76	38.93	40.76	39.76	38.93	18.33	18.33	18.33	40.76	39.76	38.93
2005	9	10/09/2005	16/09/2005	33.33	32.05	31.76	33.33	32.05	18.33	18.33	18.33	18.33	33.33	32.05	31.76
2005	9	17/09/2005	23/09/2005	29.29	28.06	27.42	29.29	27.42	18.33	18.33	18.33	18.33	29.29	28.06	27.42
2005	9	24/09/2005	30/09/2005	24.55	24.14	23.09	24.55	23.09	18.33	18.33	18.33	18.33	24.55	24.14	23.09
2005	10	01/10/2005	07/10/2005	39.27	37.28	35.56	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	39.27	37.28	35.56
2005	10	08/10/2005	14/10/2005	43.27	41.18	39.44	43.27	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	43.27	41.18	39.44
2005	10	15/10/2005	21/10/2005	45.21	43.06	41.24	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	18.33	45.21	43.06	41.24
2005	10	22/10/2005	28/10/2005	52.97	50.62	47.98	18.33	18.33	18.33	19.55	19.55	19.42	52.97	50.62	47.98
2005	11	29/10/2005	04/11/2005	50.80	49.7										

Anexo A (continuação)

Ano	Mês	Data Início	Data Fim	Pesado SE	Médio SE	Leve SE	Pesado S	Médio S	Leve S	Pesado NE	Médio NE	Leve NE	Pesado N	Médio N	Leve N
2006	1	07/01/2006	13/01/2006	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92
2006	1	14/01/2006	20/01/2006	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92
2006	1	21/01/2006	27/01/2006	40.46	40.46	38.35	40.46	40.46	40.05	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92
2006	2	28/01/2006	03/02/2006	68.78	68.78	66.75	68.78	68.78	66.75	34.32	34.10	34.10	34.32	34.10	34.10
2006	2	04/02/2006	10/02/2006	62.84	62.72	57.13	62.84	62.72	60.15	37.62	37.62	37.37	16.92	16.92	16.92
2006	2	11/02/2006	17/02/2006	86.64	86.54	82.97	86.64	86.54	82.97	45.04	45.04	44.74	45.04	45.04	44.74
2006	2	18/02/2006	24/02/2006	37.78	36.54	33.04	54.10	54.10	53.07	30.73	30.73	30.53	30.73	30.73	30.53
2006	3	25/02/2006	03/03/2006	40.00	38.93	36.78	43.56	43.36	42.67	40.00	40.00	39.74	16.92	16.92	16.92
2006	3	04/03/2006	10/03/2006	40.60	40.02	37.85	45.06	45.06	43.75	40.27	40.02	39.76	16.92	16.92	16.92
2006	3	11/03/2006	17/03/2006	16.92	16.92	16.92	45.36	45.36	43.91	39.27	39.27	39.01	16.92	16.92	16.92
2006	3	18/03/2006	24/03/2006	16.92	16.92	16.92	42.09	42.09	41.08	32.67	32.67	32.67	16.92	16.92	16.92
2006	3	25/03/2006	31/03/2006	39.35	38.12	34.37	39.69	39.69	38.65	31.16	30.95	30.95	31.16	30.95	16.92
2006	4	01/04/2006	07/04/2006	24.21	23.91	22.46	24.21	23.91	22.83	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92
2006	4	08/04/2006	14/04/2006	22.14	21.81	20.78	22.21	22.11	21.60	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92
2006	4	15/04/2006	21/04/2006	18.02	17.55	17.06	18.02	17.74	17.06	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92
2006	4	22/04/2006	28/04/2006	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92
2006	5	29/04/2006	05/05/2006	37.52	36.64	35.76	37.52	37.26	35.76	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92
2006	5	06/05/2006	12/05/2006	50.04	49.06	48.90	50.04	49.66	48.90	18.94	18.94	18.82	18.94	16.92	16.92
2006	5	13/05/2006	19/05/2006	57.27	56.47	55.75	57.27	56.47	55.75	20.95	20.86	20.72	16.92	16.92	16.92
2006	5	20/05/2006	26/05/2006	56.42	55.71	55.29	57.47	56.88	55.32	20.30	20.30	20.16	16.92	16.92	16.92
2006	6	27/05/2006	02/06/2006	60.32	60.21	59.60	63.53	62.88	60.21	21.92	21.83	21.83	16.92	16.92	16.92
2006	6	03/06/2006	09/06/2006	63.09	61.98	61.31	65.69	65.35	61.31	22.38	22.38	22.38	16.92	16.92	16.92
2006	6	10/06/2006	16/06/2006	65.44	64.73	64.50	68.63	67.93	64.73	23.28	23.13	23.13	23.28	23.13	23.13
2006	6	17/06/2006	23/06/2006	75.23	74.18	73.91	79.56	78.15	74.18	24.40	24.40	24.40	75.23	74.18	73.91
2006	6	24/06/2006	30/06/2006	75.36	73.62	71.60	77.43	76.67	71.60	24.29	24.29	24.29	75.36	73.62	71.60
2006	7	01/07/2006	07/07/2006	93.90	93.90	90.66	93.90	93.90	93.90	28.72	28.72	28.72	93.90	93.90	90.66
2006	7	08/07/2006	14/07/2006	89.97	89.05	86.34	89.97	89.05	89.05	28.64	28.64	28.45	89.97	89.05	86.34
2006	7	15/07/2006	21/07/2006	86.57	85.44	85.07	86.57	85.44	85.07	28.42	28.42	28.42	86.57	85.44	85.07
2006	7	22/07/2006	28/07/2006	92.65	91.49	90.49	92.65	91.49	90.49	28.90	28.90	28.71	92.65	91.50	90.49
2006	8	29/07/2006	04/08/2006	108.13	105.77	103.63	108.13	105.77	104.90	49.15	49.15	48.83	108.13	105.77	103.63
2006	8	05/08/2006	11/08/2006	101.83	100.43	98.44	101.83	100.43	100.43	47.76	47.76	47.76	101.83	100.43	98.44
2006	8	12/08/2006	18/08/2006	103.35	100.03	96.45	103.35	100.03	96.45	48.85	48.85	48.85	103.35	100.03	96.45
2006	8	19/08/2006	25/08/2006	102.42	97.68	94.53	102.42	97.68	94.53	49.86	49.86	49.59	102.42	97.68	94.53
2006	9	26/08/2006	01/09/2006	129.69	127.33	125.24	129.69	127.33	125.24	65.00	64.88	64.88	129.69	127.33	125.24
2006	9	02/09/2006	08/09/2006	128.18	124.67	123.42	128.18	124.67	123.42	67.11	66.71	66.71	128.18	124.67	123.42
2006	9	09/09/2006	15/09/2006	120.75	116.72	115.50	120.75	116.72	115.50	66.48	66.48	66.48	120.75	116.72	115.50
2006	9	16/09/2006	22/09/2006	131.59	128.09	123.32	131.59	128.09	123.32	70.99	69.88	69.42	131.59	128.09	123.32
2006	9	23/09/2006	29/09/2006	132.63	129.81	127.89	132.63	129.81	127.89	74.21	74.21	73.72	132.63	129.81	127.89
2006	10	30/09/2006	06/10/2006	110.38	108.98	105.57	110.38	108.98	105.57	52.23	52.23	52.23	110.38	108.98	105.57
2006	10	07/10/2006	13/10/2006	115.24	113.89	112.73	115.24	113.89	112.73	52.62	52.62	52.62	115.24	113.89	112.73
2006	10	14/10/2006	20/10/2006	82.89	82.18	81.51	82.89	82.18	81.51	48.13	48.13	48.13	82.89	82.18	81.51
2006	10	21/10/2006	27/10/2006	82.37	81.53	80.71	82.37	81.53	80.71	45.62	45.62	45.34	82.37	81.53	80.71
2006	11	28/10/2006	03/11/2006	70.68	70.22	69.65	70.68	70.22	69.65	24.17	24.17	24.03	70.68	70.22	69.65
2006	11	04/11/2006	10/11/2006	94.81	94.81	94.81	94.81	94.81	94.81	33.29	33.29	33.29	94.81	94.81	94.81
2006	11	11/11/2006	17/11/2006	68.99	68.65	68.65	68.99	68.65	68.65	23.65	23.65	23.44	68.99	68.65	68.65
2006	11	18/11/2006	24/11/2006	79.56	79.56	79.27	79.56	79.56	79.27	23.13	22.99	22.84	79.56	79.56	79.27
2006	11	25/11/2006	01/12/2006	86.09	85.75	85.75	86.09	85.75	85.75	16.92	16.92	16.92	86.09	85.75	85.75
2006	12	02/12/2006	08/12/2006	79.07	79.07	79.07	79.07	79.07	79.07	19.69	19.69	19.56	79.07	79.07	79.07
2006	12	09/12/2006	15/12/2006	71.10	70.35	69.47	71.10	70.35	69.47	16.92	16.92	16.92	71.10	70.35	69.47
2006	12	16/12/2006	22/12/2006	53.09	53.09	50.36	53.09	53.09	50.36	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92
2006	12	23/12/2006	29/12/2006	37.55	36.73	35.89	37.55	37.03	36.37	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92	16.92
2007	1	30/12/2006	05/01/2007	37.75	37.75	34.04	49.60	49.60	34.04	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59
2007	1	06/01/2007	12/01/2007	28.16	28.16	23.55	38.24	38.24	36.41	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59
2007	1	13/01/2007	19/01/2007	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59
2007	1	20/01/2007	26/01/2007	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59
2007	2	27/01/2007	02/02/2007	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59
2007	2	03/02/2007	09/02/2007	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59
2007	2	10/02/2007	16/02/2007	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59
2007	2	17/02/2007	23/02/2007	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59
2007	2	24/02/2007	02/03/2007	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59
2007	3	03/03/2007	09/03/2007	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59
2007	3	10/03/2007	16/03/2007	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59
2007	3	17/03/2007	23/03/2007	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59
2007	3	24/03/2007	30/03/2007	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59
2007	4	31/03/2007	06/04/2007	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59
2007	4	07/04/2007	13/04/2007	63.65	62.64	62.58	63.48	62.58	62.58	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59	17.59
2007	4	14/04/2007	20/04/2007	54.30	53.76	53.76	53.76	53.76	53.76	33.94	33.94	33.94	17.59	17.59	17.59
2007	4	21/04/2007	27/04/2007	57.74	57.31	55.25	55.25	55.25	55.25	35.24	35.03	34.80	35.24	35.03	34.80
2007	5	28/04/2007	04/05/2007	55.15	54.70	54.70	54.70	54.70	54.70	43.99	43.70	43.70	43.99	43.70	43.70
2007	5	05/05/2007	11/05/2007	37.63	37.25	35.79	20.42	20.42	20.42	32.37	32.35	32.14	32.37	32.35	32.14
2007	5	12/05/2007	18/05/2007	45.44	44.71	43.12	19.74	19.74	19.43	36.97	36.73	36.73	36.97	36.73	

Anexo A (continuação)

Ano	Mês	Data Início	Data Fim	Pesado SE	Médio SE	Leve SE	Pesado S	Médio S	Leve S	Pesado NE	Médio NE	Leve NE	Pesado N	Médio N	Leve N
2007	8	28/07/2007	03/08/2007	61.74	60.44	57.95	57.95	57.95	57.95	61.74	61.66	61.66	61.74	61.66	61.66
2007	8	04/08/2007	10/08/2007	29.98	29.52	28.31	17.59	17.59	17.59	35.27	35.27	35.27	29.98	29.52	29.52
2007	8	11/08/2007	17/08/2007	29.25	28.23	27.21	27.21	27.21	26.94	37.68	37.68	37.68	37.68	37.68	37.68
2007	8	18/08/2007	24/08/2007	35.19	34.01	33.88	33.88	33.88	33.88	41.74	41.67	41.67	41.67	41.67	39.71
2007	8	25/08/2007	31/08/2007	59.40	56.92	56.58	56.58	56.58	56.58	61.98	61.98	61.58	61.98	61.98	61.58
2007	9	01/09/2007	07/09/2007	129.18	128.10	128.10	129.18	128.10	128.10	126.97	126.51	126.51	129.18	128.10	128.10
2007	9	08/09/2007	14/09/2007	132.65	130.81	130.81	132.65	130.81	130.81	132.65	130.81	130.81	132.65	130.81	130.81
2007	9	15/09/2007	21/09/2007	150.11	147.26	147.26	150.11	149.41	147.26	150.11	147.26	146.73	150.11	147.26	147.26
2007	9	22/09/2007	28/09/2007	189.13	186.16	186.16	189.13	186.16	186.16	189.13	186.16	186.16	189.13	186.16	186.16
2007	10	29/09/2007	05/10/2007	168.46	168.46	165.13	168.46	168.46	165.13	168.46	168.46	165.13	168.46	168.46	165.13
2007	10	06/10/2007	12/10/2007	173.85	172.08	172.08	173.85	172.08	172.08	173.85	169.29	168.68	173.85	172.08	172.08
2007	10	13/10/2007	19/10/2007	207.66	205.54	205.54	207.66	205.54	205.54	207.66	205.54	205.54	207.66	205.54	205.54
2007	10	20/10/2007	26/10/2007	211.84	209.96	209.70	211.84	209.96	209.70	211.84	209.96	209.21	211.84	209.96	209.70
2007	11	27/10/2007	02/11/2007	237.66	237.66	237.66	237.66	237.66	237.66	237.66	237.66	237.66	237.66	237.66	237.66
2007	11	03/11/2007	09/11/2007	224.10	223.89	223.89	224.10	223.89	223.89	224.10	223.89	223.89	224.10	223.89	223.89
2007	11	10/11/2007	16/11/2007	182.68	181.30	181.30	182.68	181.30	181.30	182.68	181.30	181.30	182.68	181.30	181.30
2007	11	17/11/2007	23/11/2007	150.54	150.54	150.54	150.54	150.54	150.54	150.54	150.54	150.54	150.54	150.54	150.54
2007	11	24/11/2007	30/11/2007	170.27	169.65	169.19	170.27	169.65	169.19	170.27	169.65	169.19	170.27	169.65	169.19
2007	12	01/12/2007	07/12/2007	189.25	189.25	189.25	189.25	189.25	189.25	189.25	189.25	189.25	189.25	189.25	189.25
2007	12	08/12/2007	14/12/2007	212.20	212.20	212.20	212.20	212.20	212.20	212.20	212.20	212.20	212.20	212.20	212.20
2007	12	15/12/2007	21/12/2007	200.48	200.48	200.48	200.48	200.48	200.48	200.48	200.48	200.48	200.48	200.48	200.48
2007	12	22/12/2007	28/12/2007	199.76	199.76	199.76	199.76	199.76	199.76	199.76	199.76	199.76	199.76	199.76	199.76
2008	1	29/12/2007	04/01/2008	247.01	247.01	247.01	247.01	247.01	247.01	247.01	247.01	247.01	247.01	247.01	247.01
2008	1	05/01/2008	11/01/2008	475.53	473.30	472.21	475.53	473.30	472.21	475.53	473.30	472.21	475.53	473.30	472.21
2008	1	12/01/2008	18/01/2008	569.59	569.59	569.59	569.59	569.59	569.59	569.59	569.59	569.59	569.59	569.59	569.59
2008	1	19/01/2008	25/01/2008	569.59	569.59	569.59	569.59	569.59	569.59	569.59	569.59	548.14	569.59	569.59	569.59
2008	2	26/01/2008	01/02/2008	550.28	550.28	550.28	550.28	550.28	550.28	550.28	550.28	550.28	550.28	550.28	550.28
2008	2	02/02/2008	08/02/2008	256.05	255.93	253.32	256.05	255.93	253.32	256.05	256.05	256.05	256.05	256.05	253.32
2008	2	09/02/2008	15/02/2008	124.75	122.93	122.33	124.75	124.75	122.33	126.30	126.30	126.30	124.75	122.93	122.33
2008	2	16/02/2008	22/02/2008	163.45	163.45	155.84	163.45	163.45	155.84	180.33	180.33	180.33	163.45	163.45	155.84
2008	2	23/02/2008	29/02/2008	217.48	216.94	207.36	217.48	216.94	207.36	247.02	247.02	247.02	217.48	216.94	207.36
2008	3	01/03/2008	07/03/2008	140.14	140.01	137.23	140.14	140.08	137.23	137.69	135.19	135.19	137.69	135.19	135.19
2008	3	08/03/2008	14/03/2008	135.26	135.26	129.66	135.26	135.26	129.66	127.15	125.78	124.86	127.15	125.78	124.86
2008	3	15/03/2008	21/03/2008	179.91	174.41	173.39	179.91	178.54	173.39	168.71	167.60	167.60	168.71	167.60	167.60
2008	3	22/03/2008	28/03/2008	80.48	71.08	63.99	85.52	85.52	63.99	80.48	80.48	80.48	80.48	71.08	63.99
2008	4	29/03/2008	04/04/2008	88.21	85.23	82.27	93.36	93.36	82.27	85.80	85.23	85.23	85.80	85.23	15.47
2008	4	05/04/2008	11/04/2008	121.95	117.14	115.62	124.13	124.13	115.62	113.25	113.25	113.25	113.25	113.25	15.47
2008	4	12/04/2008	18/04/2008	70.01	68.18	68.18	74.01	74.01	68.18	70.01	68.18	68.18	70.01	68.18	15.47
2008	4	19/04/2008	25/04/2008	48.74	43.94	15.47	51.60	51.08	15.47	48.74	48.24	48.24	48.74	43.94	15.47
2008	5	26/04/2008	02/05/2008	42.11	41.33	39.19	42.11	41.38	39.19	42.11	41.33	41.33	42.11	41.33	15.47
2008	5	03/05/2008	09/05/2008	29.66	29.32	28.48	29.66	29.32	28.48	29.66	29.32	29.32	29.66	29.32	15.47
2008	5	10/05/2008	16/05/2008	15.47	15.47	15.47	15.47	15.47	15.47	15.47	15.47	15.47	15.47	15.47	15.47
2008	5	17/05/2008	23/05/2008	34.77	34.29	33.45	34.77	34.29	33.45	34.77	34.29	34.29	34.77	34.29	15.47
2008	5	24/05/2008	30/05/2008	51.62	51.11	49.34	51.62	51.11	49.34	51.62	51.11	51.11	51.62	51.11	15.47
2008	6	31/05/2008	06/06/2008	76.89	76.12	76.12	76.89	76.12	76.12	72.61	71.85	71.85	72.61	71.85	71.85
2008	6	07/06/2008	13/06/2008	77.02	76.16	76.03	77.02	76.16	76.03	77.02	76.16	76.03	77.02	76.16	76.03
2008	6	14/06/2008	20/06/2008	71.74	70.50	69.88	71.74	70.50	69.88	71.74	70.51	69.88	71.74	70.51	69.88
2008	6	21/06/2008	27/06/2008	77.73	76.72	76.72	77.73	76.72	76.72	77.73	76.72	76.72	77.73	76.72	76.72
2008	7	28/06/2008	04/07/2008	89.07	88.11	88.11	89.07	88.11	88.11	89.07	88.11	88.11	89.07	88.11	88.11
2008	7	05/07/2008	11/07/2008	91.79	91.32	91.32	91.79	91.32	91.32	91.79	91.32	91.32	91.79	91.32	91.32
2008	7	12/07/2008	18/07/2008	103.31	102.58	102.53	103.31	102.58	102.53	103.31	102.58	102.53	103.31	102.58	102.53
2008	7	19/07/2008	25/07/2008	111.69	110.23	110.12	111.69	110.23	110.12	111.69	110.23	110.12	111.69	110.23	110.12
2008	8	26/07/2008	01/08/2008	147.75	146.66	145.35	147.75	146.66	145.35	147.75	146.66	145.35	147.75	146.66	145.35
2008	8	02/08/2008	08/08/2008	140.43	138.64	138.25	140.43	138.64	138.25	140.43	138.64	138.25	140.43	138.64	138.25
2008	8	09/08/2008	15/08/2008	121.54	117.87	117.49	121.54	117.87	117.49	121.54	117.87	117.49	121.54	117.87	117.49
2008	8	16/08/2008	22/08/2008	81.49	80.13	77.05	77.05	77.05	77.05	81.49	80.13	77.05	81.49	80.13	77.05
2008	8	23/08/2008	29/08/2008	74.29	72.65	69.38	66.79	66.79	66.79	74.06	72.65	69.38	74.29	72.65	69.38
2008	9	30/08/2008	05/09/2008	96.02	93.25	93.25	93.25	93.25	93.25	96.02	93.25	93.25	96.02	93.25	93.25
2008	9	06/09/2008	12/09/2008	109.04	105.83	105.62	106.66	105.83	105.62	108.86	105.83	105.62	109.04	105.83	105.62
2008	9	13/09/2008	19/09/2008	122.97	119.06	118.04	118.04	118.04	118.04	122.48	119.06	118.04	122.97	119.06	118.04
2008	9	20/09/2008	26/09/2008	126.19	121.19	120.97	120.97	120.97	120.97	126.19	121.19	120.97	126.19	121.19	120.97
2008	10	27/09/2008	03/10/2008	101.80	100.39	100.23	101.80	100.39	100.23	101.80	100.39	100.23	101.80	100.39	100.23
2008	10	04/10/2008	10/10/2008	98.98	98.10	97.53	98.98	98.10	97.53	98.98	98.10	97.53	98.98	98.10	97.53
2008	10	11/10/2008	17/10/2008	76.91	75.98	74.28	74.51	74.34	74.28	76.91	75.98	74.28	76.91	75.98	74.28
2008	10	18/10/2008	24/10/2008	94.07	93.23	93.20	94.07	93.23	93.20	94.07	93.23	93.20	94.07	93.23	93.20
2008	10	25/10/2008	31/10/2008	100.76	99.75	98.71	100.76	99.75	98.71	100.76	99.75	98.71	100.76	99.75	98.71
2008	11	01/11/2008	07/11/2008	105.42	105.39	103.73	103.73	103.73	36.41	105.42	105.39	103.73	105.42	105.39	103.73
2008	11	08/11/2008	14/11/2008	120.15	120.12	115.28	104.08	104.08	104.08	120.15	120.12	115.28	120.15	120.12	115.28
2008	11	15/11/2008	21/11/2008	113.85	113.75	109.17	100								

Anexo A (continuação)

Ano	Mês	Data Início	Data Fim	Pesado SE	Médio SE	Leve SE	Pesado S	Médio S	Leve S	Pesado NE	Médio NE	Leve NE	Pesado N	Médio N	Leve N
2009	2	14/02/2009	20/02/2009	66.27	63.49	43.08	84.64	84.64	84.55	43.68	43.68	43.08	43.68	43.68	43.08
2009	2	21/02/2009	27/02/2009	16.31	16.31	16.31	65.87	65.87	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	3	28/02/2009	06/03/2009	65.58	65.33	59.91	65.58	65.33	59.91	62.42	61.47	59.91	62.42	61.47	59.91
2009	3	07/03/2009	13/03/2009	84.39	83.59	80.70	84.39	83.59	80.70	80.18	76.91	76.91	16.31	16.31	16.31
2009	3	14/03/2009	20/03/2009	109.29	108.20	106.95	109.29	108.20	106.95	96.86	95.73	95.73	16.31	16.31	16.31
2009	3	21/03/2009	27/03/2009	101.79	98.20	94.06	101.79	101.58	94.06	93.21	91.75	91.75	16.31	16.31	16.31
2009	4	28/03/2009	03/04/2009	108.31	106.33	105.13	108.31	106.33	105.13	97.98	97.98	97.34	16.31	16.31	16.31
2009	4	04/04/2009	10/04/2009	49.38	31.61	16.31	49.38	49.27	16.31	31.22	31.02	29.95	16.31	16.31	16.31
2009	4	11/04/2009	17/04/2009	51.64	50.04	49.12	51.64	50.21	49.12	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	4	18/04/2009	24/04/2009	40.24	37.93	37.93	40.24	40.06	37.93	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	4	25/04/2009	01/05/2009	46.66	45.58	45.12	46.66	46.05	45.12	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	5	02/05/2009	08/05/2009	46.98	45.76	45.76	46.98	45.76	45.76	36.45	36.45	36.21	16.31	16.31	16.31
2009	5	09/05/2009	15/05/2009	36.89	36.21	36.21	37.00	36.73	36.21	29.05	28.87	28.68	16.31	16.31	16.31
2009	5	16/05/2009	22/05/2009	37.29	36.10	36.10	37.29	36.30	36.10	28.87	28.87	28.68	16.31	16.31	16.31
2009	5	23/05/2009	29/05/2009	37.87	37.05	36.99	37.87	37.05	36.99	29.67	29.67	29.47	16.31	16.31	16.31
2009	6	30/05/2009	05/06/2009	38.48	37.59	37.59	38.48	37.59	37.59	27.35	26.94	26.94	16.31	16.31	16.31
2009	6	06/06/2009	12/06/2009	35.14	34.97	34.97	35.14	34.97	34.97	26.14	25.56	25.39	16.31	16.31	16.31
2009	6	13/06/2009	19/06/2009	41.54	40.80	40.80	41.54	40.80	40.80	28.93	28.93	28.74	16.31	16.31	16.31
2009	6	20/06/2009	26/06/2009	43.11	42.72	42.68	43.11	42.72	42.68	31.07	30.17	30.17	31.07	30.17	30.17
2009	7	27/06/2009	03/07/2009	51.96	51.60	51.60	51.96	51.60	51.60	43.08	43.08	43.08	43.08	43.08	43.08
2009	7	04/07/2009	10/07/2009	39.62	38.84	38.84	39.62	38.84	38.84	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40
2009	7	11/07/2009	17/07/2009	31.78	31.46	31.28	31.78	31.46	31.28	25.45	25.45	25.45	25.45	25.45	25.45
2009	7	18/07/2009	24/07/2009	21.00	20.76	20.73	21.00	20.76	20.73	17.32	17.32	17.31	17.32	17.32	17.31
2009	7	25/07/2009	31/07/2009	21.67	21.50	21.45	21.67	21.50	21.45	21.67	21.50	21.45	21.67	21.50	21.45
2009	8	01/08/2009	07/08/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	8	08/08/2009	14/08/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	8	15/08/2009	21/08/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	8	22/08/2009	28/08/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	9	29/08/2009	04/09/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	9	05/09/2009	11/09/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	9	12/09/2009	18/09/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	9	19/09/2009	25/09/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	10	26/09/2009	02/10/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	10	03/10/2009	09/10/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	10	10/10/2009	16/10/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	10	17/10/2009	23/10/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	10	24/10/2009	30/10/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	11	31/10/2009	06/11/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	11	07/11/2009	13/11/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	11	14/11/2009	20/11/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	11	21/11/2009	27/11/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	12	28/11/2009	04/12/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	12	05/12/2009	11/12/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	12	12/12/2009	18/12/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	12	19/12/2009	25/12/2009	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2009	12	26/12/2009	01/01/2010	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31	16.31
2010	1	02/01/2010	08/01/2010	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80
2010	1	09/01/2010	15/01/2010	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80
2010	1	16/01/2010	22/01/2010	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80
2010	1	23/01/2010	29/01/2010	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80
2010	2	30/01/2010	05/02/2010	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80
2010	2	06/02/2010	12/02/2010	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80
2010	2	13/02/2010	19/02/2010	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	14.84	14.84	14.84	12.80	12.80	12.80
2010	2	20/02/2010	26/02/2010	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	16.97	16.97	16.97	12.80	12.80	12.80
2010	3	27/02/2010	05/03/2010	33.29	31.34	23.28	33.29	31.34	23.28	34.81	34.56	34.56	33.29	31.34	23.28
2010	3	06/03/2010	12/03/2010	17.70	17.57	12.80	17.70	17.57	12.80	20.89	20.89	20.89	17.70	17.57	12.80
2010	3	13/03/2010	19/03/2010	25.99	25.70	12.80	25.99	25.70	12.80	25.99	25.70	25.55	25.99	25.70	12.80
2010	3	20/03/2010	26/03/2010	36.72	36.17	35.05	36.72	36.17	35.05	36.67	36.17	35.38	36.67	36.17	35.05
2010	4	27/03/2010	02/04/2010	38.83	38.19	37.15	38.83	38.19	37.15	38.83	38.19	38.19	38.83	38.19	37.15
2010	4	03/04/2010	09/04/2010	26.76	26.09	12.80	26.76	26.09	12.80	26.76	26.58	26.58	26.76	26.09	12.80
2010	4	10/04/2010	16/04/2010	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	20.63	20.63	20.63	12.80	12.80	12.80
2010	4	17/04/2010	23/04/2010	24.81	24.47	23.26	24.81	24.47	23.26	24.62	24.47	23.48	24.62	24.47	23.26
2010	4	24/04/2010	30/04/2010	24.00	23.67	22.09	24.00	23.67	22.09	23.67	23.67	22.71	23.67	23.67	22.09
2010	5	01/05/2010	07/05/2010	25.16	24.87	22.35	25.16	24.87	13.46	25.16	25.01	25.01	25.16	24.87	22.35
2010	5	08/05/2010	14/05/2010	30.27	29.69	22.87	30.27	29.69	12.80	30.60	30.60	30.60	30.27	29.69	22.87
2010	5	15/05/2010	21/05/2010	33.77	33.05	32.43	33.77	33.05	32.43	34.48	34.48	34.48	33.77	33.05	32.43
2010	5	22/05/2010	28/05/2010	36.25	35.22	34.49	36.25	35.22	27.90	36.25	36.25	36.25	36.25	35.22	34.57
2010	6	29/05/2010	04/06/2010	58.07	56.44	56.07	58.07	56.44	56.07	58.07	56.44	56.07	58.07	56.44	56.07
2010	6	05/06/2010	11/06/2010	61.38	60.86	59.90	61.38	60.86	59.90	61.38	60.86	59.90	61.38	60.86	59.90
2010	6	12/06/2010	18/06/2010	60.48	59.88	59.49	60.48	59.88	59.49	60.48	59.88	59.49	60.48	59.88	59.49
2010	6	19/06/2010	25/06/2010	66.05	65.88	65.43	66.05	65.88	65.43	66.05	65.88	65.43	66.05	65.88	65.43
2010	7	26/06/2010	02/07/2010	103.36	1										

Anexo A (continuação)

Ano	Mês	Data Início	Data Fim	Pesado SE	Médio SE	Leve SE	Pesado S	Médio S	Leve S	Pesado NE	Médio NE	Leve NE	Pesado N	Médio N	Leve N
2010	9	04/09/2010	10/09/2010	137.60	125.78	124.43	128.26	125.78	124.43	174.53	174.53	174.53	174.53	174.53	174.53
2010	9	11/09/2010	17/09/2010	122.46	117.30	115.68	122.46	117.30	115.68	172.78	171.65	171.65	172.78	171.65	171.65
2010	9	18/09/2010	24/09/2010	139.53	132.52	130.72	134.59	132.52	130.72	187.76	187.76	187.76	187.76	187.76	187.76
2010	10	25/09/2010	01/10/2010	170.74	168.95	167.47	170.74	168.95	167.47	246.32	246.32	246.32	246.32	246.32	246.32
2010	10	02/10/2010	08/10/2010	149.09	142.04	135.97	149.09	142.04	135.97	221.61	221.61	221.61	221.61	221.61	221.61
2010	10	09/10/2010	15/10/2010	124.99	117.78	112.70	124.99	117.78	112.70	181.54	180.34	180.34	181.54	180.34	180.34
2010	10	16/10/2010	22/10/2010	146.88	144.62	140.34	146.88	144.62	140.34	257.54	257.54	257.54	257.54	257.54	257.54
2010	10	23/10/2010	29/10/2010	145.43	145.38	140.62	145.43	145.38	140.62	294.33	292.40	292.40	294.33	292.40	292.40
2010	11	30/10/2010	05/11/2010	149.48	149.03	147.15	149.48	149.03	147.15	149.48	149.03	147.15	149.48	149.03	147.15
2010	11	06/11/2010	12/11/2010	121.71	121.71	117.68	121.71	121.71	117.68	121.71	117.68	117.68	121.71	121.71	117.68
2010	11	13/11/2010	19/11/2010	128.58	127.22	125.45	128.58	127.22	125.45	128.58	125.45	125.45	128.58	127.22	125.45
2010	11	20/11/2010	26/11/2010	103.41	103.41	98.34	103.41	103.41	98.34	103.41	98.15	98.15	103.41	103.41	98.34
2010	12	27/11/2010	03/12/2010	81.79	81.79	77.56	81.79	81.79	77.56	81.79	77.56	77.56	81.79	81.79	77.56
2010	12	04/12/2010	10/12/2010	92.88	92.88	84.74	92.88	92.88	84.74	83.00	82.34	82.34	92.88	92.88	84.74
2010	12	11/12/2010	17/12/2010	78.04	77.21	72.00	78.04	77.21	72.00	78.04	72.00	72.00	78.04	77.21	72.00
2010	12	18/12/2010	24/12/2010	66.99	64.68	61.98	66.99	64.68	61.98	66.99	61.98	61.98	66.99	64.68	61.98
2010	12	25/12/2010	31/12/2010	55.09	53.87	52.44	55.09	53.87	52.44	55.09	53.43	52.44	55.09	53.87	52.44
2011	1	01/01/2011	07/01/2011	58.15	56.42	54.56	58.15	56.42	54.56	58.15	56.42	54.56	58.15	56.42	54.56
2011	1	08/01/2011	14/01/2011	18.59	18.59	17.91	18.59	18.59	17.91	18.59	18.59	17.91	18.59	18.59	17.91
2011	1	15/01/2011	21/01/2011	26.06	26.06	24.88	26.06	26.06	24.88	25.93	25.93	24.88	25.93	25.93	24.88
2011	1	22/01/2011	28/01/2011	22.64	22.61	21.56	22.64	22.61	21.56	22.64	22.61	22.39	22.64	22.61	21.56
2011	2	29/01/2011	04/02/2011	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	22.40	22.40	22.40	12.08	12.08	12.08
2011	2	05/02/2011	11/02/2011	39.87	39.87	38.24	39.87	39.87	38.24	39.87	39.87	38.24	39.87	39.87	38.24
2011	2	12/02/2011	18/02/2011	52.21	52.21	50.18	52.21	52.21	50.18	52.21	52.21	50.18	52.21	52.21	50.18
2011	2	19/02/2011	25/02/2011	60.54	60.11	56.99	60.54	60.11	56.99	60.29	60.11	57.83	60.29	60.11	56.99
2011	3	26/02/2011	04/03/2011	84.34	84.22	80.78	84.34	84.22	80.78	84.34	84.22	84.22	84.34	84.22	80.78
2011	3	05/03/2011	11/03/2011	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08
2011	3	12/03/2011	18/03/2011	38.27	35.92	18.77	38.27	35.92	18.77	38.27	38.27	38.27	38.27	35.92	18.77
2011	3	19/03/2011	25/03/2011	13.72	13.47	12.08	13.72	13.47	12.08	13.72	13.47	13.47	13.72	13.47	12.08
2011	4	26/03/2011	01/04/2011	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08
2011	4	02/04/2011	08/04/2011	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08
2011	4	09/04/2011	15/04/2011	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08
2011	4	16/04/2011	22/04/2011	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08
2011	4	23/04/2011	29/04/2011	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08
2011	5	30/04/2011	06/05/2011	15.94	15.62	15.31	15.94	15.62	15.31	15.94	15.62	15.38	15.94	15.62	15.31
2011	5	07/05/2011	13/05/2011	14.32	13.91	13.54	14.32	13.91	13.54	13.79	13.79	13.54	13.78	13.78	13.54
2011	5	14/05/2011	20/05/2011	15.91	15.64	15.11	15.91	15.64	15.11	15.91	15.64	15.11	15.91	15.64	15.11
2011	5	21/05/2011	27/05/2011	17.46	17.09	16.90	17.46	17.09	16.90	17.46	17.09	16.90	17.46	17.09	16.90
2011	6	28/05/2011	03/06/2011	30.46	29.96	29.96	30.46	29.96	29.96	30.46	29.81	28.60	30.46	29.81	28.60
2011	6	04/06/2011	10/06/2011	33.25	32.74	32.73	33.25	32.74	32.73	33.25	32.74	32.73	33.25	32.74	32.73
2011	6	11/06/2011	17/06/2011	35.72	35.01	34.63	35.72	35.01	34.63	35.72	35.01	34.63	35.72	35.01	34.63
2011	6	18/06/2011	24/06/2011	30.59	29.78	29.23	30.59	29.78	29.23	30.59	29.78	29.23	30.59	29.78	29.23
2011	6	25/06/2011	01/07/2011	31.22	30.73	29.70	31.22	30.73	29.70	31.22	30.73	29.70	31.22	30.73	29.70
2011	7	02/07/2011	08/07/2011	28.23	27.88	27.48	28.23	27.88	27.48	28.23	27.88	27.48	28.23	27.88	27.48
2011	7	09/07/2011	15/07/2011	23.75	23.14	22.96	23.75	23.14	22.96	23.75	23.14	22.97	23.75	23.14	22.97
2011	7	16/07/2011	22/07/2011	21.80	20.92	20.79	21.80	20.92	20.79	21.80	20.92	20.79	21.80	20.92	20.79
2011	7	23/07/2011	29/07/2011	20.26	19.43	18.80	20.26	19.43	18.80	20.26	19.43	19.40	20.26	19.43	19.37
2011	8	30/07/2011	05/08/2011	24.21	23.81	22.98	22.71	22.71	12.08	24.21	23.81	22.98	24.21	23.81	22.98
2011	8	06/08/2011	12/08/2011	16.97	16.35	15.68	16.97	12.08	12.08	16.97	16.35	15.68	16.97	16.35	15.68
2011	8	13/08/2011	19/08/2011	18.68	18.09	17.34	18.68	18.09	12.08	18.68	18.09	17.34	18.68	18.09	17.34
2011	8	20/08/2011	26/08/2011	25.08	24.40	23.41	23.41	23.41	12.08	25.08	24.40	23.41	25.08	24.40	23.41
2011	9	27/08/2011	02/09/2011	17.60	16.77	15.90	12.08	12.08	12.08	17.60	16.77	16.09	17.60	16.77	16.09
2011	9	03/09/2011	09/09/2011	18.07	17.47	16.73	12.08	12.08	12.08	18.07	17.47	16.73	18.07	17.47	16.73
2011	9	10/09/2011	16/09/2011	21.44	21.01	20.25	20.25	20.25	12.08	21.44	21.01	20.25	21.44	21.01	20.25
2011	9	17/09/2011	23/09/2011	24.84	23.80	22.83	24.84	23.80	12.08	24.84	23.80	22.83	24.84	23.80	22.83
2011	9	24/09/2011	30/09/2011	25.76	24.80	23.61	25.76	24.80	12.08	25.76	24.80	23.61	25.76	24.80	23.61
2011	10	01/10/2011	07/10/2011	44.03	43.42	41.99	44.03	43.42	41.55	44.03	43.42	41.99	44.03	43.42	41.99
2011	10	08/10/2011	14/10/2011	44.10	43.29	42.75	43.14	42.94	42.75	44.10	43.29	42.75	44.10	43.29	42.75
2011	10	15/10/2011	21/10/2011	39.14	38.92	37.48	39.14	38.92	37.48	39.14	38.92	37.54	39.14	38.92	37.48
2011	10	22/10/2011	28/10/2011	24.10	23.92	22.95	24.10	23.92	22.95	24.10	23.92	22.95	24.10	23.92	22.95
2011	11	29/10/2011	04/11/2011	39.32	38.44	37.73	39.32	38.44	37.73	39.32	38.44	37.73	39.32	38.44	37.73
2011	11	05/11/2011	11/11/2011	44.03	44.03	42.94	44.03	44.03	42.94	44.03	44.03	42.94	44.03	44.03	42.94
2011	11	12/11/2011	18/11/2011	40.41	39.72	39.01	40.41	39.72	39.00	40.41	39.72	39.01	40.41	39.72	39.01
2011	11	19/11/2011	25/11/2011	45.45	45.45	43.94	45.45	45.45	43.94	45.45	45.45	43.94	45.45	45.45	43.94
2011	12	26/11/2011	02/12/2011	64.74	64.47	61.97	64.74	64.47	61.97	64.74	64.47	61.97	64.74	64.47	61.97
2011	12	03/12/2011	09/12/2011	52.45	52.45	49.68	52.45	52.45	49.68	52.45	52.45	49.68	52.45	52.45	49.68
2011	12	10/12/2011	16/12/2011	35.72	35.72	34.08	35.72	35.72	34.08	32.27	28.96	27.54	32.27	28.96	27.54
2011	12	17/12/2011	23/12/2011	45.73	45.70	44.38	45.73	45.70	44.38	38.66	34.68	34.51	38.66	34.68	34.51
2011	12	24/12/2011	30/12/2011	40.76	40.48	39.71	40.76	40.48	39.71	32.21	29.32	29.32	32.21	29.32	29.32
2012	1	31/12/2011	06/01/2012	47.73	47.47	45.31	47.73	47.47	45.31	47.73	12.20	12.20	47.73	12.20	12.20
2012	1	07/01/2012	13/01/2012	29.69	29.69	28.57	29.69	29.69							

Anexo A (conclusão)

Ano	Mês	Data Início	Data Fim	Pesado SE	Médio SE	Leve SE	Pesado S	Médio S	Leve S	Pesado NE	Médio NE	Leve NE	Pesado N	Médio N	Leve N
2012	3	24/03/2012	30/03/2012	134.91	133.48	130.51	134.91	133.48	130.51	134.91	133.48	130.51	134.91	133.48	130.51
2012	4	31/03/2012	06/04/2012	187.82	185.44	185.44	187.82	185.44	185.44	174.02	168.63	166.95	174.02	168.63	166.95
2012	4	07/04/2012	13/04/2012	201.95	194.07	186.15	201.95	201.95	186.15	189.58	187.38	186.15	189.58	187.38	186.15
2012	4	14/04/2012	20/04/2012	210.35	204.01	196.83	219.00	219.00	196.83	184.26	181.42	179.13	184.26	181.42	179.13
2012	4	21/04/2012	27/04/2012	197.19	192.76	189.19	197.19	192.76	189.19	197.19	192.76	189.19	197.19	192.76	189.19
2012	5	28/04/2012	04/05/2012	190.83	188.96	188.82	190.83	188.96	188.82	187.83	187.83	180.20	187.83	187.83	180.20
2012	5	05/05/2012	11/05/2012	181.05	180.20	179.28	181.05	180.20	179.28	181.05	180.20	179.28	181.05	180.20	179.28
2012	5	12/05/2012	18/05/2012	171.67	171.66	168.50	171.67	171.66	168.50	171.67	171.66	168.50	171.67	171.66	168.50
2012	5	19/05/2012	25/05/2012	191.92	191.89	188.99	191.92	191.89	188.99	191.92	191.89	188.99	191.92	191.89	188.99
2012	5	20/05/2012	01/06/2012	179.19	177.49	176.42	179.19	177.49	176.42	179.19	177.49	176.42	179.19	177.49	176.42

Anexo B – Série histórica de ENA (MWmed) na bacia do rio S. Francisco

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média
1931	14217	13666	19396	21068	14387	7267	5592	4826	4293	4047	5617	6269	10054
1932	11290	13701	9757	6113	4272	3853	3480	2952	2672	2849	5382	10522	6404
1933	14814	16852	10252	8167	5828	4047	3717	3212	2736	3221	5263	9327	7286
1934	17319	13767	7978	4935	5229	3514	2944	2656	2935	2908	2741	4715	5970
1935	12524	16832	17248	13596	12402	6131	4684	3763	3181	3172	3585	6867	8665
1936	8214	7588	12071	8744	6371	3927	3256	2795	2582	2885	4402	7720	5880
1937	13451	16549	13580	9622	7125	4407	3682	3083	2692	2719	6565	13748	8102
1938	18186	13692	11770	7307	5131	4254	3481	3075	2870	2740	4182	9149	7153
1939	15568	17543	15884	6684	4936	3889	3344	3100	2820	3740	3139	5076	7144
1940	9492	14243	18873	14317	6169	4365	3558	3175	2611	2790	5556	12406	8130
1941	14674	14132	13934	14280	9172	5030	4229	3797	3055	3279	4801	7144	8127
1942	13375	13982	15336	10938	7038	4656	3890	3333	3041	3860	6201	15348	8417
1943	19490	26927	25374	16170	8960	6400	5368	4571	3928	4032	6285	15148	11888
1944	18387	15205	15197	11653	7754	5208	4389	3801	3292	2876	4875	10876	8626
1945	16779	20733	23882	22124	25724	12966	7798	6212	5104	5490	9204	16408	14369
1946	21080	30690	14158	16283	11098	7397	5968	5122	4407	4515	5992	11228	11495
1947	11291	15117	18468	22961	14058	7090	5765	4893	4732	4303	8975	12618	10856
1948	18234	13837	16485	12491	6674	5453	4674	4026	3519	3672	4446	14457	8997
1949	22264	27887	37478	23211	10760	7845	6446	5433	4612	4234	8325	8814	13942
1950	13609	13822	10895	11568	8091	5223	4500	3895	3222	3714	5841	12206	8049
1951	12995	12541	14132	14649	8160	5580	4480	3821	3311	3044	2885	4371	7497
1952	9722	13939	17853	20722	10621	5940	4841	3949	3497	3469	4768	10008	9111
1953	11426	5354	7876	11359	6171	3959	3303	2900	2568	3174	4457	9000	5962
1954	13778	8164	9054	7383	4368	3683	2924	2554	2144	1916	2557	9741	5689
1955	7911	12001	6759	7758	4661	3204	2695	2352	2032	1955	5452	9618	5533
1956	15655	7760	13042	8613	5153	4904	4091	3186	2730	2494	3825	10883	6861
1957	17529	21069	21811	24039	18618	8689	6077	4962	4103	4462	4216	12482	12338
1958	11541	14926	10958	9297	7392	5078	4184	4219	3289	4258	5550	4862	7130
1959	10608	11303	10111	8737	4181	3376	3013	2674	2411	2452	4621	7711	5933
1960	9739	16672	25450	20713	7726	5347	4118	3421	2929	2662	3134	11382	9441
1961	16799	22937	19562	11140	7037	5282	4161	3531	2973	2577	3126	4601	8644
1962	10306	15952	13432	10170	6008	4454	3728	3074	2493	3270	5558	8886	7278
1963	16531	19505	11259	5145	4243	3342	2938	2675	2370	2146	2568	3409	6344
1964	9972	23243	17095	8501	4922	3522	3036	2765	2207	2536	7656	12216	8139
1965	15564	15496	16668	18000	9120	5605	4502	3805	3166	4014	7582	12206	9644
1966	13171	18259	19760	14299	8075	5821	4643	4094	3514	3531	5498	7536	9017
1967	15121	14181	13080	13036	8212	4694	3924	3400	2918	2684	4697	11320	8106
1968	16053	14192	19453	15959	7274	4919	4261	3865	3680	3628	4982	12633	9242
1969	9271	12023	12618	7801	4919	3724	3283	2910	2494	2614	6946	14362	6914
1970	17996	18596	14921	7853	5912	4254	3752	3277	3160	4431	8060	8263	8373
1971	4988	4265	5121	4889	3584	2618	2399	2163	2169	3181	6554	18168	5008
1972	15738	8603	10093	8878	5896	3790	3342	3138	2580	3891	5802	11522	6939
1973	13749	11422	11025	13684	6643	4398	3744	3058	2513	3672	9415	13034	8030
1974	13785	10673	12516	17900	9862	5255	4181	3689	3232	3164	5297	7222	8065
1975	12736	12157	8291	7165	6313	3768	3765	2898	2417	2712	6657	8283	6430
1976	6152	5770	6348	5347	3134	3025	2405	2246	2659	4305	6167	13841	5117
1977	14865	17850	6988	6763	5890	4025	3412	2815	2679	3323	4103	8191	6742
1978	16398	15517	19570	12141	8072	6634	4570	4339	3543	4266	6118	11155	9360
1979	17881	28203	45978	23178	11294	8249	6707	5838	5845	5901	9441	9920	14870
1980	18621	28947	32211	14114	10869	7106	6561	5577	4939	5209	6646	13495	12858
1981	17428	15418	13612	17845	8595	6053	4913	4421	4088	5394	12491	18497	10730
1982	20706	23499	22689	20968	12434	8093	6355	5325	4871	5064	5097	5813	11743
1983	15127	23459	28459	21669	14277	8394	6448	5786	4599	6058	11557	17700	13628
1984	19515	9733	8326	12126	6151	4320	3790	3411	4087	4355	5364	11251	7702
1985	17606	24677	22297	21551	9774	6050	4849	4301	4177	5243	6759	10250	11461

(continua)

Anexo B (conclusão)

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média
1986	18146	22846	15433	7505	5547	4140	3854	3826	3556	3056	3443	5656	8084
1987	9787	8150	7954	9022	5436	3681	3351	2665	2615	2941	4206	10491	5858
1988	16025	11356	13521	10243	6412	3847	3244	3261	3124	3239	5008	7514	7233
1989	11259	7968	9372	5721	4024	3162	3088	2915	2729	2896	5192	17434	6313
1990	27552	12316	9535	6511	4165	3262	3342	3086	3103	3391	4118	4722	7092
1991	10372	16052	14595	15961	7840	4714	3780	3431	3215	4158	5785	9598	8292
1992	14583	27798	39325	13379	8787	5736	4587	4215	4292	5673	12272	14951	12967
1993	17689	14159	12781	8122	5736	4403	3808	3645	3261	3811	3966	5753	7261
1994	15743	14657	14665	15188	6921	4955	4206	3425	3410	2709	2997	9162	8170
1995	8980	9237	9462	8235	5525	4247	3302	2897	2316	2816	5072	9511	5967
1996	13993	7180	6597	5700	4012	3135	2624	2060	2062	2428	5012	10355	5430
1997	18745	15085	12932	13279	7824	5374	4120	3713	3246	3369	3951	9499	8428
1998	10594	10074	9702	4963	3724	2970	2531	2343	2075	2132	5618	9428	5513
1999	9411	5773	11912	7741	3918	2734	2357	2023	2250	1808	4520	9395	5320
2000	12776	15464	13478	10852	5416	3664	2852	2939	2773	2414	5035	10726	7366
2001	10247	5277	5248	3919	2521	2468	1989	1843	1942	2188	3483	6494	3968
2002	15221	14308	10773	6850	3295	2652	2496	1931	1508	1939	2756	5512	5770
2003	12384	13394	8143	7895	4146	2955	2648	2227	2027	1495	2455	4829	5383
2004	9273	14869	19987	15829	8536	4548	3916	3066	2684	2623	3088	5464	7824
2005	12273	14671	14724	12342	6703	4408	3568	2940	2920	2754	4114	12908	7860
2006	13164	7192	10647	12634	6822	3922	3221	3015	2903	3938	7884	12169	7293
2007	17907	21551	20328	7769	4617	3857	3001	2950	2193	1761	1881	4671	7707
2008	6055	12098	13678	14247	5937	3432	2794	2520	2036	2199	2664	7150	6234
2009	16207	15216	10958	13193	7713	4589	3732	2950	3060	4054	7399	8056	8094
Média	14172	15086	15091	12060	7371	4847	3982	3469	3114	3391	5429	9941	8163

Anexo C – Resultados do Cenário I para o período abr/1998-mar/2005

Vazão média fornecida a uso consuntivo (UC), vazão turbinada média (R'), energia gerada (E), armazenamento médio dos reservatórios (Smédio), vazão vertida média (R'') e vazão transposta média (DE)

Reservatório	Transposição ativa			Transposição inativa		
	TMA300	TMA400	TMA500	TMA300	TMA400	TMA500
UC (m³/s)	RBA	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
	TMA	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
	QUE	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
	SOB	58,4	58,4	58,4	58,4	58,4
	ITP	50,8	50,8	50,8	50,8	50,8
	PAM	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
	XIN	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
R' (m³/s)	RBA	85,7	85,7	85,9	85,7	85,8
	TMA	521,9	531,3	539,1	521,6	533,3
	QUE	34,3	34,2	34,2	34,3	34,2
	SOB	1775,6	1774,0	1770,4	1775,1	1773,1
	ITP	1713,4	1711,8	1708,0	1739,3	1737,2
	PAM	1706,6	1705,0	1701,2	1732,4	1730,4
	XIN	1703,5	1701,9	1697,4	1729,4	1727,3
E (MWmed)	RBA	27,8	27,7	27,7	27,7	27,7
	TMA	226,6	229,1	226,8	226,6	229,7
	QUE	56,5	56,5	56,4	56,5	56,5
	SOB	373,1	374,3	378,2	373,4	375,2
	ITP	786,3	785,9	784,8	798,4	797,7
	PAM	1750,1	1748,4	1744,5	1776,6	1774,4
	XIN	1891,2	1889,4	1884,5	1919,2	1916,9
Smédio (hm³)	RBA	224,31	223,14	222,71	219,93	222,20
	TMA	14531,15	14250,12	13185,94	14549,85	14218,27
	QUE	385,91	388,36	391,74	383,61	390,75
	SOB	14292,58	14539,49	15157,35	14361,53	14681,65
	ITP	9937,24	9950,92	9977,83	9948,40	9961,36
R'' (m³/s)	RBA	42,24	42,25	42,01	42,26	42,04
	TMA	38,36	29,18	22,03	38,67	27,21
	QUE	6,00	6,02	6,07	6,00	6,00
	SOB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ITP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	PAM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	XIN	0,00	0,00	0,73	0,00	0,00
DE (m³/s)		26,4	26,4	26,4	0,0	0,0

Anexo D – Resultados do Cenário II para o período abr/1998-mar/2005

Vazão média fornecida a uso consuntivo (UC), vazão turbinada média (R'), energia gerada (E), armazenamento médio dos reservatórios (Smédio), vazão vertida média (R'') e vazão transposta média (DE)

Reservatório	Transposição ativa			Transposição inativa		
	TMA300	TMA400	TMA500	TMA300	TMA400	TMA500
UC (m³/s)	RBA	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
	TMA	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
	QUE	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	SOB	87,2	87,2	87,2	87,3	87,3
	ITP	76,1	76,1	76,1	76,1	76,1
	PAM	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	XIN	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
R' (m³/s)	RBA	84,9	85,1	85,1	85,1	85,0
	TMA	520,8	531,5	536,0	519,6	530,9
	QUE	34,1	34,1	34,0	34,1	34,0
	SOB	1743,1	1741,5	1738,3	1742,9	1740,9
	ITP	1655,8	1654,1	1650,8	1681,7	1679,9
	PAM	1647,9	1646,3	1643,0	1673,9	1672,1
	XIN	1644,7	1643,1	1639,8	1670,7	1668,8
E (MWmed)	RBA	27,6	27,5	27,6	27,5	27,5
	TMA	225,8	228,7	225,4	225,5	228,7
	QUE	56,2	56,2	56,1	56,2	56,2
	SOB	366,0	367,2	370,4	366,0	367,6
	ITP	759,4	758,8	757,9	771,9	770,8
	PAM	1689,9	1688,2	1684,8	1716,6	1714,6
	XIN	1827,4	1825,6	1822,0	1855,6	1853,5
Smédio (hm³)	RBA	226,09	223,72	224,52	221,33	221,06
	TMA	14474,95	14177,47	13154,74	14492,23	14213,42
	QUE	384,13	379,34	389,40	381,04	389,50
	SOB	14161,05	14417,15	14939,69	14182,98	14483,55
	ITP	9913,60	9923,35	9947,30	9942,36	9932,32
R'' (m³/s)	RBA	42,08	41,88	41,92	41,98	41,81
	TMA	35,40	24,85	20,99	36,63	25,42
	QUE	5,72	5,72	5,81	5,74	5,74
	SOB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ITP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	PAM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	XIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DE (m³/s)		26,4	26,4	26,4	0,0	0,0

Anexo E – Resultados do Cenário III para o período abr/1998-mar/2005

Vazão média fornecida a uso consuntivo (UC), vazão turbinada média (R'), energia gerada (E), armazenamento médio dos reservatórios (Smédio), vazão vertida média (R'') e vazão transposta média (DE)

Reservatório	Transposição ativa			Transposição inativa		
	TMA300	TMA400	TMA500	TMA300	TMA400	TMA500
UC (m³/s)	RBA	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
	TMA	12,9	12,9	12,9	12,9	12,9
	QUE	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
	SOB	115,8	115,8	115,8	115,9	115,9
	ITP	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3
	PAM	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
	XIN	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
R' (m³/s)	RBA	84,2	84,2	84,4	84,4	84,3
	TMA	520,7	531,0	533,8	519,9	531,0
	QUE	33,9	33,9	33,8	33,9	33,9
	SOB	1711,4	1709,7	1705,8	1711,0	1708,7
	ITP	1598,8	1597,2	1593,2	1624,8	1622,6
	PAM	1590,0	1588,3	1584,4	1615,9	1613,7
	XIN	1586,6	1585,0	1581,0	1612,6	1610,4
E (MWmed)	RBA	27,4	27,3	27,4	27,3	27,3
	TMA	224,9	227,7	223,9	224,8	228,2
	QUE	55,9	55,9	55,8	55,9	55,9
	SOB	358,6	360,1	363,6	358,8	360,5
	ITP	733,2	732,4	731,1	745,1	743,9
	PAM	1630,5	1628,8	1624,7	1657,1	1654,9
	XIN	1764,3	1762,5	1758,2	1792,5	1790,1
Smédio (hm³)	RBA	226,95	225,42	225,28	223,08	223,72
	TMA	14341,50	14061,13	13055,69	14381,73	14133,98
	QUE	382,31	379,55	390,59	383,39	382,64
	SOB	13960,88	14231,95	14867,30	14000,25	14347,56
	ITP	9907,29	9905,81	9929,29	9909,43	9899,60
R'' (m³/s)	RBA	41,93	41,88	41,72	41,70	41,76
	TMA	31,44	21,31	19,20	32,18	21,26
	QUE	5,45	5,47	5,54	5,45	5,44
	SOB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ITP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	PAM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	XIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DE (m³/s)		26,4	26,4	26,4	0,0	0,0

Anexo F – Resultados do Cenário IV para o período abr/1998-mar/2005

Vazão média fornecida a uso consuntivo (UC), vazão turbinada média (R'), energia gerada (E), armazenamento médio dos reservatórios (Smédio), vazão vertida média (R'') e vazão transposta média (DE)

	Reservatório	Transposição ativa			Transposição inativa		
		TMA300	TMA400	TMA500	TMA300	TMA400	TMA500
UC (m³/s)	RBA	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
	TMA	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1
	QUE	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
	SOB	144,1	144,1	144,1	144,2	144,2	144,2
	ITP	126,4	126,4	126,4	126,5	126,5	126,4
	PAM	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
	XIN	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
R' (m³/s)	RBA	83,7	83,7	83,7	83,8	83,8	83,7
	TMA	522,2	528,9	531,7	522,5	530,6	531,0
	QUE	33,8	33,7	33,6	33,8	33,8	33,7
	SOB	1679,3	1677,7	1673,9	1678,5	1677,0	1673,4
	ITP	1541,8	1540,2	1536,3	1567,3	1565,8	1562,0
	PAM	1531,9	1530,3	1526,4	1557,5	1555,9	1552,2
	XIN	1528,4	1526,8	1522,9	1554,0	1552,4	1548,7
E (MWmed)	RBA	27,2	27,1	27,2	27,1	27,1	27,1
	TMA	225,0	226,8	222,8	225,3	227,5	222,7
	QUE	55,5	55,5	55,4	55,6	55,5	55,5
	SOB	351,7	353,0	356,5	352,1	353,4	356,7
	ITP	706,4	705,9	704,8	718,2	717,7	716,6
	PAM	1571,0	1569,3	1565,3	1597,1	1595,5	1591,7
	XIN	1701,1	1699,3	1695,1	1728,8	1727,1	1723,1
Smédio (hm³)	RBA	226,10	224,79	225,35	222,00	223,38	223,26
	TMA	14236,13	14059,60	12971,25	14260,55	14043,88	13012,52
	QUE	365,90	379,95	391,05	374,24	372,40	386,06
	SOB	13841,23	14105,25	14743,57	13942,19	14190,15	14803,13
	ITP	9874,47	9882,28	9917,75	9880,33	9885,84	9917,59
R'' (m³/s)	RBA	41,54	41,51	41,49	41,43	41,43	41,49
	TMA	25,83	19,27	17,15	25,51	17,60	17,88
	QUE	5,13	5,20	5,28	5,15	5,15	5,22
	SOB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ITP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	PAM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	XIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DE (m³/s)		26,4	26,4	26,4	0,0	0,0	0,0

Anexo G – Resultados do Cenário V para o período abr/1998-mar/2005

Vazão média fornecida a uso consuntivo (UC), vazão turbinada média (R'), energia gerada (E), armazenamento médio dos reservatórios (Smédio), vazão vertida média (R'') e vazão transposta média (DE)

	Reservatório	Transposição ativa			Transposição inativa		
		TMA300	TMA400	TMA500	TMA300	TMA400	TMA500
UC (m³/s)	RBA	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
	TMA	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3
	QUE	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
	SOB	171,9	171,9	171,9	172,1	172,1	172,1
	ITP	151,4	151,4	151,4	151,5	151,5	151,5
	PAM	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
	XIN	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
R' (m³/s)	RBA	82,9	83,0	83,1	82,9	82,8	83,0
	TMA	521,4	527,4	529,3	519,8	527,4	529,3
	QUE	33,6	33,6	33,5	33,6	33,6	33,5
	SOB	1647,6	1646,2	1642,9	1647,4	1646,0	1642,1
	ITP	1485,2	1483,8	1480,4	1511,3	1510,0	1505,9
	PAM	1474,3	1472,9	1469,5	1500,4	1499,1	1495,0
	XIN	1470,7	1469,3	1465,9	1496,8	1495,5	1491,4
E (MWmed)	RBA	27,0	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9
	TMA	224,5	226,1	220,8	224,1	226,0	220,9
	QUE	55,1	55,2	55,2	55,1	55,2	55,2
	SOB	344,9	346,1	349,2	345,0	346,1	349,8
	ITP	680,0	679,5	678,7	692,1	691,5	690,6
	PAM	1511,8	1510,4	1506,9	1538,6	1537,2	1533,1
	XIN	1638,3	1636,8	1633,1	1666,7	1665,3	1660,8
Smédio (hm³)	RBA	226,37	225,10	224,76	223,33	223,82	223,83
	TMA	14200,73	14031,15	12824,97	14253,77	14017,49	12843,46
	QUE	360,49	358,53	386,51	357,17	364,57	376,21
	SOB	13761,05	13993,52	14551,67	13766,40	13994,25	14657,75
	ITP	9847,91	9852,43	9889,89	9850,79	9853,97	9900,74
R'' (m³/s)	RBA	41,38	41,29	41,25	41,39	41,49	41,29
	TMA	22,54	16,65	15,51	24,16	16,64	15,60
	QUE	4,92	4,92	5,00	4,89	4,89	4,95
	SOB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ITP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	PAM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	XIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DE (m³/s)		26,4	26,4	26,4	0,0	0,0	0,0

Anexo H – Resultados do Cenário VI para o período abr/1998-mar/2005

Vazão média fornecida a uso consuntivo (UC), vazão turbinada média (R'), energia gerada (E), armazenamento médio dos reservatórios (Smédio), vazão vertida média (R'') e vazão transposta média (DE)

Reservatório	Transposição ativa			Transposição inativa		
	TMA300	TMA400	TMA500	TMA300	TMA400	TMA500
UC (m ³ /s)	RBA	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1
	TMA	38,3	38,3	38,3	38,3	38,3
	QUE	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	SOB	330,4	325,1	309,3	355,3	349,8
	ITP	131,9	131,9	131,9	131,9	131,9
	PAM	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
	XIN	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
R' (m ³ /s)	RBA	78,2	78,3	78,1	78,2	78,3
	TMA	409,1	454,7	503,7	419,5	459,3
	QUE	34,1	34,1	32,4	34,1	34,1
	SOB	1461,8	1461,8	1464,7	1435,2	1435,2
	ITP	1319,2	1319,2	1321,5	1319,2	1319,2
	PAM	1309,3	1309,3	1311,6	1309,3	1309,3
	XIN	1306,2	1306,2	1308,5	1306,2	1306,2
E (MWmed)	RBA	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4
	TMA	181,9	199,4	208,4	186,9	201,8
	QUE	56,1	56,1	53,9	56,1	56,1
	SOB	309,0	313,7	327,4	304,9	309,7
	ITP	603,2	603,1	606,5	602,5	602,4
	PAM	1342,7	1342,7	1345,0	1342,7	1342,7
	XIN	1459,3	1459,3	1461,8	1459,3	1459,3
Smédio (hm ³)	RBA	223,43	224,84	224,15	224,51	224,32
	TMA	15692,70	14885,04	12369,69	15722,39	14932,11
	QUE	366,16	367,74	436,57	370,78	377,22
	SOB	14080,67	14787,10	16714,11	14263,35	15010,58
	ITP	9790,83	9782,57	9927,85	9742,42	9736,30
R'' (m ³ /s)	RBA	39,93	39,69	39,66	40,30	40,04
	TMA	91,73	91,76	91,78	94,38	92,45
	QUE	19,68	19,68	19,67	19,91	20,21
	SOB	54,76	61,08	62,79	85,15	102,51
	ITP	111,79	116,71	114,61	128,02	128,17
	PAM	94,34	101,59	102,50	112,75	117,00
	XIN	180,93	189,40	191,05	201,33	206,79
DE (m ³ /s)		26,4	0,0	26,4	0,0	0,0

Anexo I – Resultados do Cenário I para o período abr/1950-mar/1957

Vazão média fornecida a uso consuntivo (UC), vazão turbinada média (R'), energia gerada (E), armazenamento médio dos reservatórios (Smédio), vazão vertida média (R'') e vazão transposta média (DE)

	Reservatório	Transposição ativa			Transposição inativa		
		TMA300	TMA400	TMA437	TMA300	TMA400	TMA437
UC (m ³ /s)	RBA	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
	TMA	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
	QUE	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
	SOB	58,6	58,5	58,5	58,6	58,6	58,6
	ITP	50,9	50,9	50,9	50,9	50,9	50,9
	PAM	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
	XIN	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
R' (m ³ /s)	RBA	89,3	89,5	89,5	88,9	89,2	88,9
	TMA	464,9	465,1	465,2	462,4	464,4	461,7
	QUE	34,9	34,9	34,9	34,7	34,3	34,2
	SOB	2112,7	2103,5	2098,4	2083,3	2062,8	2071,6
	ITP	1999,8	1995,2	1993,0	2018,6	2015,6	2005,3
	PAM	2005,8	1998,9	1993,6	2022,5	2015,3	2010,1
	XIN	1916,1	1907,9	1902,0	1930,8	1922,4	1912,6
E (MWmed)	RBA	29,1	29,2	29,1	28,9	28,9	28,9
	TMA	209,2	209,6	209,6	207,3	208,9	207,8
	QUE	57,6	57,6	57,6	57,3	56,9	56,7
	SOB	460,9	461,9	465,1	453,3	452,5	457,4
	ITP	910,1	907,7	905,5	916,9	914,3	912,2
	PAM	2056,9	2049,8	2044,4	2074,0	2066,7	2061,3
	XIN	2118,0	2109,0	2102,5	2133,5	2124,4	2113,6
Smédio (hm ³)	RBA	228,72	227,21	226,27	225,07	221,78	223,84
	TMA	15751,11	15609,71	15462,09	15623,74	15540,34	15410,45
	QUE	410,25	410,25	405,43	414,07	421,55	424,15
	SOB	17811,02	18240,20	18752,78	17707,04	18131,59	18563,53
	ITP	9657,35	9644,61	9608,36	9590,12	9551,27	9650,51
R'' (m ³ /s)	RBA	39,93	39,69	39,66	40,30	40,04	40,28
	TMA	91,73	91,76	91,78	94,38	92,45	95,29
	QUE	19,68	19,68	19,67	19,91	20,21	20,31
	SOB	54,76	61,08	62,79	85,15	102,51	91,01
	ITP	111,79	116,71	114,61	128,02	128,17	135,30
	PAM	94,34	101,59	102,50	112,75	117,00	119,05
	XIN	180,93	189,40	191,05	201,33	206,79	213,47
DE (m ³ /s)		33,8	30,7	31,7	0,0	0,0	0,0

Anexo J – Resultados do Cenário II para o período abr/1950-mar/1957

Vazão média fornecida a uso consuntivo (UC), vazão turbinada média (R'), energia gerada (E), armazenamento médio dos reservatórios (Smédio), vazão vertida média (R'') e vazão transposta média (DE)

Reservatório	Transposição ativa			Transposição inativa		
	TMA300	TMA400	TMA437	TMA300	TMA400	TMA437
UC (m³/s)	RBA	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
	TMA	9,6	9,6	9,1	9,6	9,1
	QUE	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	SOB	87,7	87,7	87,9	87,7	87,9
	ITP	76,3	76,3	76,4	76,3	76,4
	PAM	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	XIN	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
R' (m³/s)	RBA	88,6	89,1	87,3	88,2	88,5
	TMA	462,3	463,8	463,8	456,7	459,6
	QUE	34,9	35,0	34,8	34,7	34,2
	SOB	2085,6	2079,0	2069,1	2054,0	2038,9
	ITP	1961,8	1959,5	1951,8	1981,9	1971,4
	PAM	1966,4	1959,0	1953,6	1983,1	1975,5
	XIN	1882,8	1874,2	1868,4	1897,3	1888,6
E (MWmed)	RBA	28,9	29,1	28,5	28,7	28,8
	TMA	208,1	208,6	208,7	205,6	206,9
	QUE	57,6	57,6	57,6	57,3	56,6
	SOB	454,9	457,4	460,0	447,5	448,2
	ITP	892,3	889,7	887,7	898,7	897,2
	PAM	2016,5	2008,9	2003,3	2033,6	2025,8
	XIN	2082,3	2072,9	2066,5	2097,7	2088,3
Smédio (hm³)	RBA	229,04	228,35	226,79	226,49	223,14
	TMA	15774,39	15497,16	15359,30	15789,13	15561,58
	QUE	398,97	396,91	415,49	409,84	423,53
	SOB	17719,94	18207,09	18806,95	17586,45	18046,44
	ITP	9636,50	9592,69	9654,79	9551,04	9676,77
R'' (m³/s)	RBA	39,66	39,16	41,00	40,07	39,75
	TMA	90,27	88,92	89,60	95,83	93,19
	QUE	19,20	19,17	19,32	19,47	19,94
	SOB	48,96	52,05	58,36	82,04	93,66
	ITP	92,74	91,73	98,53	106,90	113,62
	PAM	75,73	79,89	84,34	93,32	97,14
	XIN	156,04	161,38	166,23	175,83	180,72
DE (m³/s)		32,7	32,7	29,6	0,0	0,0

Anexo K – Resultados do Cenário III para o período abr/1950-mar/1957

Vazão média fornecida a uso consuntivo (UC), vazão turbinada média (R'), energia gerada (E), armazenamento médio dos reservatórios (Smédio), vazão vertida média (R'') e vazão transposta média (DE)

Reservatório	Transposição ativa			Transposição inativa		
	TMA300	TMA400	TMA437	TMA300	TMA400	TMA437
UC (m³/s)	RBA	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
	TMA	12,9	12,9	12,9	12,9	9,9
	QUE	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
	SOB	116,7	116,7	117,2	116,7	117,2
	ITP	101,6	101,6	101,8	101,6	101,8
	PAM	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
	XIN	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
R' (m³/s)	RBA	88,4	88,6	86,6	88,0	88,2
	TMA	460,5	460,6	463,8	455,3	454,2
	QUE	34,9	34,7	34,7	34,3	34,2
	SOB	2064,0	2054,6	2052,3	2034,8	2024,3
	ITP	1921,5	1914,9	1911,2	1942,7	1942,3
	PAM	1927,0	1919,3	1916,3	1944,1	1936,3
	XIN	1845,0	1837,3	1834,3	1861,9	1854,2
E (MWmed)	RBA	28,8	28,8	28,2	28,6	28,6
	TMA	207,2	207,5	208,7	205,1	204,7
	QUE	57,4	57,4	57,4	56,7	56,7
	SOB	449,3	450,9	454,8	444,3	445,8
	ITP	874,6	871,8	870,9	882,4	879,6
	PAM	1976,1	1968,2	1965,1	1993,6	1985,7
	XIN	2041,7	2033,3	2030,0	2059,8	2051,4
Smédio (hm³)	RBA	227,22	226,18	223,16	226,26	222,39
	TMA	15725,68	15549,15	15356,37	15809,35	15602,35
	QUE	395,68	411,34	415,26	410,39	421,04
	SOB	17513,28	17965,87	18573,91	17669,80	18204,84
	ITP	9672,39	9692,65	9713,19	9612,99	9521,73
R'' (m³/s)	RBA	38,92	38,81	40,75	39,35	39,13
	TMA	87,93	87,97	87,95	93,13	94,42
	QUE	18,81	18,92	18,94	19,36	19,43
	SOB	38,38	44,70	45,39	66,87	73,14
	ITP	75,34	81,97	85,97	86,31	83,02
	PAM	56,37	64,12	67,46	71,48	75,51
	XIN	134,99	142,67	146,00	150,30	154,26
DE (m³/s)		32,8	29,6	27,5	0,0	0,0

Anexo L – Resultados do Cenário IV para o período abr/1950-mar/1957

Vazão média fornecida a uso consuntivo (UC), vazão turbinada média (R'), energia gerada (E), armazenamento médio dos reservatórios (Smédio), vazão vertida média (R'') e vazão transposta média (DE)

Reservatório	Transposição ativa			Transposição inativa		
	TMA300	TMA400	TMA437	TMA300	TMA400	TMA437
UC (m³/s)	RBA	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
	TMA	16,1	16,1	10,6	16,1	16,1
	QUE	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
	SOB	145,5	145,5	146,5	145,6	145,5
	ITP	126,9	126,9	127,2	126,9	126,9
	PAM	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
	XIN	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
R' (m³/s)	RBA	87,8	87,9	85,8	87,6	88,0
	TMA	458,0	458,2	463,9	453,9	452,5
	QUE	34,9	34,8	34,8	34,7	34,5
	SOB	2031,1	2025,3	2026,0	2012,8	2008,2
	ITP	1887,4	1880,6	1878,3	1906,1	1902,0
	PAM	1887,4	1879,7	1878,8	1904,4	1896,7
	XIN	1805,4	1797,8	1796,9	1822,6	1815,0
E (MWmed)	RBA	28,6	28,6	28,0	28,5	28,5
	TMA	206,2	206,5	208,7	204,7	204,2
	QUE	57,5	57,5	57,5	57,3	57,3
	SOB	443,5	445,5	449,2	437,8	440,3
	ITP	856,6	854,0	853,9	863,4	860,5
	PAM	1935,5	1927,6	1926,7	1952,9	1945,0
	XIN	1999,1	1990,8	1989,8	2017,5	2009,2
Smédio (hm³)	RBA	227,81	225,71	225,87	224,23	221,19
	TMA	15743,65	15546,99	15348,86	15845,49	15625,12
	QUE	390,53	413,29	414,39	394,61	426,02
	SOB	17573,48	18021,87	18492,74	17483,61	17968,10
	ITP	9580,73	9607,59	9644,02	9526,98	9498,76
R'' (m³/s)	RBA	38,65	38,53	40,68	38,82	38,48
	TMA	86,29	86,30	86,30	90,39	92,00
	QUE	18,29	18,42	18,43	18,49	18,67
	SOB	37,63	40,31	41,08	56,43	57,48
	ITP	53,06	58,89	62,02	65,63	66,39
	PAM	38,52	45,25	47,05	52,85	57,16
	XIN	116,98	123,60	125,38	131,11	135,34
DE (m³/s)		30,6	28,4	28,5	0,0	0,0

Anexo M – Resultados do Cenário V para o período abr/1950-mar/1957

Vazão média fornecida a uso consuntivo (UC), vazão turbinada média (R'), energia gerada (E), armazenamento médio dos reservatórios (Smédio), vazão vertida média (R'') e vazão transposta média (DE)

Reservatório		Transposição ativa			Transposição inativa		
		TMA300	TMA400	TMA437	TMA300	TMA400	TMA437
UC (m³/s)	RBA	5,4	5,4	4,1	5,4	5,4	4,1
	TMA	19,3	19,3	12,7	19,3	19,3	12,7
	QUE	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
	SOB	174,1	174,0	175,7	174,2	174,1	175,7
	ITP	152,1	152,1	152,6	152,1	152,1	152,6
	PAM	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
	XIN	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
R' (m³/s)	RBA	87,2	87,2	86,5	87,0	87,1	86,0
	TMA	455,2	455,4	463,8	450,7	450,9	458,9
	QUE	34,7	34,6	34,6	34,4	34,4	34,5
	SOB	2006,2	2000,9	2004,5	1989,5	1982,4	1987,4
	ITP	1848,9	1836,4	1833,5	1865,2	1853,3	1854,6
	PAM	1842,8	1834,9	1836,0	1863,4	1855,3	1856,7
	XIN	1765,9	1758,1	1759,2	1783,1	1775,2	1776,5
E (MWmed)	RBA	28,4	28,4	28,2	28,2	28,3	28,1
	TMA	205,2	205,4	208,8	203,3	203,4	206,6
	QUE	57,2	57,2	57,2	56,7	57,1	57,1
	SOB	437,6	439,9	443,4	434,2	434,2	438,0
	ITP	838,9	836,3	837,1	846,4	843,4	844,3
	PAM	1889,8	1881,6	1882,7	1910,9	1902,6	1903,9
	XIN	1956,7	1948,0	1949,2	1975,1	1966,4	1967,7
Smédio (hm³)	RBA	227,59	227,44	226,03	224,27	224,13	226,42
	TMA	15773,99	15557,17	15372,23	15831,59	15577,10	15399,14
	QUE	400,10	415,30	418,56	399,93	419,21	416,71
	SOB	17378,53	17853,02	18258,18	17452,70	17815,53	18232,34
	ITP	9580,30	9703,09	9780,41	9585,95	9686,74	9700,13
R'' (m³/s)	RBA	38,32	38,34	40,44	38,61	38,48	40,90
	TMA	84,93	84,93	84,68	89,48	89,46	89,61
	QUE	18,10	18,17	18,18	18,43	18,32	18,30
	SOB	30,91	33,04	33,21	47,18	51,82	50,53
	ITP	35,90	47,89	49,53	48,56	57,63	59,47
	PAM	26,45	33,93	31,54	34,85	40,11	41,92
	XIN	99,68	107,01	104,66	111,50	116,59	118,44
DE (m³/s)		29,5	26,4	30,5	0,0	0,0	0,0

Anexo N – Resultados do Cenário VI para o período abr/1950-mar/1957

Vazão média fornecida a uso consuntivo (UC), vazão turbinada média (R'), energia gerada (E), armazenamento médio dos reservatórios (Smédio), vazão vertida média (R'') e vazão transposta média (DE)

Reservatório	Transposição ativa			Transposição inativa			
	TMA300	TMA400	TMA437	TMA300	TMA400	TMA437	
UC (m³/s)	RBA	12,9	12,9	9,6	12,9	12,9	9,6
	TMA	38,3	37,1	17,7	38,3	37,1	17,7
	QUE	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	SOB	412,2	421,3	424,3	412,8	422,1	424,5
	ITP	131,9	131,9	131,9	131,9	131,9	131,9
	PAM	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
	XIN	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
R' (m³/s)	RBA	82,6	82,1	82,7	82,6	82,3	83,1
	TMA	441,6	443,1	463,1	436,1	440,2	463,0
	QUE	34,8	34,6	34,5	34,7	34,5	34,5
	SOB	1757,0	1743,3	1763,9	1757,5	1743,5	1763,6
	ITP	1632,2	1618,6	1637,9	1658,4	1644,0	1662,6
	PAM	1619,1	1605,4	1625,6	1645,3	1631,3	1651,0
	XIN	1604,4	1586,2	1604,6	1625,7	1607,2	1625,6
E (MWmed)	RBA	27,0	26,8	27,0	26,9	26,7	27,1
	TMA	198,2	199,1	208,2	196,5	198,6	208,2
	QUE	57,3	57,3	57,3	57,3	57,3	57,3
	SOB	387,8	390,3	393,2	386,3	389,0	393,1
	ITP	749,2	742,5	751,7	761,1	754,0	763,2
	PAM	1660,3	1646,3	1667,0	1687,2	1672,9	1693,0
	XIN	1782,9	1763,0	1783,0	1805,9	1785,7	1805,6
Smédio (hm³)	RBA	229,45	226,25	227,96	225,75	222,10	226,82
	TMA	15480,04	15196,42	15322,17	15661,57	15348,72	15334,23
	QUE	399,17	423,99	436,26	413,35	436,90	432,71
	SOB	17243,40	18072,95	17922,20	17046,25	17904,69	17920,31
	ITP	9946,87	9924,58	9950,97	9939,70	9919,92	9955,94
R'' (m³/s)	RBA	35,43	36,00	38,63	35,44	35,83	38,26
	TMA	72,29	72,21	74,82	77,71	74,97	74,97
	QUE	19,28	19,41	19,50	19,38	19,50	19,49
	SOB	18,25	18,24	17,87	17,85	17,85	17,88
	ITP	12,58	12,58	13,43	12,89	13,35	14,86
	PAM	11,22	11,22	11,22	11,52	11,52	11,95
	XIN	22,76	27,26	29,04	27,95	32,46	34,21
DE (m³/s)	26,4	26,4	26,4	0,0	0,0	0,0	