UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**CÁLCULO DA ENERGIA ARMAZENADA USANDO
A TRANSFORMADA DA INCERTEZA**

RODOLFO ZAMIAN DANILOW

ORIENTADOR: IVAN MARQUES DE TOLEDO CAMARGO

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

BRASÍLIA / DF
DEZEMBRO / 2009

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**CÁLCULO DA ENERGIA ARMAZENADA USANDO
A TRANSFORMADA DA INCERTEZA**

RODOLFO ZAMIAN DANILOW

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

APROVADA POR:

**IVAN MARQUES DE TOLEDO CAMARGO, Doutor, ENE/UnB
(ORIENTADOR)**

**LEONARDO R.A.X. MENEZES, Doutor, ENE/UnB
(EXAMINADOR)**

**FERNANDO MONTEIRO FIGUEIREDO, Doutor, ENE/UnB
(EXAMINADOR)**

BRASÍLIA, 10 DE DEZEMBRO DE 2009.

AGRADECIMENTOS

A família, por todo o carinho e esforço para me abrir portas.

Ao professor Ivan, meu orientador, pela oportunidade oferecida e os ensinamentos dados.

Ao professor Leonardo Menezes, pela cooperação essencial.

A minha namorada, Viviane, pelo companheirismo e amor.

Aos amigos, sempre presentes e fonte de motivação.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Gráfico 2.1.....	7
Gráfico 2.2.....	11
Gráfico 2.3.....	13
Gráfico 4.1.....	23
Gráfico 4.2.....	24
Gráfico 4.3.....	27
Gráfico 4.4.....	27
Gráfico 4.5.....	29
Gráfico 4.6.....	29
Gráfico 4.7.....	30
Gráfico 4.8.....	30
Gráfico 4.9.....	33
Gráfico 4.10.....	33
Gráfico 4.11.....	34
Gráfico 4.12.....	34
Gráfico 4.13.....	37
Gráfico 4.14.....	37
Gráfico 4.15.....	38
Gráfico 4.16.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1.....	6
Tabela 2.7.....	7
Tabela 3.1.....	20
Tabela 4.1.....	24
Tabela 4.2.....	25
Tabela 4.3.....	35
Tabela 4.4.....	39
Tabela 4.5.....	39
Tabela I.A.....	45
Tabela I.B.....	45
Tabela I.C.....	46
Tabela I.D.....	46
Tabela II.A.....	47
Tabela II.B.....	47
Tabela II.C.....	47
Tabela III.A.....	48
Tabela III.B.....	48
Tabela III.C.....	48
Tabela IV.A.....	49
Tabela IV.B.....	49
Tabela IV.C.....	49
Tabela V.....	50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. O PROBLEMA DA ENERGIA ARMAZENADA	3
2.1. MÉTODO DE PREVISÃO DA ENERGIA ARMAZENADA DE UM SUBSISTEMA UTILIZANDO SEU BALANÇO ENERGÉTICO E A MÉDIA DOS SEUS TERMOS.....	6
2.2. MÉTODO DE PREVISÃO DA ENERGIA ARMAZENADA EM UM SUBSISTEMA UTILIZANDO SEU BALANÇO ENERGÉTICO, A MÉDIA DOS SEUS TERMOS E O DESVIO-PADRÃO DA ENERGIA NATURAL AFLUENTE ...	9
3. A TRANSFORMADA DA INCERTEZA	15
3.1. PREVISÃO DA ENERGIA ARMAZENADA UTILIZANDO O BALANÇO ENERGÉTICO E A TRANSFORMADA DA INCERTEZA.....	18
4. RESULTADOS E ANÁLISES	22
4.1. SUBSISTEMA SUDESTE/CENTRO-OESTE.....	23
4.1.1. PROPOSTA DE UM NOVO CASO	26
4.2. SUBSISTEMA NORTE	29
4.3. SUBSISTEMA SUL.....	33
4.4. SUBSISTEMA NORDESTE.....	37
5. CONCLUSÕES	41
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
APÊNDICE.....	45

1. INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico Brasileiro – SEB – é um sistema hidrotérmico com grande predominância de usinas hidrelétricas. Segundo o Banco de Informação de Geração [1], um informativo com os dados sobre o parque gerador brasileiro, elaborado pela Agência Nacional de Energia Elétrica, a Aneel, a capacidade de geração instalada no país é de 114.061 MW, do qual as hidrelétricas participam com 68,65%.

Várias linhas de transmissão conectam as usinas de geração de energia elétricas às distribuidoras locais e às outras cargas. Todos esses agentes estão conectados eletricamente entre si, com exceção apenas dos estados do Amazonas, Roraima e Amapá, formando o Sistema Interligado Nacional, o SIN. Ele é constituído por quatro subsistemas, a saber: Sudeste/Centro-Oeste, Norte, Sul e Nordeste. O SIN é responsável por mais de 97% da carga do país [2], e é nele que este trabalho está interessado.

O planejamento prévio da operação do SIN é feito continuamente por órgãos ligados ao Governo Federal. O Operador Nacional do Sistema Elétrico, o ONS, é responsável pelo planejamento de médio e de curto prazo. A Empresa de Pesquisa Energética, que está ligada ao Ministério de Minas e Energia, é responsável pelo planejamento de longo prazo [3].

A composição do sistema elétrico brasileiro impõe a necessidade de um intenso e contínuo estudo acerca da hidrologia que envolve a operação das usinas hidrelétricas. Um dos aspectos de suma importância que se deve conhecer é a quantidade de água armazenada nos reservatórios das hidrelétricas, que está diretamente ligado à disponibilidade de geração de energia elétrica. Essa quantidade de volume de água pode ser traduzida em energia armazenada.

O objetivo deste trabalho é prever a quantidade de energia armazenada no reservatório equivalente de um subsistema com o resultado no formato de uma faixa de valores, para um ano, mês a mês. Esse processo é estocástico e envolve a combinação de variáveis aleatórias em um processo não-linear. A ferramenta usada será a Transformada da Incerteza, que provê uma técnica para obter as características da função densidade de probabilidade do resultado desse processo.

A primeira abordagem para o problema no Capítulo 2 será uma proposta de solução simples, que faz a previsão de energia armazenada tentando acertar exatamente o valor real. A

segunda propõe uma faixa de valores que contenha o valor real, já usando algumas características estatísticas das variáveis aleatórias.

No Capítulo 3, será apresentada e explicada a Transformada da Incerteza, que fornecerá ao problema da previsão um modelamento das suas incertezas inerentes. Posteriormente, essa ferramenta será inserida no problema para constituir o método de previsão de energia armazenada a que objetiva esse trabalho.

Simulações com esse método foram feitas para os quatro subsistemas do SIN, e os resultados obtidos são apresentados e analisados no Capítulo 4.

Todos os dados usados por este trabalho foram obtidos do banco de dados do ONS que está disponibilizado em seu sítio eletrônico. As tabelas contendo os dados utilizados estão anexadas ao final do trabalho.

2. O PROBLEMA DA ENERGIA ARMAZENADA

As hidrelétricas têm uma dependência enorme do regime hidrológico. Seu princípio de funcionamento é represar e armazenar a água de um rio para realizar a conversão da energia potencial da água para energia cinética e depois para energia elétrica.

Uma característica importante do sistema elétrico é a presença de várias usinas em um mesmo rio, ditas estarem em cascata. Assim, a água que gera energia em uma usina segue pelo rio para a de jusante, aonde também será aproveitada para geração de energia elétrica.

As usinas hidrelétricas que represam e armazenam água são qualificadas como usinas com reservatório, onde o volume da água armazenada é suficiente para gerar energia por um longo período. Elas também têm a função de regularizar a vazão de água que segue para o rio e para as usinas à jusante [4].

Outra qualificação é a de usina a fio d'água, que tem como característica trabalhar a nível constante. Neste tipo de usina, a vazão afluente do rio é igual à vazão defluente e a conversão de energia se dá diretamente da energia cinética da água para a energia elétrica [4].

O comportamento das chuvas no país ao longo de um ano impõe dois momentos bastante distintos: um período chuvoso e um seco. Esse período seco é bastante crítico para o Sistema Elétrico Brasileiro, pois o volume de água nos rios diminui e, conseqüentemente, a disponibilidade de geração hídrica fica reduzida. No período chuvoso, a abundância de chuvas e o grande volume de água nos rios são usados para gerar energia e estocar o máximo possível de água nos reservatórios das usinas. Portanto, para que o país tenha um sistema elétrico confiável, sem racionamento e com energia barata, é necessário realizar um planejamento energético que vise a manter os níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas em um patamar seguro ao longo do ano todo.

Os planejamentos energéticos feitos para o Brasil sempre devem combinar a geração hídrica com a geração térmica [5]. A geração térmica é mais cara que a hídrica, por utilizar combustível, geralmente de origem fóssil, mas dá ao sistema segurança e fornece energia sem depender das chuvas.

Um planejamento energético inadequado ocasiona conseqüências indesejáveis. Por um lado, exceder na geração térmica e diminuir a geração das hidrelétricas a fim de poupar água para os meses futuros encarece o custo da energia. Porém, se a quantidade de chuvas é grande, o encarecimento da energia foi desnecessário. Por outro lado, quando se abusa da geração

hidráulica e as chuvas não vêm na quantidade esperada, os reservatórios se esvaziam mais rapidamente, tornando necessário o despacho das usinas térmicas em emergência, o que também eleva o preço da energia. Em casos extremos, isso pode levar o país ao racionamento e a prejuízos incomensuráveis.

Portanto, as políticas de geração devem ser adotadas com um bom conhecimento das condições futuras do sistema, inclusive de quanta energia elétrica poderá ser gerada pelas hidrelétricas, principalmente durante o período seco. A grandeza que melhor mede a disponibilidade de geração de uma usina é quantidade de água armazenada nela.

O volume de água represada em uma usina pode ser traduzido para uma quantidade de energia, que representa a energia elétrica que pode ser gerada por esse volume.

Visando aos objetivos deste trabalho, será elaborada uma metodologia de previsão da energia armazenada. Para cada um dos subsistemas será considerado um reservatório de armazenamento de água, que equivale aos reservatórios de todas as hidrelétricas que o compõe. As previsões serão feitas com horizonte de um ano e têm intervalos mensais. Essas características são de planejamentos de médio prazo.

O sistema de geração hídrica de um subsistema pode ser representado por um balanço energético que considera os volumes de água afluente, de água armazenada e de água defluente de todas as suas usinas hidrelétricas. Assim, para um subsistema, o balanço energético é equacionado como [6]:

$$\mathbf{EAR(t) = EAR(t - 1) + ENA(t) - GH(t) - Vert(t)} \quad (2.1)$$

Onde:

- EAR é a Energia Armazenada em Reservatório, definida como a soma dos produtos do volume armazenado em cada reservatório de acumulação do subsistema, pela produtividade média deste e de todas as usinas a jusante. Representa a energia elétrica que pode ser gerada pela água represada na usina em questão e em todas à jusante [7];
- ENA é a Energia Natural Afluente, definida como a soma dos produtos da vazão natural afluente a cada usina pela sua produtividade média. Representa a energia elétrica que pode ser gerada pela água afluente a cada usina [7];
- GH é a Geração de Energia Hidráulica, que é a energia elétrica produzida pelas usinas hidrelétricas de um subsistema;

- Vert é o Vertimento, definido como o equivalente de energia elétrica que seria produzida pela água que é vertida ou perdida do reservatório.

Esse balanço energético será o ponto de partida para os métodos de previsão de energia armazenada que serão apresentados neste trabalho. Se t é um tempo futuro, a equação possibilita a estimação da energia armazenada de um subsistema.

O termo $EAR(t-1)$, para este problema, é a quantidade de energia armazenada em um subsistema no mês anterior ao mês de interesse. Essa grandeza é medida pelos operadores de cada hidrelétrica.

Os termos $GH(t)$ e $Vert(t)$ não são conhecidos. A Geração Hidrelétrica (GH) do mês t será definida pela carga, pelo intercâmbio entre subsistemas e pela geração térmica. As perdas, representadas por $Vert(t)$ também dependem do nível dos reservatórios.

O termo $ENA(t)$ não é conhecido nem pode ser determinado, pois depende principalmente das chuvas na região. A quantidade de chuvas é sempre imprevisível e, por isso, a energia natural afluyente é uma variável aleatória neste problema.

Estimar essa variável é, portanto, fundamental para a previsão da energia armazenada e é um ponto importante a ser tratado neste trabalho.

A seguir, serão apresentados métodos de previsão da energia armazenada baseados em (2.1) e com abordagens simples. Os termos do balanço energéticos serão considerados iguais às médias do histórico de seus dados.

2.1. MÉTODO DE PREVISÃO DA ENERGIA ARMAZENADA DE UM SUBSISTEMA UTILIZANDO SEU BALANÇO ENERGÉTICO E A MÉDIA DOS SEUS TERMOS

O Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS- mantém e disponibiliza um banco de dados com o histórico da operação de cada subsistema. Esses dados são usados neste método para obter a média histórica de cada um dos termos de (2.1).

A proposta deste método é igualar os termos $ENA(t)$, $GH(t)$ e $Vert(t)$ às médias dos dados históricos.

A simulação será feita para o subsistema Sudeste/Centro-Oeste, devido à sua importância no cenário nacional. O ano escolhido para ser feita a previsão é o ano de 2008, por este ser o ano mais recente do qual se tem os dados reais de energia armazenada de todos os meses. Assim é possível comparar os valores obtidos pela previsão com os dados reais e analisar o rendimento do método.

As tabelas completas com os históricos supracitados são apresentadas no Anexo. A Tabela 2.1 apresenta as médias mensais de geração de energia hídrica e de vertimento, obtidas do histórico entre 2002 e 2007. São estes os valores utilizados para os termos $GH(t)$ e $Vert(t)$ na simulação.

Tabela 2.1

Médias mensais de GH e Vert, obtido do histórico de 2002 a 2007, em MWmédio.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
GH	26558	27437	28281	27810	25899	25558	25589	26879	26782	26985	26911	27576
VERT	6928	15337	7059	5818	1175	2646	1849	2728	2560	3619	2099	3698

Fonte: ONS.

Para essas grandezas, o cálculo da média não contemplou os dados dos anos 2000 e 2001, visto que a singular condição nesses anos, decorrente do racionamento, faz os dados estarem muito fora do padrão.

O histórico da energia natural afluenta é mais extenso, possui dados desde o ano 1931. A tabela a seguir apresenta as médias mensais do subsistema SE/CO. São apresentados também os respectivos desvios-padrão.

Tabela 2.2

Médias e Desvios-padrão mensais da ENA, obtidos do histórico entre 1931 a 2007, em MWmédio.

ENA	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	53531	56270	52114	38985	28507	24371	20310	17018	17071	20364	26066	39249
σ	15033	16701	14438	10150	7183	8168	5380	4006	5873	6908	7134	10310

Fonte: ONS.

O valor do termo $EAR(t-1)$ para o primeiro mês é o dado de energia armazenada de dezembro do ano anterior, que se pressupõe conhecido. Para os meses seguintes, a partir de fevereiro, o termo $EAR(t-1)$ recebe o valor de energia armazenada encontrado na previsão do mês anterior. Assim, o dado de entrada para $EAR(t-1)$ de fevereiro, por exemplo, é o valor obtido na previsão de janeiro.

Os resultados encontrados são apresentados no gráfico seguinte, juntamente com os valores reais disponibilizados pelo ONS.

Gráfico 2.1

Energia armazenada prevista e armazenada real do subsistema Sudeste/Centro-Oeste, em MWmédio, para o ano 2008.

Os valores obtidos para energia armazenada pelo presente método para os doze meses de 2008 compõem uma curva, que se assemelha à curva dos dados reais. Apesar dessa semelhança e de aparentemente ser uma boa previsão, uma análise mais profunda dos resultados mostra que esse método não é confiável.

A análise dos erros, ou seja, a diferença entre os valores reais e os valores previstos, mostra que eles não seguem qualquer padrão e é impossível saber quando eles irão ocorrer e com qual intensidade. Nesse exemplo, nos meses de janeiro e nos meses entre março e julho, os erros são grandes, da ordem de 8,5%. Já nos meses entre setembro e novembro, são pequenos, da ordem de 1%.

Também é possível perceber que essa proposta de solução é vulnerável a uma série de energia afluyente menos comportada, isto é, quando em um determinado ano, o regime de chuvas se afasta por demais da sua média. Isso ocorre, por exemplo, em anos de *El Niño* ou *La Niña*. O desvio-padrão da energia natural afluyente mostra que essa grandeza pode ocorrer com valores muito variados e, conseqüentemente, os erros deste método podem ser significativos.

Conclui-se então que este método não atinge os objetivos propostos para este trabalho.

A próxima proposta é, então, uma solução para a previsão de energia armazenada com o formato de uma faixa de valores, ao invés de apenas uma curva simples. Isso tem o objetivo de solucionar o problema da aleatoriedade da energia natural afluyente utilizando-se o conhecimento de seu comportamento estatístico.

2.2. MÉTODO DE PREVISÃO DA ENERGIA ARMAZENADA EM UM SUBSISTEMA UTILIZANDO SEU BALANÇO ENERGÉTICO, A MÉDIA DOS SEUS TERMOS E O DESVIO-PADRÃO DA ENERGIA NATURAL AFLUENTE

Dentre as grandezas do balanço energético apresentadas em (2.1), a que apresenta o maior desafio para se realizar a previsão da energia armazenada é a energia natural afluyente. Como foi afirmado anteriormente, essa é uma variável aleatória, que depende da quantidade das chuvas no subsistema. Por esse motivo, essa variável deve ser tratada com uma abordagem diferente.

O método anterior adota para o termo $ENA(t)$ de (2.1) a média histórica da energia afluyente. Dessa forma, tal método se mostrou não robusto, e percebeu-se que é insuficiente considerar apenas a média dessa grandeza.

A proposta deste novo método é, além de considerar a média histórica da energia natural afluyente, utilizar também o seu desvio-padrão. Assim, consideram-se todos os valores da faixa compreendida entre sua média menos seu desvio-padrão e sua média mais seu desvio-padrão. Espera-se, assim, que este método seja um aprimoramento do método anterior, aproximando-o mais da realidade e conferindo-lhe mais robustez.

O balanço energético (2.1) é o fundamento matemático também deste método.

Este método utiliza como dado de entrada para o termo $ENA(t)$ de (2.1) três valores: a média, a média mais o desvio-padrão e a média menos o desvio-padrão da energia natural afluyente. Essas características estatísticas são extraídas do histórico de valores de energia afluyente que o ONS mantém e disponibiliza para cada subsistema.

Os termos $GH(t)$ e $Vert(t)$ de (2.1) são tratados como no método anterior: ainda são usadas as médias mensais históricas. Ainda parte-se do princípio que a energia armazenada em dezembro do ano anterior é conhecida.

Como consequência do formato dos valores de entrada de energia afluyente, a energia armazenada a ser encontrada por esta previsão também será composta por uma faixa. A saída do termo $EAR(t)$ será composta por média e desvio-padrão.

O valor central da energia armazenada prevista depende dos valores de todos os termos de (2.1). Já o tamanho do intervalo da faixa será igual ao desvio-padrão do dado de entrada da energia afluyente.

Dessa forma, a saída para da variável $EAR(t)$ também tem três valores, formando, assim, uma faixa de valores.

Contudo, no mês seguinte, este método utiliza para o termo $EAR(t-1)$ de (2.1) apenas o valor médio da energia armazenada do mês anterior. Por exemplo: a previsão para o mês de maio insere em (2.1) o valor médio de energia armazenada do mês de abril em $EAR(t-1)$; as médias de geração de energia hídrica e de vertimento nos termos $GH(t)$ e $Vert(t)$; a média e desvio-padrão de energia afluyente no termo $ENA(t)$.

A simulação usando este método aqui apresentada é feita para o subsistema Sudeste/Centro-Oeste, pela sua importância, mas, principalmente, para ser possível comparar este método com o método anterior. O ano escolhido para ser previsto é o ano 2008, pelos mesmos motivos apresentados no método anterior e também para fins de comparação entre os dois métodos.

Os valores a serem utilizados para os termos $GH(t)$, $Vert(t)$ e $ENA(t)$ estão na Tabela 2.1 e na Tabela 2.2.

Os três valores de energia natural afluyente de entrada para $ENA(t)$, descritas acima, serão chamados neste trabalho por $X1$, $X0$ e $X2$, correspondentes a média menos desvio-padrão, média e média mais desvio-padrão, respectivamente. Os três valores de energia armazenada da saída de $EAR(t)$ correspondentes são chamados por $Y1$, $Y0$ e $Y2$.

Os resultados encontrados pela simulação para o ano de 2008 no subsistema SE/CO estão no gráfico seguinte juntamente com os dados reais disponibilizados pelo ONS.

Gráfico 2.2

Energia armazenada prevista e armazenada real do subsistema Sudeste/Centro-Oeste, em MWmédio, para o ano 2008.

A análise dos resultados mostra, primeiramente, a ocorrência de erros em quatro meses: abril, maio, junho e agosto. Neles, o valor real está fora da faixa dos valores previstos para energia armazenada, o que indica alguma falha neste método. Nos outros meses, a faixa obtida contém os valores reais de energia armazenada.

Em segundo lugar, mostra que a largura da faixa, que é a diferença entre o valor superior e o valor inferior, é irregular e varia muito ao longo do ano. Isso se deve ao fato de que ela é determinada apenas pelo desvio-padrão da energia afluyente de cada mês. Assim, nos meses do período seco, em que a ENA é pequena, o desvio-padrão também é pequeno, quando comparado aos meses do período chuvoso. Conseqüentemente, há perda de confiabilidade nos meses em que a faixa se estreita.

Com a análise deste método feita a partir dos resultados, é possível observar alguns pontos importantes.

Por inserir no termo $EAR(t-1)$ na previsão de um dado mês, apenas o valor central de energia armazenada do mês anterior, o presente método ignora a possibilidade de usar os outros valores da faixa. Quando se considera o desvio-padrão para a previsão de energia armazenada de um mês, está sendo considerada a possibilidade de a energia afluyente desviar-

se da média, o que é muito comum. Contudo, esse tal desvio em um mês não é considerado no mês seguinte. Assim, o método perde informação de um mês para o outro.

A consequência desse fato é que os riscos inerentes em cada previsão não se propagam de um mês para o outro, e a largura da faixa obtida é determinada apenas pelo desvio-padrão do mês do cálculo. Isso é particularmente perigoso na transição do período chuvoso para o período seco, quando a largura da faixa sofre uma redução intensa e desconsidera as grandes incertezas da energia afluyente dos meses chuvosos. No exemplo apresentado, essa transição ocorre por volta do mês de maio. Isto significa que o método não faz a propagação das incertezas, o que diminui sua acurácia.

Outro ponto importante observado neste método é o fato de o intervalo da faixa de valores de energia natural afluyente ser obtido do desvio-padrão da aproximação desta grandeza por uma função densidade de probabilidade normal. No entanto, a análise das funções de densidade de probabilidade reais mostra que tal aproximação não é precisa. Como exemplos, os gráficos seguintes (Gráfico 2.3) fazem a comparações entre a aproximação pela curva normal com a curva real.

Gráfico 2.3

Comparações entre a Curva de Densidade de Probabilidade Real e a aproximação por uma Normal da Energia natural afluyente, em MWmédio.

Nestes gráficos as curvas reais são histogramas obtidos do histórico de dados de energia natural afluyente do subsistema SE/CO. As curvas correspondentes à distribuição normal de probabilidade foram ajustadas aos dados do mesmo histórico pela função DIST.NORM do Microsoft Excel. A definição dada pelo programa a esta função é: “Retorna a distribuição cumulativa normal para a média especificada e o desvio padrão.”

Observa-se nessas comparações que a aproximação da energia afluyente por uma função densidade de probabilidade normal, da maneira que faz este método, não é satisfatória. Percebe-se a necessidade de uma melhor aproximação das características estatísticas da grandeza energia natural afluyente.

Conclui-se que este método de previsão de energia armazenada de um subsistema também não atende as expectativas dos objetivos deste trabalho nem as necessidades práticas dos operadores do sistema elétrico nacional. Entretanto, apresenta uma melhoria significativa em relação ao método anterior e consegue traçar uma faixa de valores para a previsão, como era desejado. É um avanço na solução do problema da aleatoriedade da energia natural afluyente.

A próxima proposta de solução utiliza uma ferramenta poderosa para solucionar os problemas e os erros encontrados até aqui, a Transformada da Incerteza. O objetivo é sofisticar este método e obter uma solução mais precisa.

Ainda, serão utilizados também outros parâmetros estatísticos para descrever a função densidade de probabilidade de uma variável aleatória, que serão apresentados adiante, que são a assimetria e a curtose.

No próximo capítulo, a Transformada da Incerteza será apresentada e explicada e, posteriormente, inserida ao problema da previsão de energia armazenada.

3. A TRANSFORMADA DA INCERTEZA

A Transformada da Incerteza é capaz de modular incertezas e fornecer subsídios para tomarem-se decisões. A seguir alguns conceitos de estatística estão apresentados.

As definições são de Magalhães, M [8].

- Variável Aleatória - VA: Uma função X do espaço amostral Ω nos reais, para a qual é possível calcular a probabilidade de ocorrência de seus valores;
- Média: É o valor esperado para uma variável aleatória. Dado por $E(x) = \bar{x} = \sum_i x_i p_X(x_i)$ para VA discreta e por $E(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx$ para uma contínua. É o momento central de ordem 1.
- Variância: Momento central de ordem 2, dado por $Var(X) = \sigma^2 = E[(X - \mu)^2]$. Parâmetro que caracteriza a dispersão da variável. O Desvio-Padrão é a raiz quadrada da variância, σ .
- Assimetria: Momento central de ordem 3, indica o grau de assimetria da distribuição, dado por: $\gamma_1 = E[(X - \mu)^3]/\sigma^3$.
- Curtose: Momento central de ordem 4, mede a intensidade dos picos da sua distribuição de probabilidade, dado por: $\gamma_2 = E[(X - \mu)^4]/\sigma^4$.

Quando uma variável aleatória da qual se tem conhecimento estatístico é inserida em uma função linear, os momentos da distribuição da grandeza obtida continuam os mesmos. Já quando a mesma variável é inserida em uma função não-linear, suas características estatísticas mudam. A Transformada da Incerteza é uma ferramenta poderosa para se obter as estatísticas de uma distribuição que sofreu um processo não-linear. O objetivo do uso da Transformada da Incerteza neste trabalho é aperfeiçoar as propostas de solução triviais, mas ainda dispor de uma solução simples e precisa.

A idéia básica é descrever estatisticamente a transformação não-linear de uma variável aleatória, utilizando-se do conhecimento que se tem dela quando ainda não foi transformada.

Dada uma variável aleatória com distribuição contínua, a Transformada seleciona um conjunto de pontos que caracterizam sua função densidade de probabilidade, chamados de pontos sigma - Si. “Um conjunto de pontos escolhido deterministicamente de tal forma que os pontos configurem uma média e uma covariância específicas.” [9].

Faz-se, então, com que esses pontos sigma sofram o processo não-linear que se tem interesse em analisar. Os valores obtidos configuram uma nova distribuição, que, assim como antes do processo, é contínua, porém desconhecida.

A distribuição contínua da variável aleatória tem os momentos calculados pela fórmula a seguir [10]:

$$E_c\{\hat{u}^k\} = \int_{-\infty}^{\infty} \hat{u}^k w(\hat{u}) d\hat{u} \quad (3.1)$$

Onde:

- E_c é o valor esperado da distribuição contínua;
- $\hat{u}$ representa o conjunto de variáveis aleatórias;
- $w(\hat{u})$ é a função densidade de probabilidade contínua;
- k é a ordem de aproximação desejada.

A Transformada da Incerteza aproxima essa distribuição contínua $w(\hat{u})$ por uma distribuição discreta $w'(\hat{u})$. A aproximação é feita de tal forma que o mapeamento das duas distribuições resulte os mesmos momentos depois do processo não-linear [10].

Conseqüentemente, os momentos são calculados pela equação seguinte:

$$E_d\{\hat{u}^k\} = \int_{-\infty}^{\infty} \hat{u}^k w'(\hat{u}) d\hat{u} = \int_{-\infty}^{\infty} \hat{u}^k \left[\sum_i w_i \delta(\hat{u} - s_i) \right] d\hat{u} = \sum_i w_i s_i^k \quad (3.2)$$

Onde:

- E_d é o valor esperado da distribuição discreta;
- $\hat{u}$ representa o conjunto de variáveis aleatórias;
- w_i é a função densidade de probabilidade discreta;
- S_i são os pontos sigma;
- k é a ordem de aproximação desejada.

Da Equação 3.2, é possível obterem-se as equações que escolhem os pontos sigma S_i e os pesos w_i . Essas equações estão apresentadas em (3.3):

$$\begin{aligned}
 S_1 &= 1/2 \left[\gamma_1 - \sqrt{4(\gamma_2 + 3) - 3\gamma_1^2} \right] \sigma \\
 S_2 &= 1/2 \left[\gamma_1 + \sqrt{4(\gamma_2 + 3) - 3\gamma_1^2} \right] \sigma \\
 w_0 &= 1 - \sum_i w_i \\
 w_1 &= - \frac{\left[\gamma_1 - \sqrt{4(\gamma_2 + 3) - 3\gamma_1^2} \right] \sqrt{4(\gamma_2 + 3) - 3\gamma_1^2}}{2} \\
 w_2 &= \frac{\left[\gamma_1 + \sqrt{4(\gamma_2 + 3) - 3\gamma_1^2} \right] \sqrt{4(\gamma_2 + 3) - 3\gamma_1^2}}{2}
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Onde:

- σ é o desvio-padrão da variável aleatória;
- γ_1 é a assimetria da variável aleatória;
- γ_2 é a curtose da variável aleatória.

Obtêm-se assim os pontos sigma e os pesos. Uma vez conhecidos, esses parâmetros são utilizados para, finalmente, encontrar os momentos da distribuição transformada.

Os momentos k são calculados com as equações a seguir:

$$\begin{aligned}
 \bar{x} &= \sum_i w_i G(S_i) \\
 E\{[G(\hat{u}) - \bar{x}]^k\} &= \sum_i w_i (G(S_i) - \bar{x})^k
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Onde:

- $G(S_i)$ representa a função não-linear;
- $\bar{x}$ é o momento central;
- $E\{[G(\hat{u}) - \bar{x}]^k\}$ é o k -ésimo momento;

Assim, os momentos da distribuição são conhecidos e é possível descrevê-la estatisticamente.

No próximo capítulo, a Transformada da Incerteza será usada para criar um método de previsão de energia armazenada, possibilitando que tanto a energia natural afluyente quanto a energia armazenada sejam tratadas como variáveis aleatórias.

3.1. PREVISÃO DA ENERGIA ARMazenada UTILIZANDO O BALANÇO ENERGÉTICO E A TRANSFORMADA DA INCERTEZA

A grande dificuldade de se prever a energia armazenada em reservatório é a incerteza quanto à quantidade de chuvas e a energia afluenta às usinas no futuro. Além disso, quando se faz a previsão de energia armazenada para um mês sem a certeza do valor anterior dessa grandeza, a própria energia armazenada também se torna uma incerteza. O problema da previsão tem, na verdade, duas variáveis aleatórias.

Usando (2.1) para prever a energia armazenada de um mês em sequência de outro, serão introduzidas no balanço energético duas variáveis aleatórias: a energia natural afluenta do mês em questão no termo $ENA(t)$ e a energia armazenada do mês anterior no termo $EAR(t-1)$. Essas duas variáveis e suas estatísticas são conhecidas. O resultado obtido será também uma variável aleatória, mas da qual não se tem as informações estatísticas.

Se as duas VAs de entrada forem representadas por três valores cada, obter-se-á da (2.1) nove valores para a energia armazenada no primeiro mês. Se todos os pontos encontrados em um mês forem levados para o cálculo do próximo mês, a propagação leva a 3^t valores de energia armazenada no mês t . Ao final de doze meses, serão 531.441 pontos. Fazer simulações com essa quantidade de pontos exige muito esforço computacional, o resultado seria inútil para os devidos fins práticos.

Assim é interessante descobrir as características da variável aleatória que se obtém por (2.1).

A Transformada da Incerteza será introduzida ao problema de previsão de energia armazenada para extrair as estatísticas dos valores encontrados e reduzi-los a um número de pontos compatível para moldar-se o resultado da previsão de energia armazenada como uma faixa de valores.

A Transformada da Incerteza foi descrita anteriormente para a manipulação de uma variável aleatória, mas é facilmente empregada com duas [10].

Para cada mês, será usado o balanço energético definido por (2.1). A abordagem para os termos $GH(t)$ e $Vert(t)$ será a mesma do método anterior e parte-se do princípio que a energia armazenada em dezembro do ano anterior seja conhecida.

Para um mês t , são calculados os pontos sigma da energia natural afluenta e seus pesos pela Equação 3.3, com base nas estatísticas obtidas da série histórica dessa grandeza

disponibilizada pelo ONS. Para a energia armazenada do mês anterior, $t-1$, também são calculados os pontos sigma e os pesos, com base nos momentos estatísticos dessa grandeza, dos quais se parte do pressuposto ter-se conhecimento.

Da Equação 3.3, obtêm-se dois pontos sigma para uma variável aleatória de média nula. Assim, para se obterem os três pontos sigma da energia afluyente, devem-se usar as seguintes equações derivadas da Equação 3.3:

$$\begin{aligned}
 X_0 &= \bar{x} \\
 X_1 &= X_0 + \frac{1}{2} \left[\gamma_1 - \sqrt{4(\gamma_2 + 3) - 3\gamma_1^2} \right] \sigma \\
 X_2 &= X_0 + \frac{1}{2} \left[\gamma_1 + \sqrt{4(\gamma_2 + 3) - 3\gamma_1^2} \right] \sigma
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

Onde X_0 , X_1 e X_2 são os três termos de energia natural afluyente.

E para se obterem os três pontos sigma da energia armazenada, deve-se usar:

$$\begin{aligned}
 Y_0 &= \bar{y} \\
 Y_1 &= Y_0 + \frac{1}{2} \left[\gamma_1 - \sqrt{4(\gamma_2 + 3) - 3\gamma_1^2} \right] \sigma \\
 Y_2 &= Y_0 + \frac{1}{2} \left[\gamma_1 + \sqrt{4(\gamma_2 + 3) - 3\gamma_1^2} \right] \sigma
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

Onde Y_0 , Y_1 e Y_2 são os três termos de energia armazenada em reservatório.

De posse desses seis pontos sigma, o balanço energético definido por (2.1) os equaciona, juntamente com os termos $GH(t)$ e $Ver(t)$, e gera nove valores de energia armazenada para o mês t . Através de (3.4), esses valores são ponderados pelos pesos w_i e seus momentos estatísticos são encontrados.

Uma vez que a Transformada da Incerteza encontra esses momentos, é conhecida a função densidade de probabilidade dessa grandeza e é possível escolher um número reduzido de pontos para representá-la. Esses pontos, que irão formar a faixa de valores da previsão da energia armazenada do mês t , serão escolhidos também por (3.6). Dessa forma, representa-se essa variável da melhor forma e os pontos sigma para o mês $t+1$ já estão calculados.

Consegue-se, assim, prever a energia armazenada em reservatório como uma faixa valores, que dependem das características estatísticas da energia afluyente e da energia armazenada conjuntamente, dentro da qual se espera que o valor real esteja. A Transformada da Incerteza faz este método propagar os riscos da previsão de um mês para os demais, o que dá mais robustez e acurácia à previsão.

As simulações deste trabalho foram executadas no software *Microsoft Office Excel 2007*. A estrutura do trabalho foi montada de tal forma que as tabelas exibam todos os dados relevantes de entrada e de saída de cada mês, separados de acordo com a grandeza que representam. A Tabela 3.1 é uma parte da previsão de energia armazenada para o ano de 2008 do subsistema Sudeste/Centro-Oeste, extraída da planilha montada. Os valores são todos expressos em MWmédio.

Tabela 3.1

Previsão de energia armazenada em fevereiro de 2008 do subsistema SE/CO, em MWmed.

FEVEREIRO / 2008 – SE/CO										
ENA	média	56270	PONTOS				S1 -37128,2			
	σ	16701	X1 X0 X2				S2 44762,07			
	skew	0,4202	Y1 69089 98751 135430				Y1 84134			
	curtose	1,0770	Y0 91600 121262 157942				Y0 121262			
	S1	-29661	Y2 122506 152167 188847				Y2 166024			
	S2	36679	MOMENTOS w1' w0' w2'				w1 0,16607			
	w1'	0,141752	w1 1840,4 13799,8 2917,4				w0 0,69619			
	w0'	0,743618	w0 8767,0 60883,6 12224,3				w2 0,13775			
	w2'	0,11463	w2 2377,1 15489,0 2963,2							
	X1	26608,7								
EAR	X0	56270,3								
	X2	92950,0								
	GH	27437								
	Vert	15337								

Neste exemplo, observa-se que os dados da energia natural afluyente deste mês estão descritos pelos seus quatro momentos estatísticos, seguidos dos três pontos sigma e os três pesos. Esses valores estão dentro do quadro referente à sua grandeza, nomeado por ENA. Também estão expressos os valores utilizados de geração de energia hidráulica e de vertimento.

Os nove pontos que se obtêm por (2.1) para a energia armazenada do mês em questão estão mostrados na seção nomeada por “PONTOS”, já dentro do quadro da grandeza energia armazenada, nomeada por EAR. Abaixo, as ponderações desses pontos pelos pesos w e w' , da energia armazenada do mês anterior e da energia afluyente do mês presente respectivamente, na seção nomeada por “MOMENTOS”. Esse nome se refere ao propósito de se obterem seus momentos estatísticos, por (3.4). Cada k -ésimo momento está apresentado em seções diferenciadas pelas cores.

Na parte mais a direita da tabela, estão os pontos sigma da energia armazenada em reservatório do mês em questão, os valores de saída do termo $EAR(t)$ de (2.1) e os pesos dessa grandeza, também separados por cores.

As tabelas para a previsão de energia armazenada dos outros meses são iguais a essa, que é facilmente replicada. A tabela de previsão de cada mês foi montada para que ficasse sistematizado o cálculo de energia armazenada e também a obtenção de dados necessários de outros meses. As equações (2.1), (3.3), (3.4), (3.5) e (3.6) foram facilmente implantadas no *Microsoft Excel*.

Os dados de saída de energia armazenada de todos os meses foram então reunidos para montar um gráfico, juntamente com os dados reais de energia armazenada. É em formato de gráfico que os resultados serão apresentados neste trabalho.

Dessa maneira, a planilha de cálculo, que não necessita realizar muitos cálculos em consequência do uso da Transformada da Incerteza, simples, facilmente montada e exige um esforço computacional leve, podendo ser rodada mesmo em computadores pessoais.

No próximo capítulo vai-se usar esta metodologia para se prever a energia armazenada em reservatório nos subsistemas Sudeste/Centro-Oeste, Norte, Sul e Nordeste do SIN.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo são apresentados os resultados da aplicação da Transformada da Incerteza ao problema da previsão da energia armazenada em reservatório. A técnica criada no capítulo 3 com a TI será estudada nos quatro subsistemas e os resultados serão apresentados em gráficos, juntamente com os dados reais, para comparação.

A previsão será feita para o ano de 2008, do qual se tem os dados de energia armazenada reais conhecidos, o que possibilita averiguar o desempenho do método. Também será feita a previsão para o ano de 2009, mas os dados reais de energia armazenada são conhecidos somente até outubro. Ainda assim a previsão é feita para os doze meses do ano civil e ainda é possível comparar os valores obtidos com os reais para os meses de janeiro à outubro.

É usado o balanço energético definido em (2.1), repetido aqui:

$$\mathbf{EAR}(t) = \mathbf{EAR}(t - 1) + \mathbf{ENA}(t) - \mathbf{GH}(t) - \mathbf{Vert}(t) \quad (2.1)$$

Como a pressuposição feita anteriormente, a energia armazenada de dezembro do ano anterior é conhecida. Para os termos $\mathbf{GH}(t)$ e $\mathbf{Vert}(t)$ da equação (2.1) são usadas as médias históricas, como nos métodos anteriores.

A energia natural afluyente será inserida na equação (2.1) conforme (3.5). Seus quatro momentos estatísticos, necessários para o cálculo de (3.5), serão obtidos do histórico de dados do ONS.

Para o termo $\mathbf{EAR}(t-1)$ são usados os três valores de energia armazenada obtidos no mês anterior. Todos os dados são medidos por $\mathbf{MW}_{\text{médio}}$.

O resultado para $\mathbf{EAR}(t)$ será uma faixa de valores. A largura dessa faixa é esperada crescer. Devido às previsões serem em seqüência, a previsão de um mês depende da do mês anterior e, assim, a incerteza se acumula.

Os resultados serão analisados quanto à ocorrência de erros (caso em que o valor real não esteja dentro da faixa de previsão), quanto ao crescimento da largura da faixa e quanto à ocorrência de energia armazenada não positiva.

4.1. SUBSISTEMA SUDESTE/CENTRO-OESTE

ANO 2008

Os resultados encontrados para o subsistema SE/CO, ano de 2008 estão no Gráfico 4.1.

Gráfico 4.1

Energia armazenada prevista e armazenada real do subsistema SE/CO para 2008, em MWmédio.

Observa-se que as curvas da previsão de energia armazenada em reservatório acompanham a curva dos valores reais consolidados ao longo dos 12 meses e, ainda, que a faixa projetada a engloba. Contudo ocorre erro no mês de dezembro, onde o valor real está fora da faixa em 14766 MWmed. Além disso, a largura da faixa não cresce significativamente como era esperado.

A crise econômica que teve início em 2008 reduziu a atividade industrial no país, reduzindo a carga elétrica em 1% em novembro e em 7,6% em dezembro neste subsistema (comparado com os mesmos meses de 2007) e, conseqüentemente, a geração de energia foi diminuída e a energia armazenada nos reservatórios excedeu as necessidades previstas pelo planejamento. Isso é um acontecimento imprevisível e externo à TI, sendo um possível motivo do erro em dezembro. A Tabela 4.1 mostra a média da geração de energia hidráulica

entre 2002 e 2007, que são os dados utilizados na simulação, e a geração verificada em 2007 e em 2008.

Tabela 4.1

Geração de Energia Hidráulica no subsistema SE/CO, em MWmédio.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média 02-07	26558	27437	28281	27810	25899	25558	25589	26879	26782	26985	26911	27576
2007	31380	32535	32136	29976	26024	26836	27844	28734	29865	29654	28687	30056
2008	29240	28183	31295	31867	29882	30433	29031	30842	29402	29567	26915	26691

Fonte: ONS.

Devido às propriedades de propagação de incerteza na TI, era esperado que a largura da faixa aumentasse, diminuindo a precisão da previsão. Contudo, o aumento entre janeiro e dezembro foi de 33% apenas. As características estatísticas particulares de cada mês contribuem para esse fato, tendo sido observado que a variação do tamanho da faixa é altamente irregular ao longo do ano e, em alguns casos, é negativo (a faixa regride).

Todos os valores encontrados são positivos.

ANO 2009

Os resultados encontrados para o subsistema SE/CO, ano de 2009 estão no Gráfico 4.2.

Gráfico 4.2

Energia armazenada prevista e armazenada real do subsistema SE/CO para 2009, em MWmédio.

Observa-se um erro em outubro, quando a faixa não contém o valor real. A comparação entre os valores de energia afluyente de 2009 deste subsistema com a média e desvio-padrão históricos mostra que o volume de chuvas no segundo semestre de 2009 tem sido muito superior à média, porque estamos em ano de ocorrência de *El Niño*. Na Tabela 4.2 percebe-se que os valores reais de energia afluyente de setembro e outubro são maiores que a média mais duas vezes o desvio-padrão; ocorrências desse tipo têm uma probabilidade muito pequena de ocorrer. Essas ocorrências de energia natural afluyente tão acima do esperado são uma explicação para a faixa de valores previstos não acompanhar o valor real de energia armazenada no mês de outubro.

Tabela 4.2

Média e Desvio-padrão de Energia Afluyente (1931 - 2008) e os valores reais de 2009, em MWmédio.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	53297	56322	52227	39117	28590	24407	20310	17080	17053	20362	26054	39212
σ	15077	16599	14379	10151	7173	8121	5345	4017	5837	6863	7089	10248
2009 Real	52078	63115	45433	46142	29672	24698	27191	23592	30724	36398	-	-

Fonte: ONS.

A largura da faixa aumenta 33% entre janeiro e dezembro. Para o ano de 2009, assim como para 2008, a largura da faixa não aumenta como esperado e seu crescimento é irregular.

Todos os valores encontrados são positivos.

4.1.1. PROPOSTA DE UM NOVO CASO

Com o objetivo de conferir ao método robustez contra eventos marginais e pouco prováveis, um novo caso será analisado. Este será chamado como Caso 02, e o caso analisado anteriormente como Caso 01.

No Caso 02, a previsão inicia-se em março do ano em questão e os valores de energia armazenada de janeiro e fevereiro são igualados aos valores reais. Os dados de entrada para os termos de (2.1) continuam como no Caso 01.

Para realizar esta simulação, os valores de energia armazenada dos meses de janeiro e de fevereiro do ano em questão devem ser conhecidos. Isso traz a desvantagem atrasar em dois meses para viabilização da previsão, pois somente em março esses dados são consolidados. Contudo, o período de chuvas vai até maio, o que possibilita que as decisões sobre a política de geração das hidrelétricas durante o período seco sejam tomadas após fevereiro. Assim, estima-se que não haja grande prejuízo em se adotar este método.

A grande vantagem é a redução das incertezas como consequência da retirada de dois meses das previsões. Com isso, esperam-se resultados mais precisos.

Na próxima seção serão apresentados os resultados das simulações no Caso 02.

CASO 02

Os resultados encontrados no Caso 02 para o subsistema SE/CO, ano de 2008, estão no Gráfico 4.3.

Gráfico 4.3

Energia armazenada prevista no Caso02 e armazenada real do subsistema SE/CO para 2008, em MWmed.

Os resultados para o ano de 2009, no Gráfico 4.4.

Gráfico 4.4

Energia armazenada prevista no Caso 02 e armazenada real do subsistema SE/CO para 2009, em MWmédio.

Verifica-se com tais resultados a melhora esperada no Caso 02, não tendo ocorrido nenhum erro mesmo com os eventos externos e a ocorrência de valores inesperados. Além disso, a largura da faixa é menor em todos os meses, o que se explica pela eliminação das incertezas dos meses janeiro e fevereiro.

O subsistema Sudeste/Centro-Oeste é o maior dos subsistemas e tem importância fundamental no sistema brasileiro. A UHE Itaipu é considerada como parte deste subsistema, apesar de estar localizada fisicamente no Paraná. É neste subsistema em que estão os maiores centros de carga do país e é o único que realiza intercâmbio de energia com todos os outros subsistemas. A máxima energia que este subsistema pode armazenar em seu reservatório equivalente é aproximadamente 190.660MW. Esse valor, a $EAR_{MÁX}$, foi obtido com a interpolação dos valores reais de energia armazenada dados em MWmédio com os mesmo valores dados em porcentagem do valor máximo.

4.2. SUBSISTEMA NORTE

Os resultados encontrados para a energia armazenada pela simulação para o subsistema Norte, no Caso 01 e no Caso 02, para os anos de 2008 e 2009, estão apresentados nos Gráficos 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8.

Gráfico 4.5

Energia armazenada prevista no Caso 01 e armazenada real do subsistema N para 2008, em MWmédio.

Gráfico 4.6

Energia armazenada prevista no Caso 02 e armazenada real do subsistema N para 2008, em MWmédio.

Gráfico 4.7

Energia armazenada prevista no Caso 01 e armazenada real do subsistema N para 2009, em MW médio.

Gráfico 4.8

Energia armazenada prevista no Caso 02 e armazenada real do subsistema N para 2009, em MW médio.

Não há erro nas previsões efetuadas em nenhum dos casos e novamente no Caso 02 a faixa é a menor. Observa-se que a média do Caso 01 é a mais próxima dos valores reais, ao contrário do que ocorreu para o subsistema SE/CO. Contudo, em ambos os casos, o desvio entre o valor real e a média é muito alto, chegando a -254,7% em novembro de 2008 no Caso 02.

Há várias ocorrências de previsão negativa da energia armazenada e uma forte tendência para tal. Isso, no entanto, é tecnicamente impossível de acontecer.

Quando a faixa de valores de energia armazenada de um mês abrange valores negativos, é evidenciada a possibilidade de faltar água represada suficiente para gerar energia hidráulica. Assim, o método está representando o risco de falta de energia neste subsistema.

Todas as usinas hidrelétricas possuem um valor mínimo de queda, acima do qual devem operar. Nas usinas com reservatório, o nível deste varia entre um máximo e um mínimo, e a diferença entre eles é a depleção. O volume de água entre tais níveis é usado ao longo da estação seca para aumentar a vazão disponível para gerar energia elétrica. Este volume é chamado de volume útil, e o restante, situado abaixo do nível mínimo do reservatório, de volume morto. Quando o volume útil torna-se zero, a energia armazenada também se anula. Na prática, para não submeter as turbinas a quedas abaixo daquelas para as quais foram projetadas e também para não sair da faixa ótima de operação da usina, não se utiliza o volume morto. Caso isso ocorresse, ficaria caracterizado um déficit de energia armazenada.

No subsistema Norte, quase a totalidade da geração hídrica provem da UHE Tucuruí, que é uma usina de grande porte com potência instalada superior a 8 GW. Observa-se no histórico da EAR deste subsistema que anualmente o volume dos reservatórios é deplecionado à aproximadamente 25% da sua capacidade total, conjecturando-se que o mesmo irá se recompor a partir de dezembro, quando tem início a estação das chuvas.

Essa operação de reduzir a energia armazenada através do deplecionamento do reservatório é eficaz para este subsistema, proporcionando um ganho significativo de energia gerada, mas introduz um risco de a energia afluente dos meses chuvosos não ser suficiente para restabelecer adequadamente o volume do reservatório. No Informativo Preliminar Diário da Operação (IPDO) [11] elaborado pelo ONS, encontra-se um resumo da política da operação neste subsistema:

“A forma de operação da região Norte implementa uma política de máxima exploração de seus reservatórios, concomitantemente a maximização da capacidade de transmissão dessa região e de suas interligações, no que tange a importação e exportação de energia com o restante do SIN, visando com isso, à conseqüente minimização dos custos globais de operação. Assim sendo, ao final do período seco, busca-se atingir o armazenamento mínimo, para o reservatório da UHE de Tucuruí, compatível com a garantia do atendimento da Região Norte, no período de ponta de carga, com segurança, qualidade e economicidade adequadas.”

[6]

O intenso deplecionamento do reservatório de Tucuruí não acarreta, na prática, grande risco de suprimento da demanda na região Norte, visto que sua carga é relativamente pequena.

Para este subsistema, o Caso 02 não apresentou as melhoras esperadas em relação ao Caso 01.

4.3. SUBSISTEMA SUL

Os resultados encontrados para a energia armazenada pela simulação para o subsistema Sul, no Caso 01 e no Caso 02, para os anos de 2008 e 2009, estão apresentados nos Gráficos 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12.

Gráfico 4.9

Energia armazenada prevista no Caso 01 e armazenada real do subsistema Sul para 2008, em MWmédio.

Gráfico 4.10

Energia armazenada prevista no Caso 02 e armazenada real do subsistema Sul para 2008, em MWmédio.

Gráfico 4.11

Energia armazenada prevista no Caso 01 e armazenada real do subsistema Sul para 2009, em MW médio.

Gráfico 4.12

Energia armazenada prevista no Caso 02 e armazenada real do subsistema Sul para 2009, em MW médio.

O perfil da previsão é bem semelhante nos dois anos. O Caso 2, para os dois anos, é mais preciso, pois não incorreu em erro e sua média está mais próxima do caso real. No Caso 01, entre os meses de janeiro e abril, os valores reais estão muito próximos do limite inferior Y1 e ocorre erro de previsão em fevereiro e março de 2008.

O aumento da faixa é muito grande, sendo de 291% no Caso 01 e de 481% no Caso 02. Isso se explica porque a região sul reconhecidamente não apresenta um comportamento padrão na pluviosidade, podendo ocorrer chuvas e secas em qualquer época do ano, dificultando qualquer previsão.

Nos dois anos estudados percebe-se a influência das incertezas elevadas deste subsistema. A relação entre desvios-padrão e médias mensais da energia armazenada é consideravelmente maior que nos outros subsistemas. Enquanto nos subsistemas SE/CO, N e NE a relação média é de 29%, 32% e 37% respectivamente, no subsistema Sul é de 64%. Essa comparação entre os subsistemas evidencia as grandes incertezas presentes no Sul, que causam a faixa de valores de energia armazenada a aumentar significativamente. A Tabela 4.3 mostra a média e o desvio-padrão do histórico da energia afluenta de cada mês e quanto um último representa do outro.

Tabela 4.3

Média e desvio-padrão do histórico da Energia afluenta do subsistema Sul (1931-2008) e a relação entre eles, em MWmédio.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	6055	6954	5911	5549	7278	8510	9311	8585	10028	11394	8115	6355
σ	3611	4128	3049	3790	5758	5585	7794	5876	6083	6294	4860	3643
Relação	60%	59%	52%	68%	79%	66%	84%	68%	61%	55%	60%	57%

Fonte: ONS.

A ocorrência de valores negativos neste subsistema aponta para a possibilidade de escassez de água represada nas hidrelétricas, assim como no subsistema Norte.

O subsistema Sul abrange três estados e é peculiar, tanto pelo comportamento das suas chuvas quanto pela sua importância para os outros subsistemas, quando estes estão no período seco.

A ordem de grandeza de energia armazenada nos subsistemas Sul e Norte é a mesma. No primeiro, o reservatório equivalente, ou a $EAR_{MÁX}$, é aproximadamente 18.425MW e no segundo, aproximadamente 12.414MW. O interessante é que o sistema Norte é representado quase em totalidade pela UHE Tucuruí, isto é, uma única hidrelétrica tem a mesma ordem de grandeza que um subsistema inteiro. É notável a grande importância dessa usina para o sistema elétrico brasileiro.

O reservatório equivalente do Sul é pequeno quando comparado ao do subsistema SE/CO. A relação entre o primeiro e o segundo é igual a 9,7%.

4.4. SUBSISTEMA NORDESTE

Os resultados encontrados para a energia armazenada pela simulação para o subsistema Nordeste, no Caso 01 e no Caso 02, para os anos de 2008 e 2009, estão apresentados nos Gráficos 4.13, 4.14, 4.15 e 4.16.

Gráfico 4.13

Energia armazenada prevista no Caso 01 e armazenada real do subsistema Nordeste para 2008, em MWmédio.

Gráfico 4.14

Energia armazenada prevista no Caso 02 e armazenada real do subsistema Nordeste para 2008, em MWmédio.

Gráfico 4.15

Energia armazenada prevista no Caso 01 e armazenada real do subsistema Nordeste para 2009, em MW médio.

Gráfico 4.16

Energia armazenada prevista no Caso 02 e armazenada real do subsistema Nordeste para 2009, em MW médio.

No ano de 2008, há um erro em janeiro de 103MW no Caso 01. A energia natural afluente real neste mês foi muito baixa, igual à média menos 2,2 vezes o desvio-padrão, como mostra a Tabela 4.4. Isso explica a energia armazenada real ser tão abaixo do esperado, assim como o conseqüente erro.

Tabela 4.4

Média e desvio-padrão do histórico da Energia afluente (1931-2007) do subsistema NE e Energias afluentes reais de 2008 e 2009, em MWmédio.

ENA	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	14366	15148	15233	12141	7459	4915	4057	3542	3166	3451	5619	10324
σ	3971	6225	7629	5437	3664	1751	1176	975	849	1035	2226	3800
2008 Real	5493	11243	12645	14614	6062	3405	2896	2460	2114	2221	2600	7057
2009 Real	16191	14534	10116	13548	8536	4637	3825	3189	3248	4079	-	-

Fonte: ONS.

Em todos os meses desse ano a ENA está abaixo da média. A geração hidráulica também é menor que a média neste subsistema em 2008 e em 2009, como mostrado na Tabela 4.5. O conjunto desses dois fatores em 2008 manteve a EAR relativamente bem comportada a partir de fevereiro.

Tabela 4.5

Média da GH do subsistema NE e dados de GH reais de 2007, 2008 e 2009, em MWmédio.

GH	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2007 Real	7559	7101	7277	6177	6009	6491	6997	5656	7130	7435	7211	5941
2008 Real	3830	3434	3627	4251	4069	4258	4445	5772	5722	6548	6380	5347
2009 Real	4498	5251	5447	5517	6828	6215	6338,8	5852	5743	6408		
Média 02-07	7559	7101	7277	6177	6009	6491	6997	5656	7130	7435	7211	5941

Fonte: ONS.

Os valores negativos da previsão de energia armazenada para 2008 apontam para a possibilidade de déficit, assim como nos subsistemas Norte e Sul.

Na previsão para 2009 não ocorre nenhum erro nem déficit.

O Caso 02 das previsões de 2008 e de 2009 apresenta as melhorias esperadas: a média está mais próxima ao caso real; a largura da faixa é menor em todos os meses e não ocorreu nenhum erro.

O subsistema Nordeste tem um porte hídrico maior que o Norte e o Sul. A relação entre o primeiro e o Norte é aproximadamente de 4:1, e a relação com o Sul, de 3:1. Já a comparação com o subsistema SE/CO, mostra que o Nordeste tem aproximadamente um terço do seu porte hídrico.

Percebe-se a importância que o subsistema Nordeste tem na composição da capacidade de geração do país; a $EAR_{MÁX}$ é aproximadamente 51.690MW. Observa-se dos seus dados de energia natural afluyente que o regime de chuvas neste subsistema tem a mesma periodicidade das chuvas no Sudeste e no Norte.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho objetiva realizar a previsão de energia armazenada no reservatório equivalente de um subsistema do SIN utilizando da Transformada da Incerteza. Os resultados obtidos das simulações feitas para os quatro subsistemas, tanto no ano de 2008 quanto no ano de 2009, mostram que o método proposto no Capítulo 3 atinge esse objetivo.

A pequena incidência de erros indica que o método é bom, mas é vulnerável a eventos externos que alteram intensamente o padrão do sistema elétrico, como a redução da carga elétrica em alguns meses de 2008, e a ocorrências de variáveis aleatórias muito distantes de sua média, como o grande volume de chuvas em 2009. Contudo, mesmo com esses eventos citados, os erros encontrados são pequenos, evidenciando que o método é sim robusto.

Conclui-se, então, que a Transformada da Incerteza é uma ótima ferramenta para solucionar o problema de previsão da energia armazenada, pois analisa e manipula de uma forma completa os valores e os riscos envolvidos, e ainda fornece uma metodologia simples, com poucos cálculos.

Conclui-se também que é importante analisar os quatro subsistemas do SIN conjuntamente, observando suas características individuais e ordem de grandeza, e aplicar o método de previsão à todos eles. O subsistema Sul apresenta uma irregularidade muito grande no regime de chuvas e, por isso, depende do intercâmbio de energia do subsistema Sudeste/Centro-Oeste. Porém ele é muito prestativo, pois tem uma tendência de chuvas mais intensas durante o período seco dos outros subsistemas, podendo lhes transmitir energia no período mais crítico. Já o subsistema Norte possui capacidade de geração muito maior que sua carga própria, sendo um fator importante para otimizar a operação do SIN. Inclusive, novos empreendimentos de grande capacidade de geração estão em construção no Norte, como a UHE Santo Antônio e a UHE Jirau.

Dois aspectos observados nos resultados encontrados são peculiares e dizem respeito aos limites mínimos e máximos de energia armazenada. O reservatório de qualquer usina tem uma capacidade limitada de estocar água e qualquer volume de água excedente a essa capacidade é obrigatoriamente vertida. No entanto, em algumas simulações a faixa de valores encontrada abrange valores de energia armazenada maiores que o valor máximo do seu subsistema, indicando a possibilidade incoerente de haver mais energia armazenada que o possível.

Fato semelhante ocorre quando a faixa de valores encontrada abrange valores negativos. Como foi explicado, esse fato não é possível de acontecer, mas indica a possibilidade de escassez de água para gerar energia elétrica no subsistema.

Propõe-se um novo trabalho de aperfeiçoamento do método juntamente com uma análise mais profunda e detalhada da ocorrência de valores negativos. Primeiramente, pode-se desenvolver um cálculo para se obter a probabilidade de escassez de água em um subsistema a partir de valores negativos de energia armazenada encontradas por este trabalho. Em segundo, propõe-se limitar a faixa de valores de energia armazenada ao limite máximo de armazenamento do subsistema e a um limite mínimo nulo.

Outra proposta de trabalho futuro é inserir, ao método elaborado, as incertezas quanto aos valores de geração de energia hidráulica (GH) e de vertimento e perdas (Vert), cujos valores utilizados neste trabalho foram suas médias históricas. Há a possibilidade de dar mais robustez ao método e aproximar-se mais da realidade aproveitando-se as informações estatísticas dessas grandezas. Para um ajuste fino na determinação desses valores, podem-se observar os critérios de previsão de crescimento de carga elétrica e da própria energia armazenada em reservatório.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Aneel. **Banco de Informações da Geração**. Disponível em: <www.aneel.gov.br>;
- [2] ONS. **O que é o SIN**. Disponível em: <www.ons.org.br>;
- [3] Ministério de Minas e Energia. **Institucional – O Ministério**. Disponível em: <www.mme.gov.br>;
- [4] Oliveira, G. **Otimização da Operação Energética de Sistemas Hidrotérmicos com Representação Individualizada das Usinas e Afluências Determinísticas**. 1993. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Estadual de Campinas;
- [5] Kelman, J. **Programação Dinâmica Estocástica para Operação Otimizada de Sistemas Hidrotérmicos**. Curso de Engenharia Hidrológica. EPUSP, DAEE, ABRH, 1983, p. 1-11;
- [6] Reche, D.; Zingler, A. **Análise das Condições de Operação Energética do Sistema Sudeste**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica. Universidade de Brasília;
- [7] Lopes, J. **Modelo de Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos de Produção de Energia Elétrica**. 2007. Tese de Doutorado em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo;
- [8] Magalhães, M. **Probabilidade e Variáveis Aleatórias**. 2^a. ed, São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006;
- [9] Dorini, L. **Propagação de Pontos Característicos e suas Incertezas Utilizando a Transformada Unscented**. 2006. Dissertação de Mestrado em Ciências da Computação. Unicamp;
- [10] Menezes, L.; Ajayi, A.; Christopoulos, C.; Sewell, P.; Borges, G. **Extracting statistical moments of outputs quantities from a small number of time-domain simulations**. International Journal of Numerical Modelling: Eletronic Networks, Devices and Fields, 2009; 22:143-157, Published online 26 August 2008;

[11] ONS. **Informativo Preliminar Diário da Operação – IPDO**. Disponível em: www.ons.org.br.

APÊNDICE

DADOS HISTÓRICOS DO ONS

I. SUBSISTEMA SUDESTE/CENTRO-OESTE

Tabela I.A

Dados de Energia armazenada no subsistema SE/CO, em MWmédio.

Energia Armazenada em Reservatório - SE/CO								
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Jan	75487	99052	84017	135483	127207	146176	96536	126033
Fev	101593	114384	117947	140818	140414	157614	124707	144958
Mar	112783	123735	134577	153658	152649	161583	149307	153902
Abr	111209	126921	143266	153304	156071	164708	156359	159298
Mai	110143	134450	146652	152682	151207	162576	157563	156711
Jun	105954	128844	145841	147673	139864	156994	151274	149958
Jul	99254	118825	143947	139895	126808	151197	138947	145182
Ago	89388	104635	133497	125371	109050	137014	126162	138039
Set	82473	88623	118188	116826	92455	117824	109938	133892
Out	69407	72318	110901	108017	84315	98229	98931	131861
Nov	65452	63895	106212	105936	79016	91592	94647	
Dez	70334	65989	115677	120012	99368	87720	106431	

Tabela I.B

Dados de Geração de energia hidráulica no subsistema SE/CO, em MWmédio.

Geração de Energia Hidráulica - SE/CO								
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Jan	20853	23443	24295	29557	29817	31380	29240	28658
Fev	21679	26679	25248	29548	28930	32535	28183	31790
Mar	23880	24857	27943	30423	30446	32136	31295	32459
Abr	24477	25971	27196	29899	29340	29976	31867	32314
Mai	22705	24440	26755	27060	28412	26024	29882	29227
Jun	20626	23851	26497	26052	29489	26836	30433	29044
Jul	20945	24842	25033	25131	29737	27844	29031	29610
Ago	22583	26251	25705	27302	30702	28734	30842	28095
Set	21935	27504	26849	24837	29702	29865	29402	28958
Out	23772	28241	25219	25830	29192	29654	29567	29134
Nov	23081	27263	25565	26264	30607	28687	26915	
Dez	22977	26129	27542	28989	29765	30056	26691	

Tabela I.C

Dados de Vertimento no subsistema SE/CO, em MWmédio.

Vertimento - SE/CO								
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Jan	4479	2279	1113	15038	5275	13386	-2770	3819
Fev	10254	11990	5845	16741	4089	43103	3966	12417
Mar	-6457	8065	8000	8224	11186	13338	5064	4031
Abr	5154	7022	7494	2882	11435	921	10379	8432
Mai	2294	-9276	4173	3121	2679	4060	3885	3032
Jun	477	717	5168	4102	3330	2080	3054	2407
Jul	801	1431	2777	2989	2303	793	3572	2357
Ago	1247	1288	2480	3532	3833	3984	3798	2640
Set	681	1210	2802	3012	5167	2488	2418	5913
Out	2365	2856	3320	5884	4448	2841	1684	9295
Nov	751	1134	3613	3155	3142	800	2482	
Dez	3396	2840	1667	9199	2822	2262	-2117	

Tabela I.D

Dados de Carga elétrica no subsistema SE/CO, em MWmédio.

Carga Elétrica - SE/CO								
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Jan	22543	25697	26276	27829	29411	29960	31190	29577
Fev	23116	27512	26802	28325	30150	30971	31503	31325
Mar	24909	26393	27521	29330	30646	32680	32204	32278
Abr	25690	26242	27323	29611	28995	31350	32253	30176
Mai	24483	25359	26606	27853	28370	29881	30833	29781
Jun	24338	25330	26579	27921	28456	29542	31221	29067
Jul	23994	25318	26658	27217	28707	29574	31335	30109
Ago	24943	25466	27179	28499	29680	30568	32320	30695
Set	24715	26241	28422	28243	29081	31166	32087	31989
Out	26776	26860	27772	29026	29255	32004	32948	31958
Nov	26090	26805	28191	28258	29831	31251	30935	
Dez	25646	26663	27695	28164	29725	31206	28846	

II. SUBSISTEMA NORTE

Tabela II.A

Dados de Energia armazenada no subsistema N, em MWmédio.

Energia Armazenada em Reservatório - N								
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Jan	7576	4061	5486	5848	9072	5981	3722	5006
Fev	8056	7790	9317	10412	11136	11369	5514	7230
Mar	8332	9586	10186	11392	11644	12144	10727	11476
Abr	8751	9914	10673	12066	11977	12369	11783	12197
Mai	8831	9995	10730	12008	12067	12295	11862	12251
Jun	8422	9666	10427	11462	11550	11557	11273	12052
Jul	6978	8709	9634	10386	9637	10178	9660	10491
Ago	5131	7535	8203	8761	6770	7600	7877	8314
Set	3432	5538	6355	6915	5530	5702	5872	6636
Out	1914	3608	4455	5072	4504	4447	4018	5846
Nov	1169	2726	3652	4202	4181	3786	3095	
Dez	1535	2413	3730	5927	4429	3738	4330	

Tabela II.B

Dados de Geração de energia hidráulica no subsistema N, em MWmédio.

Geração de Energia Hidráulica - N								
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Jan	3269	2516	3467	3073	4835	3464	3575	4980
Fev	3152	3205	3964	3911	5152	3545	5792	5933
Mar	3332	3376	4085	4181	5086	4529	6342	6796
Abr	3368	3402	3822	4410	4684	5631	6564	6057
Mai	3226	3985	3888	4578	4878	5091	6619	6274
Jun	3445	3832	3974	4279	5197	3624	4368	6479
Jul	3474	2949	3382	3137	4347	3112	3489	4549
Ago	3152	2752	3044	2860	4082	3492	2923	3659
Set	2832	3067	3130	2810	2359	2665	2831	2886
Out	2483	2887	3153	2733	2372	1921	2617	2362
Nov	2129	2862	2538	2265	3061	1793	2269	
Dez	1816	2899	2790	3030	3301	2132	2770	

Tabela II.C

Dados de Vertimento no subsistema N, em MWmédio.

Vertimento - N								
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Jan	8328	540	-12	235	-70	123	151	765
Fev	11618	1349	10527	2245	1843	3432	718	905
Mar	9154	6714	15152	10287	5808	9224	573	249
Abr	8275	9632	13921	7954	12558	5735	6958	6909
Mai	2424	3318	5913	4605	9176	1083	3484	10288
Jun	-123	-295	141	-165	440	-287	-58	886
Jul	-117	-157	-355	-79	-45	-176	39	-31
Ago	-31	-158	7	-14	314	211	73	211
Set	-60	-117	-4	42	123	117	103	181
Out	166	113	72	161	171	233	163	141
Nov	224	4	211	2199	333	17	23	
Dez	328	340	333	96	301	176	354	

III. SUBSISTEMA SUL

Tabela III.A

Dados de Energia armazenada no subsistema S, em MWmédio.

Energia Armazenada em Reservatório - S								
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Jan	13688	13257	12494	10405	12261	11567	11668	11201
Fev	12999	13914	11146	7742	10757	12808	8799	9962
Mar	11240	13659	8723	5282	8896	14812	7879	8722
Abr	9121	11300	7400	6486	7494	15222	8973	7103
Mai	11592	8983	9776	9769	5654	16741	11911	7012
Jun	10481	9333	11467	14190	5412	14133	12648	7959
Jul	8365	9191	13213	13835	5757	14702	10322	12435
Ago	9287	7199	10410	12804	7042	11411	11424	15612
Set	12339	5134	9904	14799	7828	11363	9929	17396
Out	14781	5118	13200	15575	7431	11013	16839	17624
Nov	14943	6298	13108	15005	8800	13915	17225	
Dez	15109	12375	11320	13450	10102	13401	13747	

Tabela III.B

Dados de Geração de energia hidráulica no subsistema S, em MWmédio.

Geração de Energia Hidráulica - S								
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Jan	3678	7276	6298	4787	4294	3767	7693	6796
Fev	4950	5500	4661	4977	4642	4300	6932	5130
Mar	5229	5911	4588	3944	4552	5671	4208	4659
Abr	4756	4883	3773	2595	3654	6050	3436	2949
Mai	4495	4723	3914	3478	2979	9005	4917	1863
Jun	6302	4941	4418	5448	2168	8505	7161	1915
Jul	6041	4897	6538	6403	1605	7372	7708	5351
Ago	6060	4080	5968	5698	2001	8047	6304	10141
Set	5820	3831	4790	7875	3235	5771	7814	10739
Out	7341	3503	5803	7525	4297	7474	8220	10728
Nov	7945	3904	7064	7219	3495	7700	10258	
Dez	7542	4927	6062	4803	3713	6968	7496	

Tabela III.C

Dados de Vertimento no subsistema S, em MWmédio.

Vertimento - S								
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Jan	-177	144	-62	37	-115	317	218	221
Fev	-244	75	-79	-173	-378	77	42	21
Mar	-453	-95	159	353	165	-394	286	175
Abr	-256	53	190	319	65	932	229	191
Mai	-704	238	21	2832	122	6342	260	379
Jun	1185	-43	-4	2003	-178	791	241	394
Jul	490	146	410	561	380	1770	323	514
Ago	619	134	-36	748	429	449	330	2131
Set	933	132	820	9061	215	869	432	12280
Out	2594	285	1034	13345	96	834	3129	10537
Nov	3956	113	2575	2521	445	1213	5738	
Dez	3862	696	-60	-133	504	111	147	

IV.SUBSISTEMA NORDESTE

Tabela IV.A

Dados de Energia armazenada no subsistema NE, em MWmédio.

Energia Armazenada em Reservatório - NE								
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Jan	18989	17582	16882	36073	39284	40066	15833	32524
Fev	28080	23000	27064	41531	39532	43739	24955	39922
Mar	32076	24636	41294	46423	45506	49014	34242	44087
Abr	32927	26585	48359	49293	49911	49353	42322	50977
Mai	30628	24454	48025	48563	48514	46751	42457	50668
Jun	28030	22445	47178	46377	45605	43167	40619	48202
Jul	24796	19855	45530	42951	41753	38122	37883	43888
Ago	20971	16915	41968	38939	36447	33904	33263	39824
Set	16676	13786	37003	34283	31231	27732	28496	35729
Out	12245	9412	32298	29014	27008	20755	22589	32679
Nov	9318	6784	28428	26923	27161	15173	18806	
Dez	9403	6929	29725	34049	32006	13775	23033	

Tabela IV.B

Dados de Geração de energia hidráulica no subsistema NE, em MWmédio.

Geração de Energia Hidráulica - NE								
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Jan	3947	5194	3653	5254	5886	7560	3830	4498
Fev	3877	4898	5133	5305	5990	7101	3434	5251
Mar	4148	4843	4409	6187	5554	7278	3628	5447
Abr	4240	4952	5387	6310	5978	6178	4251	5517
Mai	4649	4773	5326	5865	6210	6010	4070	6828
Jun	4574	4185	4481	5483	5842	6491	4259	6215
Jul	4628	4190	4788	5622	6346	6997	4445	6339
Ago	4747	4243	5421	5757	6740	5656	5772	5853
Set	5366	4494	5865	6062	7072	7130	5723	5743
Out	5289	4965	5878	6231	7103	7436	6548	6408
Nov	5513	4777	5952	6230	7341	7212	6380	
Dez	5611	4481	5541	6103	7479	5942	5347	

Tabela IV.C

Dados de vertimento no subsistema NE, em MWmédio.

Vertimento - NE								
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Jan	-433	-830	-2905	752	2695	1727	-395	2202
Fev	882	4134	4327	3908	-302	9954	-1313	1885
Mar	-1292	993	3207	3276	-1842	8391	-270	504
Abr	1270	2149	5057	2652	3733	1578	2282	1141
Mai	1275	1811	2826	1661	2101	1959	1857	2017
Jun	997	1193	772	1326	1034	856	984	888
Jul	1142	1078	869	1308	850	1395	1187	1801
Ago	1287	1043	1317	1305	1560	1544	1308	1400
Set	874	895	1819	1304	859	1649	1158	1600
Out	1356	1397	1196	1487	412	1502	1580	721
Nov	376	466	776	-2665	1221	333	3	
Dez	-951	529	-1212	14	-144	89	-2517	

TABELA V

Histórico de Energia Natural Afluente disponibilizado pelo ONS, desde 1931, em MWmédio.

SUDESTE/CENTRO-OESTE												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1931	54379	82937	84319	60761	40750	30763	24685	19769	21825	22676	24150	36057
1932	53126	58894	47879	33864	25459	24256	19261	16344	14644	21743	24164	46465
1933	60580	47640	37459	32279	23038	18181	16114	13677	13184	16233	17233	33274
1934	43352	34245	32598	24954	17630	13447	11384	9543	11249	12367	12678	31681
1935	50978	67394	57135	50904	32444	24879	19072	19162	17768	33980	25191	30199
1936	35404	27605	51296	34976	23370	17068	14259	13484	16616	13606	17536	32650
1937	60979	41086	37205	32924	26089	22218	15806	13493	11668	20991	34110	51506
1938	51340	42531	37701	28886	24230	19862	17904	15627	13849	17691	21311	38566
1939	54931	54560	31631	26855	23455	19180	15819	12839	11749	13258	23976	35567
1940	51571	71517	64645	35323	27500	20076	15896	13165	11681	13626	28370	32455
1941	46180	36002	33007	31556	17625	15750	15091	14571	16882	20663	25943	39097
1942	42837	48624	59484	42292	28310	28162	22260	15705	15909	17589	24475	39140
1943	76782	70223	65856	39208	25221	22742	17843	14763	14038	22213	30384	37064
1944	32705	44724	48725	30285	21106	16274	13735	11371	9943	10966	20383	25495
1945	37877	67473	58553	57670	32666	24868	23949	15693	13484	16641	28436	56265
1946	77219	59684	67036	43029	29026	25068	26043	17458	14399	18976	21384	27392
1947	48870	57933	89451	54854	32782	25030	21856	19148	23342	23921	23308	42508
1948	50732	54588	57011	38453	23519	21067	16415	16379	13110	15015	21811	44645
1949	46781	68003	49722	34168	25449	20385	16268	13464	11704	14171	20115	32377
1950	39777	61991	53358	37557	25966	19660	16841	13006	11253	17286	29147	41521
1951	52304	63792	62062	43724	26620	21910	18163	15221	12850	14897	15596	24377
1952	31610	47379	73843	39396	23833	21720	16589	13440	13514	15709	23394	27032
1953	23683	24158	29954	32874	19867	16497	13007	11096	12215	17651	21504	32057
1954	27557	41920	27232	22909	29365	22458	15035	11312	9795	11139	15084	22930
1955	34444	25791	27154	27104	15730	17338	14630	10979	10894	11444	18166	34183
1956	35768	23720	35583	24659	28287	31159	20274	23072	16007	14121	21370	41907
1957	55063	58964	60002	53894	32296	24149	27332	24362	30978	21797	26809	39927
1958	37390	54575	45233	37791	30627	27830	21586	16300	19932	20596	23478	28507
1959	58902	47613	49092	36724	23600	19361	15565	14824	12152	14111	21715	25731
1960	46876	56524	60365	38115	28649	23005	19378	17169	13561	15841	25603	40335
1961	69866	73497	75099	47595	38175	26467	20473	16712	14904	14186	21795	25326
1962	43145	57561	57266	34040	25216	21809	17002	14857	15771	24356	25227	50102
1963	63879	56203	38976	26712	19532	16882	14395	12563	11122	12880	20336	15954
1964	35885	58347	35135	26141	20559	16091	15014	12911	10483	16821	23795	36785
1965	60147	74907	80456	49455	43610	29570	26975	20885	16623	29335	33347	51400
1966	70279	75329	69849	44939	33244	24894	20641	17029	16955	22394	34177	40782
1967	64624	69207	58777	40161	27360	25658	20615	16437	15516	14904	25969	39747
1968	51067	44676	49879	29234	21837	17777	15013	14626	13381	16439	20074	36598
1969	29636	35431	31250	21844	16441	17628	13442	10914	9116	18385	37172	37008
1970	53038	54878	55638	31705	23313	19632	18987	13826	18842	21115	23159	23875
1971	29566	19394	23832	20171	17408	18878	17337	12816	12247	18131	24276	43885
1972	39537	56217	50668	35511	22751	18955	21342	18824	18275	41281	41928	45703
1973	52091	52187	45525	46973	29877	24590	22562	17823	18394	25120	33592	41968
1974	60064	43503	59780	53403	32639	28386	23093	18107	16408	19361	20933	34699
1975	49397	45892	34191	32592	22133	17749	17570	14211	11818	22143	30120	43064
1976	39413	45740	46188	36236	27910	32105	25426	25325	29074	30089	39328	57438
1977	70480	68553	37736	42700	27993	24860	19341	15208	18328	18236	27128	48798
1978	66486	44829	51369	33483	26925	25938	23250	18086	19084	17929	29473	44519
1979	62732	85182	53474	37789	32839	25108	21724	20970	26881	24747	31915	41642
1980	73112	87954	59404	50025	33594	27091	25780	20392	22042	21155	26274	51902
1981	69182	45660	40609	37649	26239	24260	18701	16731	13813	25447	45725	61552
1982	80447	68682	81265	59272	37562	37998	37310	26011	21612	31943	37422	59237
1983	95184	114304	90827	71824	59396	79433	48317	32424	44748	50122	52628	70160
1984	62148	45525	37420	40062	33144	22945	19322	19843	22085	20431	21798	42508
1985	69337	67476	68355	49748	35202	26697	22429	18838	18166	17313	22894	30316
1986	51097	47262	44732	30852	29688	21733	18455	21712	16849	15351	16613	39983
1987	51068	56973	44858	38940	38410	33344	23405	17824	18291	20417	28255	46557
1988	44912	54851	59653	41452	34113	31009	20686	17227	14984	19810	25023	31899
1989	55878	58712	51818	34395	26836	22762	20676	25014	25901	19832	26529	59794

1990	77667	39376	40972	33173	28564	22329	23852	21615	25420	26091	23740	24282
1991	45727	62838	64658	65650	38229	28411	23993	19131	16646	25794	22013	34087
1992	57614	82536	53081	48254	48730	33482	25439	21795	27302	33070	44549	51888
1993	45838	65729	53535	44880	31029	30389	22488	20201	22713	28903	20599	33805
1994	61778	49157	57856	41117	30558	27655	23568	18361	14702	15557	23063	34774
1995	50590	81110	50064	45171	33188	24025	23097	16361	15104	25198	24242	32256
1996	52901	39095	51706	34571	25208	20056	17554	15472	20493	21442	34970	44184
1997	89788	70954	54576	42408	30999	38212	27351	20700	19811	24458	32740	49293
1998	41693	51817	53266	43877	33892	25905	20344	22208	22968	33181	27924	38238
1999	56618	48976	56924	32769	25000	23457	21742	15335	16287	13384	18994	29433
2000	52974	64747	59005	36140	23779	20606	19141	18419	29481	18251	28004	43089
2001	38693	38497	35875	27098	21718	19644	16744	14305	15157	21446	24991	38501
2002	60449	67653	46608	29858	27688	20175	17603	15968	16966	12844	21945	33766
2003	57557	59259	46279	40472	25682	21901	18798	15041	14532	15207	20754	32640
2004	44788	67761	59512	45660	36074	32469	26877	18689	14673	21237	25380	38891
2005	64786	56712	53836	35732	29980	27205	20734	16529	19224	22859	28062	54632
2006	44894	46743	56326	47818	27856	22402	19807	16886	18041	25247	27865	54841
2007	93866	88832	50054	34271	28412	23648	23417	18771	13072	13257	23526	29455
NORTE												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1931	9515	11812	18278	19063	8383	4753	3281	2355	1823	1824	3579	4646
1932	7688	11305	11897	8786	5453	3682	2397	1490	1229	1545	2957	5242
1933	8034	11286	11278	11560	7745	3937	2390	1657	1181	1156	3023	5704
1934	9687	9108	11013	10288	7840	3876	2347	1607	825	1283	1495	4169
1935	10238	14506	14649	18628	12552	6706	3676	2798	2099	2091	3106	6317
1936	8242	10765	15488	13583	9635	4632	2878	2039	1411	1539	2394	4301
1937	6749	9235	9912	11279	8023	3952	2465	1599	806	1106	3019	6855
1938	10180	10165	11419	11092	6916	3651	2313	1600	1088	1119	1950	4350
1939	7552	10925	8864	9279	6053	3290	2340	1727	1179	1900	3019	4345
1940	8235	15164	20240	17192	8780	4992	3364	2545	1953	2175	3821	6910
1941	9785	10319	11384	12743	7415	3763	2435	1873	1234	1634	4006	6479
1942	9790	13740	19257	13544	8783	4887	3075	2213	1597	3110	4316	9958
1943	19650	24280	19601	18266	11622	5638	3903	3008	1898	2591	4604	9506
1944	10753	11425	12394	11699	6713	3731	2491	1740	1211	834	2624	5747
1945	14607	17944	16051	17014	12650	7922	4019	2804	2140	2882	5667	9239
1946	12649	11763	10792	11108	6984	4669	2846	1877	1316	1108	1658	3053
1947	5599	9629	12756	17648	9102	4223	2718	2146	1902	1705	4257	5864
1948	9167	9211	11718	12460	6709	3473	2326	1619	1207	1254	1600	8541
1949	12441	14049	13878	11421	7332	3926	2133	1435	963	863	2089	3319
1950	4067	5121	7941	9214	7311	3179	1907	1444	1113	1311	1972	3559
1951	5912	7762	7210	9498	6560	3581	1946	1249	892	817	948	2155
1952	5065	4263	9290	9732	7303	3166	1766	1150	895	860	1191	3413
1953	5893	3966	5692	7549	5030	2186	1300	932	781	1304	2013	3642
1954	7419	8398	8999	9323	6638	3644	2123	1213	816	709	1113	4535
1955	4584	7837	7115	7446	5446	2800	1705	1174	932	848	1750	3288
1956	6687	5574	9793	8635	6588	3767	2309	1703	1405	1294	4233	10201
1957	17450	16611	22109	27151	14471	7836	4274	3068	2412	2487	2014	4364
1958	7702	11739	12047	14066	10495	5455	2666	1925	1378	1563	2186	2787
1959	9759	15171	14674	13564	8162	4301	2726	1787	1268	1262	1931	3177
1960	5660	12094	15735	14833	8582	4745	2655	1620	1207	1141	1877	4509
1961	8425	12859	13785	10901	6497	3384	1931	1416	1078	898	1128	1747
1962	3698	7222	9151	9109	5466	2340	1455	1112	994	1077	1592	3067
1963	8369	10075	10530	7442	5980	3016	2083	1578	1180	990	1248	1532
1964	7763	14955	14485	12008	7701	3700	2103	1461	1089	1697	2747	5062
1965	6042	8551	11387	15027	10793	4686	2400	1671	1355	1527	2461	4971
1966	6962	11877	13474	12274	7281	3859	2185	1531	1241	1374	1982	3110
1967	5587	7148	10498	11944	8190	3754	2030	1405	1130	1140	1860	3281
1968	6092	7849	17462	14165	8737	3989	2169	1504	1275	1272	1837	7980
1969	7250	9761	11954	10449	5721	2798	1780	1253	1082	1119	1647	3690
1970	7760	11853	15524	11917	7859	3103	1834	1334	1132	1392	2864	2752
1971	2895	4242	5925	8835	5963	2625	1581	1199	1048	1232	2596	4931
1972	5693	7766	10655	10277	5358	2501	1566	1257	1110	1166	1593	3048
1973	7168	6869	10627	13709	8711	3695	2215	1658	1211	1637	3162	5939
1974	7166	11422	16196	19250	17402	7702	3371	2159	1804	1834	2606	4081

1975	6309	11350	11423	13545	11320	4637	2670	1797	1393	1387	2180	3241
1976	4510	7149	9307	9389	5879	3164	1871	1357	1176	1741	2646	5384
1977	7775	15561	13880	12545	12022	5387	2755	1784	1406	1783	2350	4066
1978	12967	13554	21228	16741	12385	5944	3066	2177	1669	1717	2061	3760
1979	10185	21317	20629	16228	9648	4186	2536	1912	1936	2047	2941	3497
1980	8949	19998	28288	19851	9825	4578	2852	2147	1835	1916	2555	6150
1981	12303	13719	11781	15184	8688	4142	2537	1895	1598	1630	3558	6321
1982	11807	18323	17185	15967	10146	4973	2786	1991	1759	1993	2164	2372
1983	5008	15550	13622	14648	7203	3415	2140	1670	1427	1558	2347	5031
1984	7053	7507	8741	13119	9143	3495	1993	1495	1437	1398	1955	2643
1985	7478	16776	16305	19259	13661	5400	2661	1759	1376	1944	3298	6714
1986	16198	14956	16419	14301	9125	4115	2330	1665	1496	2113	2565	3155
1987	4883	5643	10550	11304	5611	2592	1606	1320	1137	1267	1814	4567
1988	7799	9007	13836	14656	9926	4027	2213	1606	1322	1387	2466	5885
1989	8012	8892	11738	14369	10801	4281	2501	1828	1560	1606	3207	10281
1990	19034	12841	15544	12171	6771	3340	2213	1557	1557	1667	1996	2832
1991	6560	9365	11423	15247	11633	4956	2317	1693	1398	1461	2006	3633
1992	5832	17909	13372	12825	7720	3417	1959	1497	1483	1580	2706	6678
1993	8685	9726	11326	9706	5973	2639	1719	1340	1270	1472	1912	3323
1994	8887	12155	16865	15438	8324	3937	2446	1674	1378	1396	1614	4172
1995	8010	12369	12766	14811	13031	6528	2765	1880	1349	1393	2393	5358
1996	8619	7975	9897	11044	7814	3315	2056	1491	1133	1445	2461	3431
1997	8029	11297	16031	20894	14801	5945	3228	2083	1695	1659	1943	3494
1998	5775	7523	10319	7121	3990	2082	1571	986	994	1078	2000	4211
1999	6646	6607	10722	8769	6952	2776	1765	1217	1075	1206	2283	5895
2000	11975	13612	17261	14939	9927	3567	2293	1680	1433	1484	2580	6550
2001	7933	8391	10801	11497	5730	3131	1904	1354	1046	1364	2336	5501
2002	15519	15298	12728	12106	5942	2852	1627	1130	996	1137	1692	2440
2003	5697	9004	12131	13533	7549	3232	1787	1263	978	999	1948	2974
2004	6809	18978	20337	18463	9972	3870	2261	1595	1276	1331	1956	3236
2005	5489	10827	15584	13189	9159	3582	1954	1231	996	1065	1463	4932
2006	8745	8884	11213	17563	14120	5095	2375	1484	1198	1524	3070	3882
2007	5168	12671	14447	11486	5896	2608	1555	1118	880	890	1123	2316

SUL

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1931	6675	3548	3737	3062	17108	15551	13652	6764	15077	8630	4499	6064
1932	5283	6813	7691	18573	13148	12342	9644	7023	11445	11464	5932	7444
1933	2959	3200	2874	1794	2139	2297	2909	4391	5462	10145	4297	2238
1934	2958	7700	5431	8724	6298	6128	5193	4944	5447	7433	3111	4917
1935	2732	2312	3642	2318	1437	4454	9351	12652	16454	29826	9041	9960
1936	9062	3763	2620	1935	4060	22122	8358	15242	11638	13656	7321	4573
1937	4610	4160	6878	5910	3746	2708	4789	7167	6928	11336	10950	5318
1938	6051	9695	4542	5539	11433	16086	17927	5907	5270	4418	4793	3076
1939	3090	4444	7314	5386	8804	7766	5739	4269	7792	5132	12235	18274
1940	9007	6330	3512	6924	7362	4958	5493	7510	4266	6864	3614	5601
1941	5749	10410	5844	6896	15229	10450	7409	15053	8279	8320	10635	7668
1942	3859	8747	6569	8836	9311	7664	7343	6787	5293	6672	2585	2024
1943	1864	3086	2343	1497	2414	9432	6590	11972	9749	6999	4458	2530
1944	5224	2849	5843	2709	1357	2515	2185	1253	2268	2159	3991	3052
1945	1160	2563	3185	1518	1151	1792	5975	3601	3450	3839	2692	2925
1946	7690	18065	12381	5188	5059	8535	14250	5690	4981	9175	5673	7691
1947	5825	7976	5915	3145	3798	7331	5784	7104	14632	12289	4986	6402
1948	4383	6951	6000	5930	9718	5734	6605	14284	4793	6097	7001	2252
1949	2570	1387	3191	5661	4191	7211	4384	4330	7130	5517	2462	1927
1950	5088	4674	7369	3373	4274	3501	3621	6099	4661	16090	6073	4698
1951	5664	10646	10051	3372	1908	1923	2424	1120	1439	12457	9557	5744
1952	3193	3122	2032	1798	1001	6311	7491	2975	9047	14406	8656	3856
1953	4294	5229	3506	3342	2834	4615	3637	3096	11641	14823	12796	5490
1954	8734	5528	6850	5574	14768	17465	18160	5541	17166	21648	5934	3815
1955	3002	2794	3213	7704	11065	17594	21483	9063	8271	5062	2940	3242
1956	6752	7179	2929	10357	10905	6137	5203	9185	10031	5908	2675	2034
1957	3686	7175	3953	3929	3787	5920	17030	31186	29670	11980	8707	5125
1958	3688	2831	7507	3377	2231	6760	3474	8074	14183	10604	9865	9548
1959	4941	6704	4060	6605	6720	6674	4445	5756	9515	6201	2658	2235

1960	2049	3655	3097	3427	3040	5308	3349	11466	12427	10061	10197	4613
1961	4282	3915	13806	8251	5897	7515	5400	3079	17806	18545	16204	7440
1962	4168	5003	5986	3129	3697	3537	3804	2731	7849	9855	5164	2715
1963	4006	10202	9227	5657	2779	2112	1873	5251	6570	18889	16740	7972
1964	2951	4110	3162	5292	5807	4988	5781	9524	11243	6450	3567	3396
1965	2874	3689	3618	2915	12035	4951	12175	17844	17671	15718	9648	13137
1966	9075	17383	11073	4562	3001	7431	8532	7302	14559	13441	9709	10502
1967	6622	7971	9433	4318	2334	4535	5353	8175	15346	6514	4785	6389
1968	3607	2894	2057	2508	2080	1759	3238	1572	3442	3375	6988	4350
1969	7875	8221	6229	10749	6046	12793	8766	4091	5952	6920	10298	4324
1970	4406	3835	3724	2769	6179	11858	14610	5849	6011	8547	3429	8878
1971	18491	9771	9966	10698	12769	15832	13792	10735	5906	6165	2447	2166
1972	3979	10044	7706	6211	2547	10526	10063	19317	25526	15974	9394	8613
1973	9095	8933	5799	4575	10648	12398	15167	17322	20216	12667	8066	4609
1974	7072	7844	8513	3994	3551	8319	6492	4658	7032	3446	5027	4316
1975	5187	4994	4515	2897	2368	4702	3919	9450	14847	17618	8144	15509
1976	10596	6385	7021	5282	6576	12770	7069	14711	9008	6000	9619	9550
1977	8777	10210	7617	6773	2917	5152	7043	13532	6008	9532	8866	6313
1978	3936	2739	3394	1697	1291	1636	6004	5374	7571	3819	6947	4753
1979	2973	1942	2634	3160	13833	4860	6596	6875	7329	21834	16839	12052
1980	6491	5037	8265	3950	5309	3630	9651	14695	15383	10165	9152	13379
1981	11789	9818	3699	3744	3148	3313	2617	2417	5221	6411	6571	9200
1982	3724	5042	3802	1988	1929	10241	19960	8747	5242	16754	28658	14023
1983	8720	9740	15358	9739	27962	23894	62481	25370	13769	13057	9799	6268
1984	5773	5093	4971	5646	9656	16890	12133	25638	10558	10107	11079	7596
1985	3016	7437	5070	9036	6017	3668	4189	5116	5742	3377	3607	1287
1986	1926	4061	3899	6440	6048	6693	3798	5294	7368	7403	8999	8408
1987	8352	8222	2942	7816	25054	14592	11546	9113	6143	11062	5369	3299
1988	3705	4635	3768	4366	16404	12607	5102	2189	7081	5611	3704	2638
1989	8569	12828	6672	6741	10933	3043	7168	9542	26085	10463	4520	2761
1990	14667	9077	5642	10766	11457	26472	12352	12810	17475	20651	14743	6307
1991	3019	3130	2255	2676	2066	8866	6702	6669	2305	7771	6991	8154
1992	5192	6104	6925	6021	21558	25559	18734	15301	11055	6763	7014	4576
1993	4813	7862	7406	5408	11237	9569	17362	5265	10412	19641	5665	9531
1994	3685	12002	6652	6720	10995	14838	18078	6247	3842	9308	10854	7822
1995	21941	12013	6554	3768	2199	4475	11094	4988	6358	12383	5087	3962
1996	11023	14693	11437	10050	2652	7104	13322	8975	11608	16527	9790	7699
1997	9423	19037	7902	2553	3377	9104	9970	15693	6924	29544	26816	12119
1998	13488	19915	15963	27011	18190	7204	11881	21417	22794	22513	6334	5087
1999	4877	7494	5236	7654	4127	8979	17375	4305	4811	11599	4731	3535
2000	4394	6049	6956	3588	4075	4655	9799	5565	22135	20650	6787	5228
2001	10342	16363	8948	7071	8577	8526	11009	6445	8092	22839	6650	7258
2002	6384	5249	4117	3353	8153	9548	6182	9954	12596	16035	14845	14039
2003	6667	7891	7054	3387	3548	6725	6409	2748	2311	4854	6460	14569
2004	7886	3871	2836	3329	7597	7212	10880	3936	7339	12330	11374	4961
2005	4618	2496	2213	5202	12057	14501	8201	6837	22693	25576	10768	3602
2006	3837	3363	3270	2605	1337	1982	2743	4274	4618	4353	5834	6240
2007	5981	6167	8115	7620	17235	6811	10212	5429	7154	8227	12161	6692

NORDESTE

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1931	14197	13141	18868	20906	14303	7195	5569	4834	4247	4022	5894	6301
1932	11178	13554	9751	6163	4290	3859	3508	2986	2675	2771	5540	10266
1933	14901	16818	10253	8549	5965	4066	3776	3280	2763	3241	5510	9927
1934	17810	13987	8220	5171	5407	3646	3080	2784	3036	3007	2929	4816
1935	12781	16782	17152	13492	12459	6125	4762	3772	3174	3133	3661	6920
1936	8414	8017	12097	8874	6582	4041	3351	2869	2588	2910	4472	7899
1937	13382	16583	13562	9772	7272	4475	3750	3146	2738	2704	6574	13860
1938	17905	13376	11665	7308	5091	4239	3494	3066	2866	2706	4042	8842
1939	15046	17052	15616	6480	4796	3798	3289	3114	2871	3726	3172	5030
1940	9339	14410	19938	14497	6254	4474	3585	3215	2635	2832	5806	12242
1941	14281	14094	14614	14617	9252	5116	4280	3876	3094	3310	4941	7127
1942	13881	14075	15253	10894	7058	4692	3933	3431	3122	4006	6659	16783
1943	18889	26628	25096	16161	9018	6373	5359	4560	3927	4048	6561	16577
1944	18790	15107	15006	11698	7839	5280	4458	3892	3363	2969	5056	12073

1945	18553	20891	23900	22989	26031	13222	8013	6454	5249	5708	9625	17288
1946	21034	30766	13984	16332	11291	7532	6103	5276	4503	4579	6194	11341
1947	11029	14759	17977	23046	14118	7209	5838	4927	4730	4420	9528	13877
1948	18319	13803	16552	12607	6810	5610	4937	4187	3675	3808	4409	15972
1949	22713	27767	37312	23031	10788	7942	6525	5506	4721	4382	8686	9551
1950	13730	13441	10743	11685	8265	5285	4567	3973	3292	3757	6117	12193
1951	12867	12128	14066	14438	8143	5634	4510	3847	3330	3058	2881	4533
1952	9707	13391	17576	20616	10668	5957	4836	3975	3512	3457	4872	11046
1953	11718	5353	7775	11177	6164	3979	3359	2941	2620	3207	4496	9454
1954	13984	8229	9146	7825	4422	3733	2976	2653	2194	1975	2899	10384
1955	7940	12182	6744	7692	4681	3227	2764	2411	2070	1993	5977	10107
1956	15768	7727	13171	8768	5180	4953	4143	3232	2747	2501	4297	11678
1957	18051	21096	23165	24805	18855	8840	6294	5057	4192	4554	4238	12273
1958	11767	15433	11060	9568	7528	5156	4330	4329	3378	4416	5854	5029
1959	11042	11346	10151	8781	4208	3435	3115	2768	2487	2529	4825	7852
1960	10548	17348	27020	21456	8016	5585	4345	3658	3045	2717	3304	11775
1961	16780	22523	19083	11037	6980	5293	4287	3597	3023	2625	3141	4511
1962	10265	15798	13195	10131	6054	4456	3767	3111	2503	3253	5569	8755
1963	16141	19353	11213	5198	4346	3351	2959	2689	2381	2133	2697	4072
1964	12623	24164	17389	8872	5266	3646	3126	2884	2297	2675	7932	12581
1965	15283	14699	15878	17977	9113	5648	4549	3894	3220	3984	7741	12049
1966	12350	17903	19433	14388	7966	5776	4673	4102	3534	3513	5388	7727
1967	14821	13724	12959	13126	8225	4649	3949	3417	2937	2701	4642	12315
1968	16104	14634	20575	16153	7381	5008	4337	3921	3736	3764	5646	12999
1969	9897	12430	13381	8034	5198	3912	3422	3032	2570	2656	6674	15211
1970	18490	18756	15105	7995	6109	4406	3909	3405	3180	4660	8655	8834
1971	5285	4485	5318	5191	3836	2820	2634	2274	2270	3249	7611	18125
1972	15692	8468	9983	8886	5882	3842	3362	3177	2616	3881	5700	12026
1973	13538	11169	10961	13743	6645	4443	3781	3071	2523	3858	9408	13127
1974	13726	10803	12711	18237	10286	5429	4212	3716	3277	3255	5687	7526
1975	12665	12206	8443	7470	6349	3799	3807	2985	2466	2874	6879	8377
1976	6173	6028	6370	5459	3164	3066	2453	2285	2678	4508	6511	13707
1977	15205	18121	7060	6807	6101	4121	3528	2867	2707	3590	4186	8423
1978	16929	16556	20546	12570	8523	6836	4680	4473	3616	4452	6167	11209
1979	18678	29219	46262	23469	11405	8312	6766	5887	5848	6023	9576	9916
1980	18671	30848	32699	13981	10928	7144	6599	5623	4999	5323	6754	13811
1981	17470	15452	14693	18992	8929	6246	5082	4539	4201	5387	12745	18114
1982	21318	23349	22244	20870	12372	8065	6342	5356	4895	5022	5054	5513
1983	14544	22732	28111	21225	13947	8058	6278	5693	4481	5852	11186	17552
1984	19167	9655	8412	12400	6293	4346	3838	3450	4158	4392	5447	11232
1985	18726	24752	21982	21965	9881	6121	4883	4384	4200	5410	6864	11320
1986	18702	22655	15490	7592	5621	4204	3897	3833	3626	3208	3641	5639
1987	9598	7961	8144	9084	5539	3672	3362	2696	2639	2981	4388	10626
1988	16141	10811	13557	10338	6424	3853	3275	3278	3139	3224	5094	8105
1989	11194	7803	9400	5938	4155	3229	3180	2959	2770	3008	5411	19768
1990	27717	12507	9638	6594	4209	3310	3427	3144	3174	3500	4321	5001
1991	10334	15683	14325	15610	7749	4716	3784	3446	3220	4096	6132	9610
1992	15360	30396	39119	13242	8630	5688	4593	4209	4248	5664	12736	16383
1993	17790	13782	12491	7933	5700	4356	3801	3655	3259	3810	3972	5889
1994	15124	14573	14983	15300	6863	4928	4191	3423	3416	2708	3141	9214
1995	8995	8997	9319	8440	5572	4257	3321	2933	2341	2785	5174	9743
1996	13819	7084	6506	5742	4021	3150	2642	2091	2042	2475	5138	10201
1997	17776	14936	13840	13653	7927	5289	4066	3661	3223	3344	3896	9324
1998	10462	9880	9543	4840	3622	2875	2507	2307	2054	2110	5884	9764
1999	9334	5667	11759	7634	3924	2788	2384	2086	2337	1875	4841	10248
2000	13184	15123	13561	11075	5526	3708	2925	3000	2778	2466	5359	11476
2001	10315	5355	5355	4024	2635	2553	2069	1922	2032	2322	3617	6494
2002	16449	14610	10668	6907	3316	2688	2555	2007	1599	2082	2841	5380
2003	12308	13180	8017	7898	4147	3008	2643	2261	2063	1523	2509	4819
2004	9785	14877	20163	15951	8506	4505	3898	3026	2642	2597	3196	5401
2005	11840	14910	14566	12388	6692	4404	3545	2943	2881	2730	4083	13041
2006	12969	6988	10601	13306	7024	3915	3241	3030	2913	3938	8497	12072
2007	16869	21486	20482	7766	4624	3858	3018	2968	2218	1796	1902	4719