

GUILHERME PÉRICO

AVALIAÇÃO ESTOCÁSTICA DOS EFEITOS
DE RESERVATÓRIOS NA EXPANSÃO DE UM SISTEMA HIDRELÉTRICO

CURITIBA

2014

GUILHERME PÉRICO

AVALIAÇÃO ESTOCÁSTICA DOS EFEITOS
DE RESERVATÓRIOS NA EXPANSÃO DE UM SISTEMA HIDRELÉTRICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Área de Concentração em Engenharia de Recursos Hídricos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos.

Orientador Prof. Heinz Dieter Fill, PhD

CURITIBA

2014

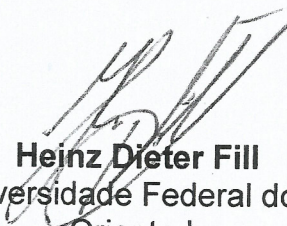
TERMO DE APROVAÇÃO

GUILHERME PÉRICO

“AVALIAÇÃO ESTOCÁSTICA DA INFLUENCIA DE RESERVATÓRIOS NA EXPANSÃO DE UM SISTEMA HIDRELÉTRICO”

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:



Heinz Dieter Fill
Universidade Federal do Paraná
Orientador

MEMBROS:



Francisco Luiz Sibut Gomide
Universidade Federal do Paraná



Eloy Kaviski
Universidade Federal do Paraná



Marcelo Rodrigues Bessa
Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 06 de junho de 2014

“E esse é o ponto – sobre mim e os que pensam como eu. Nossa crença não é uma crença. Nossos princípios não são uma fé. Nós não nos baseamos unicamente na ciência e na razão, porque esses são fatores mais necessários que suficientes, mas desconfiamos de tudo que contradiga a ciência ou afronte a razão. Podemos diferir em muitas coisas, mas respeitamos a livre investigação, a mente aberta e a busca do valor das ideias.”

Christopher Hitchens

AGRADECIMENTOS

À minha família acima de tudo, principalmente pelo apoio e união que tivemos nos momentos difíceis e inesperados que passamos, e ainda vivenciamos, desde praticamente o início deste curso.

À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos pela oportunidade concedida.

Ao meu orientador Heinz Dieter Fill por todo conhecimento, disposição, compreensão nos momentos difíceis e, acima de tudo, companheirismo ao longo deste período de trabalho. Mais que um professor e orientador, um grande amigo. Foi um grande prazer e honra ter trabalhado com ele.

À empresa Electra Power Geração de Energia S/A pela disponibilidade para realização deste curso.

À empresa CPFL Renováveis e à Eng. Marcela Martins pela liberação para apresentação deste trabalho.

Aos amigos Felipe Vescovi e Marcel de Andrea, amigos do peito.

Ao Eng. Renê Bettega pela influência e apoio na participação deste curso de mestrado.

À minha amiga Carolina Serpa, companheira de orientador.

À João Furtado pela ajuda imensurável na elaboração dos programas computacionais.

Dedico este trabalho à todos que entendem, de maneira equivocada, os reservatórios como um grande obstáculo ao desenvolvimento.

Agradeço ainda aos Professores Marcelo Bessa, Eloy Kaviski e Francisco Gomide pelo aceite na participação da banca de avaliação.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

O presente trabalho procura analisar os efeitos de reservatórios de regularização na expansão de um sistema hidrelétrico sobre os ganhos de energia garantida e comparar estes efeitos com uma expansão a fio d'água. O problema é analisado através de um estudo de caso considerando três usinas na região amazônica atualmente em construção. Três cenários de expansão são analisados: (1) usinas a fio d'água, (2) regularização sazonal e (3) regularização plurianual. Dois sistemas-base em relação aos quais os ganhos energéticos são considerados: (1) o Sistema Interligado Nacional (SIN) e (2) o Sistema Sul-Sudeste. O método da energia natural será utilizado em todas as avaliações considerando sempre a integração elétrica perfeita dos sistemas. A contribuição de usinas térmicas não foi considerada neste estudo. A análise considera para a avaliação da energia garantida tanto o método Monte Carlo usando séries sintéticas de energia afluyente como também a teoria estocástica dos reservatórios. Além da avaliação probabilística verifica-se também o impacto da regularização sobre a energia firme associada à série histórica. No caso da energia firme associada à série histórica do SIN obteve-se um ganho da energia incremental igual a 24,8% para regularização sazonal e 3,3% adicionais para regularização plurianual, em relação à expansão por usinas a fio d'água. O caso do Sistema S/SE estes ganhos foram de 20,1% e 4,0% respectivamente. A análise probabilística foi efetuada utilizando-se dois métodos baseados na teoria estocástica dos reservatórios além de uma avaliação pelo método de Monte Carlo. Considerando-se um tempo de retorno de 45 anos obteve-se pelo método de Monte Carlo ganho de 24,2% para regularização sazonal e 5,8% para plurianual no caso do SIN e 23,7% e 3,9% para o S/SE. Os ganhos estimados pela teoria estocástica dos reservatórios são equivalentes, o que comprova a independência dos resultados do método adotado. Entretanto, há de se considerar que pela magnitude dos rios envolvidos (Xingu e Madeira) o tamanho físico dos reservatórios necessários é bastante grande (37.250 Hm³ no Xingu e 130.250 Hm³ no Madeira) o que, de fato, cria impactos ambientais consideráveis.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to analyze the effect of regulation reservoirs on the dependable energy during the expansion of a hydroelectric system opposed to an expansion based on run-of-river plants. The problem is analyzed via a case study considering three large hydroelectric projects in the Amazon region. Three scenarios are considered, namely (1) run-of-river plants, (2) seasonal within year regulation and (3) over year regulation. Two base systems are analyzed: The National Interconnected System (SIN) and the South-Southeast System (S/SE). All evaluations use the natural energy hydrograph method. Thermal plants are not considered. The estimate of dependable energy uses both the Monte Carlo method and stochastic reservoir theory. Firm energy based on the observed flows is also evaluated for comparison. For SIN and firm energy there is a gain of 24,8% for seasonal regulation relative to run-of-river plants and for over year regulation an additional 2,4% is added. For S/SE those figures are 20,1% and 4,0% respectively. The probabilistic analysis uses two methods based on stochastic reservoir theory and additionally an evaluation by Monte Carlo simulation. For a return period of 45 years the Monte Carlo simulation shows a gain for seasonal regulation is 24,2% and additional 5,8% for SIN and 23,7% and 3,9% for S/SE. The results for stochastic reservoir theory methods are similar within acceptable errors. This shows the equivalence of the different probabilistic methods for dependable energy evaluation. However, we should also consider that the magnitude of the rivers involved (Xingu and Madeira) the physical size of the reservoirs needed is quite large (37.250 hm³ the Xingu and the Madeira 130.250 hm³) which, in fact, creates significant environmental impacts.

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – REPRESENTAÇÃO DO MÉTODO DA ENERGIA NATURAL E DA SEPARAÇÃO DA REGULARIZAÇÃO SAZONAL E PLURIANUAL.	15
FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO DO MÁXIMO DÉFICIT ACUMULADO.	28
FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO DO MÉTODO DE MONTE CARLO.	40
FIGURA 4 – MÉDIA PARA SÉRIES MÓVEIS DE ENERGIAS NATURAIS MÉDIAS ANUAIS – SIN E S/SE (N=20).	63
FIGURA 5 – DESVIO PADRÃO PARA SÉRIES MÓVEIS DE ENERGIAS NATURAIS MÉDIAS ANUAIS – SIN E S/SE (N=20).	63
FIGURA 6 – COEFICIENTES DE AUTOCORRELAÇÃO PARA SÉRIES MÓVEIS DE ENERGIAS NATURAIS MÉDIAS ANUAIS – SIN E S/SE (N=20).	66
FIGURA 7 – COEFICIENTES DE ASSIMETRIA PARA SÉRIES MÓVEIS DE ENERGIAS NATURAIS MÉDIAS ANUAIS – SIN E S/SE (N=20).	66
FIGURA 8 – COEFICIENTES DE VARIAÇÃO PARA SÉRIES MÓVEIS DE ENERGIAS NATURAIS MÉDIAS ANUAIS – SIN E S/SE (N=20).	67
FIGURA 9 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS USINAS SELECIONADAS PARA EXPANSÃO DO SISTEMA. ...	68
FIGURA 10 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO – SÉRIE HISTÓRICA – SIN.	73
FIGURA 11 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO – SÉRIE HISTÓRICA – S/SE.	74
FIGURA 12 – RELAÇÃO $\rho Z_t X_{p,t}$ PARA LN2.	76
FIGURA 13 – RELAÇÃO $Tr = F(\mu, a)$, PARA $\rho = 0,40$ E $\gamma = 0,30$	79
FIGURA 14 – RELAÇÃO $Eg = F(TR)$ – SIN.	85
FIGURA 15 – RELAÇÃO $Eg = F(TR)$ – S/SE.	85
FIGURA 16 – RELAÇÃO $Eg = F(TR)$ NA FORMA ADIMENSIONAL – SIN.	86
FIGURA 17 – RELAÇÃO $Eg = F(TR)$ NA FORMA ADIMENSIONAL – S/SE.	86
FIGURA 18 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO PARA TR = 22,5 ANOS – SIN.	87
FIGURA 19 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO PARA TR = 45 ANOS – SIN.	88
FIGURA 20 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO PARA TR = 90 ANOS – SIN.	88
FIGURA 21 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO PARA TR = 22,5 ANOS – S/SE.	89
FIGURA 22 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO PARA TR = 45 ANOS – S/SE.	89
FIGURA 23 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO PARA TR = 90 ANOS – S/SE.	90
FIGURA 24 – MÉDIA – SÉRIES SINTÉTICAS E HISTÓRICA – SIN.	96
FIGURA 25 – DESVIO PADRÃO – SÉRIES SINTÉTICAS E HISTÓRICA – SIN.	97
FIGURA 26 – ASSIMETRIA – SÉRIES SINTÉTICAS E HISTÓRICA – SIN.	97
FIGURA 27 – COEFICIENTE DE VARIAÇÃO – SÉRIES SINTÉTICAS E HISTÓRICA – SIN.	98
FIGURA 28 – COEFICIENTE DE AUTOCORRELAÇÃO – SÉRIES SINTÉTICAS E HISTÓRICA – SIN.	98
FIGURA 29 – MÁXIMO DÉFICIT ACUMULADO MENSAL – SÉRIES SINTÉTICAS E HISTÓRICA – SIN.	99
FIGURA 30 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO PARA TR = 22,5 ANOS – SIN.	101
FIGURA 31 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO PARA TR = 45 ANOS – SIN.	101
FIGURA 32 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO PARA TR = 90 ANOS – SIN.	102
FIGURA 33 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO PARA TR = 22,5 ANOS – S/SE.	103
FIGURA 34 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO PARA TR = 45 ANOS – S/SE.	103
FIGURA 35 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO PARA TR = 90 ANOS – S/SE.	104
FIGURA 36 – ENERGIA GARANTIDA – SERIES SINTÉTICAS – SIN.	105
FIGURA 37 – ENERGIA GARANTIDA – SERIES SINTÉTICAS – S/SE.	105
FIGURA 38 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS – SIN + USINAS (FIO D'ÁGUA).	108
FIGURA 39 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS – SIN + USINAS (INTRA-ANUAL).	108
FIGURA 40 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS – SIN + USINAS (PLURIANUAL).	109

FIGURA 41 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS – S/SE + USINAS (FIO D'ÁGUA).	109
FIGURA 42 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS – S/SE + USINAS (INTRA-ANUAL).	111
FIGURA 43 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS – S/SE + USINAS (PLURIANUAL).....	111

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – MÉDIA E DESVIO PADRÃO PARA SÉRIES MÓVEIS DE ENERGIAS NATURAIS MÉDIAS ANUAIS – SIN E S/SE (N=20).....	62
TABELA 2 – COEFICIENTES DE VARIAÇÃO, AUTOCORRELAÇÃO E ASSIMETRIA PARA SÉRIES MÓVEIS DE ENERGIAS NATURAIS MÉDIAS ANUAIS – SIN E S/SE (N=20).....	65
TABELA 3 – PARÂMETROS DAS SÉRIES DE ENERGIAS NATURAIS.	67
TABELA 4 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS – UHE JIRAU (EPE, 2008).	68
TABELA 5 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS – UHE SANTO ANTÔNIO (EPE, 2007).	69
TABELA 6 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS – UHE BELO MONTE (EPE, 2009).....	70
TABELA 7 – ARMAZENAMENTOS PARA REGULARIZAÇÃO INTRA-ANUAL – USINAS PARA EXPANSÃO....	71
TABELA 8 – PARÂMETROS BÁSICOS - SIN	71
TABELA 9 – PARÂMETROS BÁSICOS – S/SE	72
TABELA 10 – RESULTADOS – ANÁLISE DETERMINÍSTICA – SIMULAÇÕES SOBRE O PERÍODO HISTÓRICO 1931-1980 – SIN E S/SE.	72
TABELA 11 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO – SÉRIE HISTÓRICA – SIN.	73
TABELA 12 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO – SÉRIE HISTÓRICA – S/SE.	73
TABELA 13 – COEFICIENTES DE AUTOCORRELAÇÃO – SIN E S/SE.	75
TABELA 14 – RELAÇÃO $\rho Z_t \times \rho_{xt}$ PARA LN2.....	76
TABELA 15 – RELAÇÃO $Tr = F(\mu, a)$, PARA $\rho = 0,40$ E $\gamma = 0,30$	78
TABELA 16 – TEMPO DE RECORRÊNCIA – SIN E S/SE.	78
TABELA 17 – VARIAÇÃO DO TEMPO DE RETORNO (ANOS) EM FUNÇÃO DE ρ E γ – SIN E S/SE.	81
TABELA 18 – ANÁLISE DE RACIONAMENTO – DADOS BÁSICOS - SIN E S/SE.....	83
TABELA 19 – ANÁLISE DE RACIONAMENTO – RESULTADOS - SIN E S/SE.	83
TABELA 20 – VALORES DE a E μ PARA DIFERENTES TEMPOS DE RETORNO – SIN E S/SE.....	90
TABELA 21 – RESULTADOS – TEORIA ESTOCÁSTICA DOS RESERVATÓRIOS – SIN E S/SE.....	91
TABELA 22 – COEFICIENTES DE REGULARIZAÇÃO INTRA-ANUAL MÉDIO – SIN E S/SE.....	91
TABELA 23 – COEFICIENTES A E B PARA DIFERENTES TR – SIN E S/SE.	92
TABELA 24 – ENERGIA GARANTIDA MÉTODO DE FILL – SIN E S/SE.	92
TABELA 25 – MÉTODO DE FILL – ENERGIA GARANTIDA INCREMENTAL – SIN.	93
TABELA 26 – MÉTODO DE FILL – ENERGIA GARANTIDA INCREMENTAL – S/SE.....	93
TABELA 27 – RESULTADOS – MÉTODO DE FILL – SIN E S/SE.	93
TABELA 28 – PARÂMETROS DAS SÉRIES SINTÉTICAS E HISTÓRICA – SIN.	95
TABELA 29 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO – MÉTODO DE MONTE CARLO – SIN.....	100
TABELA 30 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO – MÉTODO DE MONTE CARLO – S/SE	102
TABELA 31 – RESULTADOS – MÉTODO DE MONTE CARLO – SIN E S/SE.	104
TABELA 32 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS – RESULTADOS FINAIS - SIN.....	107
TABELA 33 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS – RESULTADOS FINAIS – S/SE.	110
TABELA 34 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS – GANHO DE ENERGIA GARANTIDA (ΔEg) – SIN...112	
TABELA 35 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS – GANHO DE ENERGIA GARANTIDA (ΔEg) – S/SE.112	

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. GERAL.....	13
1.2. JUSTIFICATIVA	16
1.3. OBJETIVOS	16
1.4. ESTRUTURA.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. ENERGIA FIRME E GARANTIDA.....	17
2.2. MÉTODO DA ENERGIA NATURAL	19
2.3. TEORIA ESTOCÁSTICA DOS RESERVATÓRIOS	25
2.3.1. <i>Máximo déficit acumulado</i>	26
2.3.2. <i>Afluências independentes em série</i>	28
2.3.3. <i>Resultados independentes da condição inicial</i>	31
2.3.4. <i>Afluências dependentes em série</i>	36
2.4. CURVA DE REGULARIZAÇÃO	37
2.5. MÉTODO DE MONTE CARLO.....	39
3. MÉTODOS DE ANÁLISE.....	42
3.1. RESERVATÓRIOS PARA REGULARIZAÇÃO INTRA-ANUAL	42
3.2. ABORDAGEM DETERMINÍSTICA	43
3.3. ABORDAGEM PROBABILÍSTICA.....	44
3.3.1. <i>Teoria Estocástica dos Reservatórios</i>	44
3.3.1.1. <i>Método de Fill</i>	44
3.3.1.2. <i>Obtenção de $Tr = F(\mu, \alpha)$</i>	49
3.3.2. <i>Método de Monte Carlo</i>	52
3.3.3. <i>Geração de séries sintéticas</i>	53
3.3.3.1. <i>Escolha do modelo</i>	56
3.3.3.2. <i>Estimativa dos parâmetros</i>	58
3.3.3.3. <i>Verificação e validação do modelo</i>	59
4. RESULTADOS.....	61
4.1. DADOS BÁSICOS.....	61
4.1.1. <i>Sistemas hidrelétricos base</i>	61
4.1.2. <i>Usinas para expansão do sistema</i>	67
4.1.3. <i>Reservatórios para Regularização Intra-Anual</i>	70
4.2. ANÁLISE DETERMINÍSTICA	71
4.3. ANÁLISE PROBABILÍSTICA.....	74
4.3.1. <i>Análise do coeficiente de autocorrelação</i>	74
4.3.2. <i>Relação $Tr = F(\mu, \alpha)$</i>	77
4.3.3. <i>Análise de Sensibilidade para ρ e γ</i>	80
4.3.4. <i>Análise de Sensibilidade para Racionamento</i>	81
4.3.5. <i>Teoria estocástica dos reservatórios clássica</i>	84
4.3.6. <i>Método de Fill</i>	91
4.3.7. <i>Método de Monte Carlo</i>	94
4.3.7.1. <i>Geração de séries sintéticas</i>	94
4.3.7.2. <i>Desagregação das Séries anuais em Mensais</i>	94

4.3.7.3.	<i>Verificação e Validação do Modelo</i>	95
4.3.7.4.	<i>Determinação das curvas de regularização</i>	99
4.4.	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	106
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	114
5.1.	CONCLUSÕES	114
5.2.	RECOMENDAÇÕES	115
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
	ANEXOS	122
	ANEXO 1 – CONFIGURAÇÃO SISTEMAS BASE.....	123
	ANEXO 2 – SÉRIES DE ENERGIAS NATURAIS – SISTEMAS BASE (1931-2010)	127
	ANEXO 3 – SÉRIES DE VAZÕES MÉDIAS MENSAIS E ENERGIAS NATURAIS – UHE'S (1931-2010).....	132
	ANEXO 4 – INFLUENCIA DAS AMOSTRAS NOS PARÂMETROS ρ , γ	145
	ANEXO 5 – ÁBACOS PARA DIFERENTES VALORES DE ρ E γ	147
	ANEXO 6 – MÉTODO DE FILL – DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES K_1 , K_2 E K_3 PARA DIFERENTES TEMPOS DE RETORNO – SIN E S/SE	164
	ANEXO 7 – ROTINAS COMPUTACIONAIS.....	171

1. INTRODUÇÃO

1.1. GERAL

Recentemente, na maioria dos casos devido a problemas de impactos ambientais, têm-se optado pela construção de usinas a fio d'água em detrimento a grandes reservatórios de regularização plurianual.

Esta tendência decorre principalmente da pressão social de grupos ambientalistas e comunidades ribeirinhas contrárias ao deslocamento de populações de áreas que seriam alagadas pelos reservatórios e dos possíveis impactos no meio ambiente.

Por outro lado existe também a posição de especialistas em Hidrologia que apontam para o risco da redução substancial do potencial hidrelétrico que decorreria daquela política de expansão do sistema elétrico (GOMIDE, 2011; FILL e PÉRICO, 2012). GOMIDE (2012) apresenta uma análise detalhada dos benefícios dos reservatórios de regularização e alerta para a argumentação equivocada de apresentar reservatórios como ameaça ambiental.

Evidentemente, ao se optar por um aproveitamento a fio d'água o potencial aproveitado será menor que no caso de reservatórios de regularização por dois efeitos: (1) impossibilidade de aproveitamento das aflúências superiores à capacidade instalada e (2) redução da energia garantida pela redução relativa das reservas acumuladas nos reservatórios (efeito da curva de regularização).

A pesquisa proposta pretende quantificar os efeitos da expansão do sistema via usinas a fio d'água, comparando os benefícios energéticos para esse caso com os de uma expansão com reservatórios de várias dimensões.

Essa comparação será efetuada por uma abordagem teórica baseada na teoria estocástica dos reservatórios bem como através do Método de Monte Carlo utilizando séries sintéticas de energias naturais afluentes. A análise será ilustrada por um estudo de caso para três usinas a fio d'água em construção na bacia amazônica e que tem gerado considerável polêmica.

A análise desenvolvida neste trabalho utilizará em todos os casos o método da energia natural (CANAMBRA, 1969; Fill, 1980) que agrega as

afluências de um sistema hidrelétrico em uma única usina e um único reservatório equivalente.

Ao se analisar os efeitos do nível de regularização (razão entre vazão regularizada e vazão média) a análise será sempre efetuada utilizando valores relativos para a energia armazenada nos reservatórios, isto é, exprimindo o volume em unidades de desvio padrão afluente e a energia garantida como fração da energia média de longo período. Também na análise através da teoria estocástica dos reservatórios (abordagem pela teoria do *déficit*) a regularização sazonal, isto é, sem transferência de água entre os diferentes anos hidrológicos será tratada separadamente da regularização plurianual que é a transferência de água entre os anos úmidos e secos. A composição destes dois aspectos será feita como proposto por GOMIDE e CUNHA (1981).

A Figura 1 ilustra esquematicamente o procedimento combinando o método da energia natural e a separação da regularização sazonal e plurianual.

Na abordagem do problema via método de Monte Carlo não haverá esta separação uma vez que a simulação é efetuada com discretização mensal, gerando-se séries sintéticas de energia afluente média mensal e a seguir simulando-se de forma simplificada a operação do sistema. Entretanto, a geração das séries sintéticas de energias é baseada na geração de médias anuais por um modelo auto regressivo simples AR(1) e posterior desagregação em médias mensais.

A geração direta de energias médias mensais por modelos *PAR* (p) (*periodic autoregressive*) de ordem $p \leq 2$ (limite sugerido por LOUCKS et al (1981)) não tem conseguido reproduzir as autocorrelações das afluências médias anuais (KELMAN et al, 1979).

Ainda no caso das usinas a fio d'água sem reservatórios a montante, a afluência natural mensal será censurada na potencia instalada da usina afetada por um fator de capacidade máxima operacional.

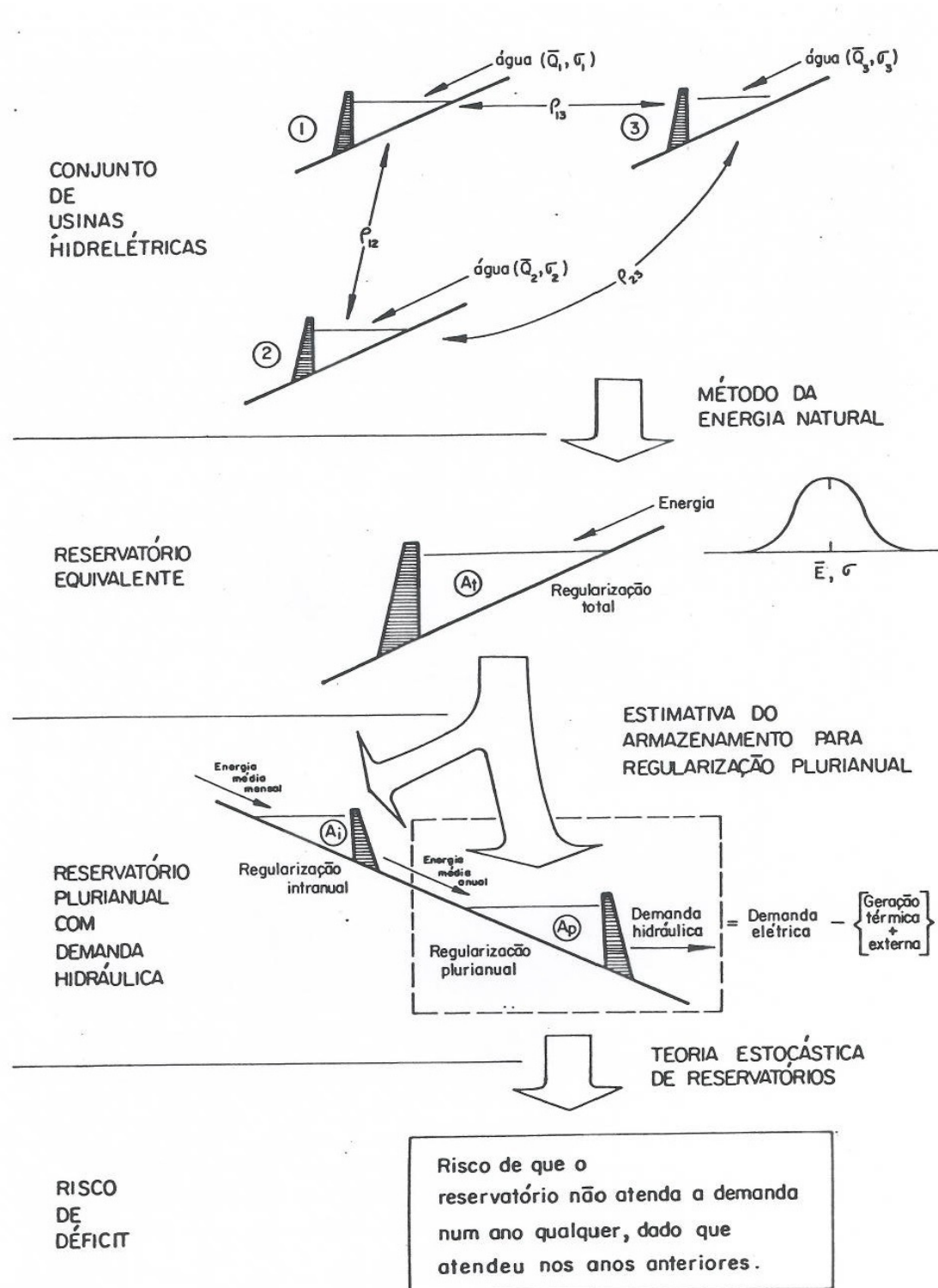


FIGURA 1 – Representação do Método da Energia Natural e da separação da regularização sazonal e pluriannual.

Fonte: CEHPAR (1991).

1.2. JUSTIFICATIVA

A justificativa deste trabalho é clara ao quantificar objetivamente os ganhos da regularização sobre a energia garantida de um sistema hidrelétrico apresentando resultados analíticos sobre efeitos geralmente discutidos apenas qualitativamente. Assim proporciona-se uma base racional para uma análise custo-benefício da implantação de reservatórios de regularização.

1.3. OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa proposta é avaliar quantitativamente os efeitos do nível de armazenamento associado à expansão de um sistema hidrelétrico sobre os ganhos de energia garantida incremental e verificar como reduções do armazenamento relativo (expresso em unidades de desvio padrão) se manifestam na expansão do sistema.

Como objetivos secundários serão apresentados (1) uma visão crítica da expansão de um sistema hidrelétrico via usinas a fio d'água, (2) uma comparação dos resultados obtidos por simulação Monte Carlo e teoria estocástica dos reservatórios, (3) uma avaliação do risco envolvido no chamado método histórico de simulação e (4) uma análise de sensibilidade da assimetria e autocorrelação das afluências sobre o risco de falha de um sistema hidrelétrico.

1.4. ESTRUTURA

O presente trabalho é organizado em cinco capítulos incluindo esta introdução. No capítulo 2 será apresentada uma revisão bibliográfica de contribuições ao problema da expansão de um sistema hidrelétrico. O capítulo 3 apresenta os métodos usados no presente estudo e o capítulo 4 apresenta e discute os resultados. Finalmente o capítulo 5 explicita as conclusões e recomendações desta dissertação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ENERGIA FIRME E GARANTIDA

O conceito de suprimento firme surgiu no final do século XIX, quando se estudava o dimensionamento de reservatórios para o abastecimento de água das cidades. O objetivo era determinar a capacidade de armazenamento que asseguraria uma determinada vazão “firme” mesmo na ocorrência da sequencia hidrológica mais crítica registrada no histórico.

A vazão firme (*firm yield*) era definida como a máxima vazão defluente que poderia ser mantida na repetição da sequencia de vazões históricas mediante o uso de toda a reserva de água do reservatório. RIPPL em 1883 (apud GOMIDE, 1986) propôs um método gráfico para calcular a mínima capacidade que deveria ter um reservatório para garantir o atendimento dessa demanda constante. De maneira inversa, este mesmo diagrama permitia responder à pergunta: qual a vazão firme associada a uma determinada capacidade de armazenamento.

O método proposto por Rippl utilizava a chamada curva de massa (somatório das afluições v.s. tempo) ou a curva diferencial de massa (usando o desvio das vazões em relação à média). Para uma descrição detalhada do método de Rippl veja PINTO et al (1976).

Este conceito de suprimento firme posteriormente foi levado ao setor elétrico e aplicado ao dimensionamento dos reservatórios de usinas hidrelétricas. Essencialmente, para cada alternativa de capacidade do reservatório, usando o método de Rippl obtinha-se a vazão firme que era multiplicado pela queda líquida e uma constante para obter a energia firme. Esta representava a geração contínua máxima que a usina podia produzir ao longo do registro histórico das afluições com a utilização plena do reservatório sem incorrer em déficits de atendimento. O período que precedia a partir do armazenamento máximo o esvaziamento total do reservatório era denominado de período crítico. Utilizava-se a razão entre o custo da construção de cada alternativa e a respectiva energia firme para obter o índice custo/benefício, o que permitia a comparação econômica de diferentes alternativas (KELMAN et al., 2003).

O conceito de energia firme foi a seguir estendido para um conjunto de usinas, com o objetivo de garantir a máxima produção de energia do sistema constante no tempo admitindo-se, entretanto, flutuações de produção de cada usina em particular. Para tanto, agregava-se as usinas e respectivos reservatórios em uma única usina e um único reservatório equivalente através do chamado método da energia natural, descrito em detalhes na seção 2.2. A partir da década de 1960 por indicação de CANAMBRA (1969), o conceito de energia firme e o método da energia natural foram amplamente utilizados no planejamento da expansão de um sistema hidrelétrico ou hidrotérmico com predomínio hidrelétrico, tanto em estudos de inventário, que serviram para definir a “divisão de quedas” de cada rio, como também para definir um programa de obras que garantisse o atendimento adequado da demanda futura.

O princípio subjacente ao uso da energia firme para o planejamento era que a ideia que um sistema que seria bem sucedido no passado também o seria no futuro. Entretanto, várias críticas ao uso da série histórica (e.g. risco desconhecido e variável conforme extensão do período histórico) levaram a partir da década de 1980, a um critério de dimensionamento probabilístico (KELMAN, 1987) em razão do fato de as afluências ao serem variáveis aleatórias, deveriam ser tratadas como tais usando conceitos e métodos da hidrologia estocástica.

Ao invés de garantir o atendimento no caso da ocorrência da pior sequência de afluências baixas registradas no histórico, passou-se a calcular a energia assegurada, definida com a máxima produção que pode ser mantida com uma dada confiabilidade expressa através de uma probabilidade explícita (por exemplo, 95%). Ao definir uma probabilidade de sucesso de 95% para o sistema em um ano qualquer (na verdade uma probabilidade condicionada a sucessos anteriores) ter-se-á uma falha do sistema (*déficit*) em média a cada 20 anos.

O critério probabilístico, juntamente com a consideração do impacto econômico das falhas de suprimento, passou a permitir uma análise mais objetiva da relação custo/benefício dos investimentos na geração de energia elétrica, e encarar falhas no abastecimento como eventos naturais (embora raros).

A análise probabilística fornece uma probabilidade de sucesso ou falha explícita, porem esta probabilidade está vinculada a um modelo do processo estocástico das sequencias de aflências (modelo probabilístico) que precisa ser definido a priori. Obviamente os resultados dependem escolha da modelo adequado. Além do possível erro de especificação (isto é, uma escolha inadequada do modelo probabilístico) existe ainda o erro associado à estimativa dos parâmetros do modelo a partir da série histórica, e no caso do método de Monte Carlo o erro amostral da probabilidade de falha que depende do numero de realizações do processo estocástico utilizado na analise.

O erro amostral se reflete tanto na estimativa dos parâmetros do modelo probabilístico (extensão finita da série histórica) como também na estimativa da probabilidade de sucesso via frequência relativa dos resultados da simulação com séries sintéticas (KELMAN, 1987).

Uma forma de contornar a questão da definição do modelo e da estimativa de seus parâmetros, válida no caso da regularização sazonal (quando o período critico está contido em um ano) é considerar as sequencias anuais de aflências como realizações independentes do processo estocástico. Neste caso o erro amostral depende do número de realizações igual à extensão do período histórico.

Sendo “ α ” a probabilidade de falha, o erro padrão de seus estimador, $\hat{\alpha} = \frac{n(\text{falhas})}{N}$, é dado por $\sigma = \sqrt{\frac{\alpha(1-\alpha)}{N}}$. No caso de $N = 80$ e $\alpha = 0,05$, resulta $\sigma = 0,024$, o que torna o resultado pouco preciso. No entanto é o método usado em muitos países de clima frio onde a maioria dos reservatórios é apenas intra-anual e que ao final do período de degelo estão sempre cheios.

2.2. MÉTODO DA ENERGIA NATURAL

A avaliação do desempenho de um sistema gerador de energia elétrica pode ser determinado simulando-se matematicamente a operação do sistema ao longo de um dado período, usando uma série temporal de aflências às usinas e reservatórios, e regras de operação definidas “a priori”. Essa simulação é realizada a partir de modelos matemáticos cujas variáveis

reproduzem as grandezas físicas envolvidas e cujas equações expressam as relações entre as mesmas.

As regras operativas dos reservatórios podem ser otimizadas por tentativa e erro ou em alguns casos (poucos reservatórios) por programação dinâmica estocástica (FORTUNATO et al, 1990; SILVA, 2001).

Obviamente dada à complexidade de um sistema elétrico real, todos os modelos matemáticos implicam em simplificações da realidade física e o grau dessas simplificações é que distingue entre si os diversos modelos. Uma dessas simplificações consiste em substituir o sistema gerador de N usinas hidrelétricas interligadas por uma única usina equivalente com aflúncias de energia e um único reservatório de energia.

Essa simplificação proposta originalmente pela CANAMBRA (1969) é conhecida como método da energia natural (*Natural Energy Hydrograph*), ou também como método do sistema equivalente (MIYAMOTO e VENTURA FILHO, 1982).

O modelo de simulação pelo método da energia natural apresenta um enfoque bastante simplificado para a simulação de um sistema hidrelétrico, entretanto conduz a excelentes resultados globais, principalmente se as usinas que compõem o sistema são dotadas de boa regularização a montante, ou se forem totalmente desprovidas de regularização. FILL (1980) e GOMIDE (1986) mostram que os erros decorrentes das simplificações do método da energia natural são aceitáveis perante outras incertezas no planejamento (e.g. erros na estimativa das vazões, volumes reais dos reservatórios, usos múltiplos da água).

Além da demanda e das regras operativas, duas componentes básicas entram na simulação de um sistema hidrelétrico: vazões naturais e capacidade de regularização de reservatórios. Essas duas componentes podem ser transformadas em unidades de energia e assim conduzir a uma regularização de energia (FILL, 1980).

As vazões naturais dos rios podem para cada usina ser convertidas em energia não regularizada, ou “energia natural” multiplicando-se essas vazões pela queda líquida média, pelo rendimento das máquinas, e pela aceleração da gravidade. Somando-se as energias naturais das várias usinas, obtém-se a energia natural do sistema, resultando:

$$EN(t) = \sum_{i \in U} \left(\frac{g \bar{H}_i \eta_i}{1000} \right) Q_i(t) \quad (1)$$

Onde:

$EN(t)$ = energia natural do sistema, em MWmês/mês;

g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²);

\bar{H}_i = queda líquida média da usina “i”, em m;

$Q_i(t)$ = vazão natural da usina “i”, em m³/s;

η_i = rendimento médio do conjunto gerador da usina “i”;

U = conjunto das usinas do sistema.

O termo entre parênteses é denominado produtividade da usina e denotado por K_i , expresso em MW/m³s⁻¹.

Os volumes úteis dos reservatórios também podem ser expressos em termos de energia, calculando-se a geração possível com a água armazenada através de todas as usinas a jusante. A soma dessa capacidade energética de todos os reservatórios constitui o armazenamento (reservatório de energia) total, que pode ser usado para regularizar a energia natural do sistema, para atender a uma dada demanda de energia (FILL, 1979).

Sendo a produtividade K_i da usina “i” dada por:

$$K_i = \frac{g \bar{H}_i \eta_i}{1000} \quad (2)$$

A capacidade máxima do reservatório de energia equivalente $A_{m\acute{a}x}$ em MWmês é obtida através da relação abaixo:

$$A_{m\acute{a}x} = \sum_{j \in R} \frac{V_j}{2,628} \left(\sum_{i \in J} K_i \right) \quad (3)$$

Onde:

$A_{m\acute{a}x}$ = capacidade máxima do reservatório de energia equivalente, em MWmes;

K_i = produtividade da usina “ i ”, MW/m^3s^{-1} ;

V_j = volume útil do reservatório “ j ”, em Hm^3 ;

J = conjunto de usinas à jusante do reservatório “ j ”.

R = conjunto de reservatórios do sistema.

A análise do sistema torna-se então análoga ao estudo de regularização de um único reservatório e uma única usina hidrelétrica. é assumida a integração elétrica total entre todas as usinas do sistema, sem limitaoes e geralmente as simulaoes são feitas na escala mensal, de modo que a energia natural corresponda a uma potência média mensal.

No caso da série de afluências utilizada na simulação ser a própria série histórica a demanda máxima que o sistema (equivalente) pode suprir sem *déficit* é denominada de energia firme (EF), definida anteriormente.

A simulação para obtenao da energia firme (EF) associada ao sistema com armazenamento $A_{m\acute{a}x}$ é dada através da aplicação do seguinte algoritmo:

Arbitra $EF < Energia Media$

$$A(0) = A_{m\acute{a}x} \quad (4)$$

Para $t = 1, 2, \dots$,

$$A(t) = \min \left\{ \begin{array}{l} A_{m\acute{a}x} \\ A(t-1) + EN(t) - EF \end{array} \right. \quad (5)$$

Variar EF até que $A_{m\acute{i}n} = \min A(t) = 0$

O período que corresponde ao intervalo entre $A(t) = A_{m\acute{i}n} = 0$ e o tempo anterior com $A(t) = A_{m\acute{a}x}$ é denominado período crítico (PC), ou seja, é o tempo em que ocorre o esvaziamento total do reservatório equivalente.

Para a aplicação do método da energia natural, algumas hipóteses simplificadoras devem ser adotadas (FILL, 1980; CANAMBRA, 1969).

- i) Para converter vazão em energia natural, uma queda média deve ser escolhida em cada usina que pode diferir da queda real a cada mês. Para usinas com reservatórios o nível de montante depende da função do reservatório do sistema, das afluições naturais e da posição da usina no diagrama de carga do sistema. O nível de jusante varia com a vazão defluente e o nível do reservatório a jusante. Geralmente se assume a queda média como aquela correspondente ao reservatório com 50% do volume útil e para o nível de jusante uma vazão defluente igual a 110% da vazão média. O erro resultante dessa simplificação afeta pouco o resultado que é o valor da energia firme do sistema
- ii) As vazões naturais devem ser corrigidas pela evaporação líquida dos reservatórios. A evaporação líquida é definida como a diferença entre a evaporação da superfície líquida do reservatório e a evapotranspiração real da área inundada. Isso não cria maiores problemas, podendo a evaporação líquida ser avaliada como função da área do reservatório das afluições naturais e ser subtraída das afluições naturais, embora se deva considerar uma área média para o reservatório (usando o mesmo critério da queda média). CEHPAR (1979) mostra em detalhe como esta correção pode ser estimada convenientemente.
- iii) Está implícito no método que toda energia natural e armazenada é usável, isto é, enquanto aquela for menor que a carga ou esta for menor que o armazenamento máximo não haverá vertimentos. Essa condição é difícil de verificar-se plenamente, mas está próxima da realidade durante épocas de estiagem em sistemas bem regularizados e hidrológicamente homogêneos. O vertimento das usinas a fio d'água, e sem regularização a montante, não coloca problemas, podendo ser eliminado das energias naturais, limitando-se (trucando) essas à produção máxima da usina.

- iv) Na simulação da operação do sistema, a energia natural em cada período é comparada com a carga, para decidir se o reservatório de energia será deplecionado ou enchido. A distribuição do armazenamento entre os diferentes reservatórios do sistema (prioridades) e restrições à sua operação (vazões mínimas, curvas de controle) são ignoradas. Admite o método que a operação do sistema é suficientemente flexível para utilizar de alguma forma o armazenamento disponível na geração de energia. Eventuais perdas de água dos reservatórios por limitações locais ou erros de operação podem ser considerados de forma aproximada por um chamado “rendimento operacional” das unidades geradoras.
- v) Uma restrição evidente para o enchimento dos reservatórios são as vazões naturais nos locais onde não existam reservatórios. Se houver um excesso de energia natural no trecho à jusante do reservatório, ela não pode ser adicionada à armazenagem. Entretanto essa limitação pode ser levada em conta separando a energia natural a montante dos reservatórios (energia controlável) e a energia natural incremental afluente aos aproveitamentos (energia não controlável ou a fio de água).

Pode-se dizer, entretanto, que apesar dessas hipóteses simplificadores bastante fortes o método da energia natural conduz a resultados bastante satisfatórios, principalmente no estudo de alternativas, desde que o sistema esteja voltado primordialmente à produção de energia elétrica e onde os diversos aproveitamentos não estejam sujeitos a um conjunto complexo de restrições e regras de operação tal como ocorre em desenvolvimentos de propósitos múltiplos. FILL (1980) mostrou que as diferenças resultadas em relação a modelos de simulação individualizados raramente ultrapassam aos 5%.

Comporta ainda o método de energia natural à simulação da operação de usinas térmicas, quer seja em regime complementar (usando curvas-guia) ou na base (onde se soma uma constante ao sistema hidrelétrico). No caso do regime complementar compara-se o armazenamento em cada instante ao valor

da curva guia; se for superior a esta a térmica é desligada ou gerando o mínimo, caso contrário será operada na sua capacidade máxima.

A definição da curva guia no caso da simulação sobre o período histórico é obtida a partir da curva de depleção (armazenamento v.s. tempo) durante o período crítico (CANAMBRA, 1967; FORTUNATO, 1990). No caso do método probabilístico (Monte Carlo) a curva guia pode ser obtida por programação dinâmica estocástica (FORTUNATO, 1990; SILVA, 2001).

Vale a pena ressaltar que esse método permite um cálculo rápido, inclusive manual, de sistemas hidrelétricos de complexidade razoável. Além disso, dispensa a definição de regras operativas individuais para depleção e enchimento de reservatórios cuja definição constitui um problema complexo de otimização estocástica. Pode-se ainda, embora com certas aproximações, determinar as contribuições energéticas individuais de cada usina, bastando para isso, uma vez conhecido o período crítico, somar as energias naturais dessa usina, ao longo deste período acrescentar a armazenagem a montante computando apenas a queda da usina considerada, e dividir pelo número de meses do período crítico (FORTUNATO, 1990). Outra forma de repartir a energia firme do sistema entre as usinas é ponderar as energias naturais por um índice de custo (custo marginal de operação do sistema).

Ainda cabe mencionar que o método da energia natural permite utilizar a teoria estocástica dos reservatórios para um sistema hidrelétrico de múltiplas usinas conforme descrito por GOMIDE (1986).

2.3. TEORIA ESTOCÁSTICA DOS RESERVATÓRIOS

A teoria estocástica dos reservatórios consiste basicamente em estabelecer uma relação entre o volume do reservatório e uma vazão regularizada (vazão garantida), associada a uma determinada confiabilidade num dado horizonte de planejamento. Essa relação é referida na literatura como curva de regularização.

Para um entendimento mais aprofundado da teoria estocástica dos reservatórios e a sua evolução histórica, GOMIDE (1983) sugere como fonte de pesquisa bibliográfica RIPPL (1883), HAZEN (1914), SUDLER (1927), HURST (1951), MORAN (1954), YEVJEVICH (1965), LLOYD (1974) E PEGRAM et al.

(1980). Além disso, GOMIDE (1986) constitui-se uma ótima publicação em português sobre o assunto incluindo a sua aplicação no planejamento da expansão de sistemas hidrelétricos.

Conforme GOMIDE (1986), na teoria estocástica dos reservatórios são identificáveis três linhas de pesquisa, descritas na sequencia:

- i) “Análise de Amplitudes”, iniciada por Hurst (1951) e FELLER (1951) e consideravelmente desenvolvida por YEVJEVICH (1965) na Colorado State University. Essa linha consiste no estudo das propriedades estocásticas das somas parciais de variáveis aleatórias com ênfase na chamada amplitude ajustada e suas aplicações aos estudos de regularização de reservatórios (GOMIDE, 1978).
- ii) “Análise de Estados”, também conhecida como “Análise de Moran”, foi iniciada pelo próprio MORAN (1954) e extensivamente estudada nas décadas seguintes. Ela consiste na obtenção da distribuição de probabilidades de vários estados de um reservatório baseada na matriz de transição de uma cadeia de Markov. Merecem destaque as contribuições a esta linha de pesquisa por LLOYD (1963) e LLOYD e ODOOM (1964).
- iii) “Análise de Déficits”, a qual GOMIDE (1986) chamou de “teoria do déficit” concilia as duas linhas de pesquisa citadas anteriormente. GOMIDE (1975) mostrou que a distribuição da “amplitude de somas parciais de variáveis aleatórias” pode ser obtida a partir da Análise de Moran na situação em que as fronteiras (estados cheio e vazio do reservatório) são absorventes. Na análise de estados as duas fronteiras são reflexivas e na análise de déficits têm-se uma fronteira absorvente (vazio) e uma reflexiva (cheio).

2.3.1. Máximo déficit acumulado

Na análise de déficits, GOMIDE (1975) considera a propriedade mais importante das somas parciais de variáveis aleatórias o chamado máximo déficit acumulado, uma vez que esta é a propriedade avaliada por praticantes de hidrologia a partir da técnica da curva de massa (método de Rippl),

utilizando-a para dimensionar reservatórios. O máximo déficit acumulado é matematicamente definido como:

$$D_n = -\min_{l \leq j \leq k \leq n} (x_j + x_{j+1} + \dots + x_{k-1} + x_k) \quad (6)$$

Onde X_i representa a diferença entre a afluência e a defluência regularizada, chamada de afluência líquida. O máximo déficit acumulado ao longo de n intervalos de tempo denotado por D_n corresponderá ao valor acumulado dos x_j durante os $(k-j+1)$ intervalos de tempo em que mais se terá deplecionado o reservatório. Sendo as afluências variáveis aleatórias, evidentemente o máximo *déficit* acumulado também será uma variável aleatória. A Figura 2 ilustra esta técnica mostrando o procedimento de se obter D_n para uma única realização particular do processo estocástico.

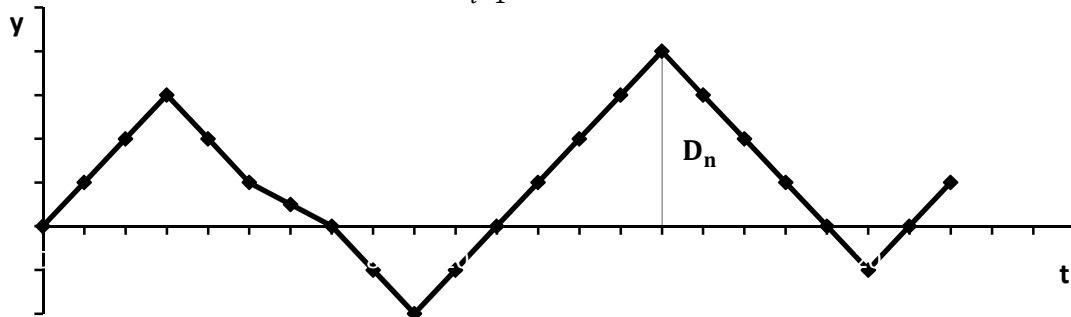
Para o caso de o reservatório possuir uma fronteira correspondente ao estado reservatório vazio, diz-se que a probabilidade de sucesso do reservatório é a probabilidade deste não ter sido esvaziado ao longo de n intervalos de tempo, expressa por:

$$Prob(S_n) = Prob[D_n \leq d] = F_{D_n}(d) \quad (7)$$

Onde S_n é o evento sucesso em n anos, d é o tamanho do reservatório e $F_D(\cdot)$ é a função de distribuição acumulada de D_n . Observa-se que a função da distribuição acumulada de probabilidade de D_n é a medida da probabilidade de sucesso do reservatório atender a demanda necessária, sendo assim a determinação da distribuição de probabilidades da variável aleatória D_n a partir da distribuição de probabilidades das afluências líquidas o foco da análise de déficits.

CURVA DIFERENCIAL DE MASSA

$$y(t) = y(t-1) - x(t) = - \sum_{i=1}^t x_i$$



CURVA DIFERENCIAL DE MASSA CENSURADA

$$y(t) = \max \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ y(t-1) - x(t) \end{array} \right.$$

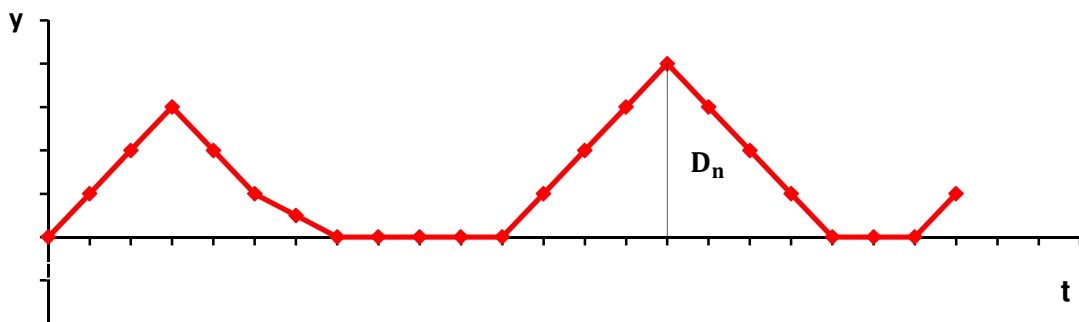


FIGURA 2 – Representação do Máximo Déficit Acumulado.

2.3.2. Afluências independentes em série

Segundo GOMIDE (1986) para este caso a distribuição de probabilidades do máximo déficit acumulado D_n é dada por:

$$P[D_n \leq k] = rP^{(n)}\theta_0 \quad (8)$$

Onde:

$\mathbf{P}^{(n)}$ = é a matriz de probabilidade de transição em n passos com fronteira inferior absorvente [$Prob(s_t = 0 | s_{t-1} = 0) = 1$] e superior reflexiva de dimensão $(k + 2)$;

\mathbf{r}^T = vetor linha $[0 \ 1 \ 1 \ \dots \ 1 \ 1 \ 1]$;

$\boldsymbol{\theta}_0$ = vetor coluna cujo transposto é $[0 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0 \ 0 \ 1]$.

Entende-se por matriz de probabilidade de transição em n passos a matriz cuja entrada correspondente à i -ésima linha e j -ésima coluna é a probabilidade de o reservatório mudar do estado j para o estado i em exatamente n intervalos de tempo. Na expressão apresentada é importante ressaltar que:

- i) A multiplicação da matriz pelo vetor coluna $\boldsymbol{\theta}$ implica em preservar apenas a sua última coluna (que corresponde a “estado inicial cheio”);
- ii) A multiplicação dessa coluna pelo vetor linha \mathbf{r} implica em somar todos os seus elementos, com exceção do primeiro (que corresponde a “estado final vazio, dado que começou cheio”);
- iii) A soma de todos os elementos de qualquer coluna da matriz $\mathbf{P}(n)$ é igual à unidade (pois que todos correspondem à probabilidade de eventos mutuamente excludentes e completamente exaustivos).

Assim, $P[D_n \leq k]$ é a probabilidade de um reservatório, inicialmente cheio, chegar ao n -ésimo intervalo de tempo em qualquer estado que não vazio. Como o estado vazio é absorvente, isso equivale a dizer que ele nunca se esvaziou ao longo de n intervalos de tempo, ou seja, foi bem sucedido.

Para o caso de afluências independentes em série, o problema fica muito simplificado, pois a matriz de probabilidades de transição em n passos é simplesmente a n -ésima potência da matriz de probabilidades de transição em 1 passo: $\mathbf{P}^{(n)} = \mathbf{P}^n$.

Nesse caso, o volume de água armazenada no reservatório constitui uma cadeia de Markov simples, homogênea, com estados $\{0, 1, 2, \dots, k + 1\}$, e com a matriz de probabilidades de transição \mathbf{P} dada por:

↙	0	1	2			$k-2$	$k-1$	k	$k+1$
0	1	l_{-1}	l_{-2}	.	.	l_{-k+2}	l_{-k+1}	l_{-k}	l_{-k-1}
1	0	P_0	P_{-1}	.	.	P_{-k+3}	P_{-k+2}	P_{-k+1}	P_{-k}
2	0	P_{+1}	P_0	.	.	P_{-k+4}	P_{-k+3}	P_{-k+2}	P_{-k+1}
3	0	P_{+2}	P_{+1}	.	.	P_{-k+5}	P_{-k+4}	P_{-k+3}	P_{-k+2}
$\mathbf{P} =$

$k-2$	0	P_{k-3}	P_{+k+4}	.	.	P_0	P_{-1}	P_{-2}	P_{-3}
$k-1$	0	P_{k-2}	P_{+k+3}	.	.	P_{+1}	P_0	P_{-1}	P_{-2}
k	0	P_{k-1}	P_{+k-2}	.	.	P_{+2}	P_{+1}	P_0	P_{-1}
$k+1$	0	u_{+k}	u_{+k-1}	.	.	u_{+3}	u_{+3}	u_{+1}	u_{+0}

Nessa matriz, as entradas P_i medem a probabilidade das afluências líquidas discretizadas $(X)_t$ serem igual i ($P[X_t = i] = p_i$), e os elementos na primeira e na última linha são tais que:

$$l_{-j} = p_{-j} + p_{-j-1} + p_{-j-2} + \dots \quad (j = 0, 1, 2, \dots, K + 1) \quad (9)$$

$$u_{+j} = p_{+j} + p_{+j+1} + p_{+j+2} + \dots \quad (j = 0, 1, 2, \dots, K + 1) \quad (10)$$

O formato da primeira coluna assegura que o estado vazio ($S = 0$) seja absorvente. A chave do raciocínio que deve ser seguido para a aplicação do exposto passa a ser a distribuição de probabilidades discretizada da variável aleatória afluência líquida e a seleção adequada do esquema de discretização das variáveis envolvidas, isto é, das afluências e do tamanho do reservatório.

Desta forma, pode-se discretizar qualquer tipo de afluência, e encontrar-se a probabilidade de sucesso de qualquer tamanho de reservatório, para qualquer valor da vazão que se deseja garantir desde que se conheça distribuição de probabilidades das afluências. Consequentemente existe uma relação bem definida entre tamanho de reservatório e vazão garantida, para uma dada probabilidade de sucesso cuja determinação é o problema fundamental do dimensionamento de reservatórios. Essa relação é chamada de “curva de regularização”.

2.3.3. Resultados independentes da condição inicial

Quando se busca encontrar soluções de longo prazo, que é o caso do planejamento da expansão, a obtenção de resultados independentes da condição inicial pode ser interessante.

Há dois tipos de resultados independentes das condições iniciais: resultados assintóticos, no sentido de também serem independentes do tempo (no caso o número n de intervalo de tempo), e resultados que dependem do tempo, apesar de não dependerem das condições iniciais.

A distribuição assintótica do máximo déficit acumulado, para a situação em que a vazão a garantir é igual à vazão média de longo termo, foi encontrada por GOMIDE (1975, 1978), que mostrou também ser válida para o caso de afluência com estrutura de correlação em série.

Outro resultado mais forte e mais importante em termos de potencial de aplicações, chamado de distribuição quase estacionária de probabilidades de estados do reservatório, será discutido a seguir.

O produto da t -ésima potência da matriz de probabilidade de transição, pelo vetor θ fornece a distribuição de probabilidades dos estados do reservatório no tempo t que, novamente multiplicado pela matriz de probabilidades de transição, fornece a distribuição de probabilidades dos estados do reservatório no tempo $t + 1$. Em qualquer dos vetores resultantes, a soma de todos os elementos exceto o primeiro, fornece a probabilidade de sucesso do reservatório, válida, no caso do primeiro resultado, para t intervalos de tempo, e no caso do segundo resultado, para $t + 1$ intervalos de tempo:

$$\theta_t^{k+1} = \begin{bmatrix} p^{(t)} & (0, k+1) \\ p^{(t)} & (1, k+1) \\ p^{(t)} & (2, k+1) \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ p^{(t)} & (k, k+1) \\ p^{(t)} & (k+1, k+1) \end{bmatrix} e \theta_{t+1}^{k+1} = \mathbf{P} \begin{bmatrix} p^{(t)} & (0, k+1) \\ p^{(t)} & (1, k+1) \\ p^{(t)} & (2, k+1) \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ p^{(t)} & (k, k+1) \\ p^{(t)} & (k+1, k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p^{(t+1)} & (0, k+1) \\ p^{(t+1)} & (1, k+1) \\ p^{(t+1)} & (2, k+1) \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ p^{(t+1)} & (k, k+1) \\ p^{(t+1)} & (k+1, k+1) \end{bmatrix}$$

$$Pr[D_t \leq k] = \bar{\mathbf{r}}^T \bar{\theta}_t^{k+1} e Pr[D_{t+1}^{k+1} \leq k] = \bar{\mathbf{r}}^T \mathbf{P} \bar{\theta}_t^{k+1} \quad (11)$$

Nos vetores apresentados, $p^{(t)}(s, k + 1)$ denota a probabilidade do reservatório que estava inicialmente cheio (estado $k + 1$), estar no t -ésimo passo, no estado s . Entende-se por distribuição estacionária de probabilidades aquela que conduz às seguintes condições: $p^{(t+1)}(s, k + 1) = p^{(t)}(s, k + 1)$ para todos os $s = (0, 1, k, k + 1)$. Em álgebra matricial, o problema se reduz à determinação do autovalor λ e do auto vetor θ tal que $\mathbf{P} \cdot \theta = \lambda \cdot \theta$. Como a soma de todos os valores do vetor θ tem, obrigatoriamente, de ser unitária, o problema tem uma solução trivial: $\lambda = 1$, e $\theta = [1, 0, \dots, 0]^T$. Como o estado vazio é absorvente, no longo prazo nele estará concentrada toda a massa de probabilidades, formando assim a distribuição estacionária.

No entanto, se for observada que a matriz \mathbf{P} pode ser repartida como segue:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 1 & \mathbf{l}^T \\ \mathbf{0} & \mathbf{P}_* \end{bmatrix} \quad (12)$$

Onde:

$$\mathbf{l}^T = [l_{-1} \ l_{-2} \ \dots \ l_{-k} \ l_{-k-1}] \quad (13)$$

$$\mathbf{0}^T = [0 \ 0 \ \dots \ 0 \ 0] \quad (14)$$

Nota-se que:

$$\mathbf{P}^t = \begin{bmatrix} 1 & \mathbf{l}^T (\mathbf{I} + \mathbf{P}_* + \mathbf{P}_*^2 + \dots + \mathbf{P}_*^n) \\ \mathbf{0} & \mathbf{P}_*^t \end{bmatrix} \quad (16)$$

Onde \mathbf{I} é a matriz identidade, de dimensão $k + 1$. Como se verá em seguida é relevante encontrar-se o autovalor da matriz \mathbf{P}_* , uma vez que ele mede a relação entre a probabilidade de sucesso nos instantes $t + 1$ e t .

Particionando igualmente os vetores $\theta_t = \begin{bmatrix} \theta_t^0 \\ \theta_t^* \end{bmatrix}$ e $r^T = [0 \quad \mathbf{1}^T]$ resulta da equação (16):

$$Pr[D_{t+1} \leq k] = [0 \quad \mathbf{1}^T] \begin{bmatrix} \theta_{t+1}^0 \\ \theta_{t+1}^* \end{bmatrix} = [0 \quad \mathbf{1}^T] \begin{bmatrix} 1 & l^T \\ 0 & P^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_t^0 \\ \theta_t^* \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$Pr[D_{t+1} \leq k] = Pr(S_{t+1}) = [0 \quad \mathbf{1}^T] \begin{bmatrix} \theta_t^0 + l^T \theta_t^* \\ P^* \theta_t^* \end{bmatrix} = \mathbf{1}^T P^* \theta_t^* \quad (18)$$

sendo S_{t+1} o evento “sucesso em $t + 1$ anos”.

Considerando o problema de autovalor:

$$P^* \theta_t^* = \lambda \theta_t^* \quad (19)$$

Com λ autovalor e θ_t^* auto vetor de P^* .

Substituindo resulta,

$$Pr(S_{t+1}) = \mathbf{1}^T P^* \theta_t^* = \mathbf{1}^T \lambda \theta_t^* = \lambda \mathbf{1}^T \theta_t^* = \lambda Pr(S_t) \quad (20)$$

Denotando por s_{t+1} o evento sucesso no ano $t + 1$, resulta da definição de probabilidade condicionada:

$$Pr(S_{t+1}) = Pr(S_t \cap s_{t+1}) = Pr(s_{t+1}|S_t) Pr(S_t) \quad (21)$$

onde $Pr(s_{t+1}|S_t)$ é a probabilidade de sucesso no ano $t + 1$ dado que houve sucesso nos t anos anteriores. Comparando (20) e (21) conclui-se que,

$$Pr(s_{t+1}|S_t) = \lambda \quad (22)$$

Em um sistema estacionário como a matriz de transição é constante no tempo, λ também será constante. Por outro lado, o chamado tempo de retorno é definido como sendo o valor esperado do intervalo entre falhas consecutivas

(uma variável aleatória) e é usado com frequência como indicador de confiabilidade de um sistema.

Como será mostrado mais adiante, o tempo de retorno é dado por:

$$Tr = \frac{1}{1 - Pr(s_{t+1}|S_t)} \quad (23)$$

o que facilita a interpretação de λ , para hidrólogos familiarizados com o conceito de tempo de recorrência ($\lambda = 1 - 1/Tr$).

Assim, podem ser produzidos resultados relacionando a demanda (ou vazão firme), o tamanho do reservatório e o tempo de recorrência, este último substituindo o conceito de probabilidade de sucesso que obrigava a definir o horizonte de planejamento (ou vida útil da obra), e incorporava os efeitos do estado inicial do reservatório.

Sendo F um evento denominado “falha” que pode ocorrer ao longo do tempo, por exemplo, a ocorrência de vazões superiores a capacidade de descarga de um vertedor, ou o esvaziamento completo de um reservatório de regularização. Seja τ o intervalo de tempo entre ocorrências sucessivas de F medido em geral em anos. Dado o caráter aleatório dos fenômenos que levam à falha do sistema, e portanto τ sendo uma variável aleatória, o tempo de recorrência pode ser definido como o valor esperado do intervalo τ entre a ocorrência de duas falhas sucessivas $Tr = [E(\tau)]$.

Seja p a probabilidade de ocorrência de F em um dado intervalo de tempo t , para eventos F independentes, resulta:

$$Tr = 1p + 2qp + 3q^2p + \dots = p \sum 1 + 2q + 3q^2 + \dots \quad (24)$$

Onde $q = 1 - p$ é a probabilidade de não ocorrência de F . A série de potência equivale a expansão em série de:

$$(1 - q)^{-2} = 1 + 2q + 3q^2 + \dots \quad (25)$$

e portanto:

$$Tr = \frac{p}{(1-q)^2} = \frac{p}{p^2} = \frac{1}{p} \quad (26)$$

No caso de eventos dependentes o tempo de retorno será função da probabilidade condicionada da ocorrência de F em um ano n dado, não ocorrer nos $n - 1$ anos anteriores. Seja S_t o evento de “sucesso em t anos” e s_{t+1} o evento sucesso no $t+1$ -ésimo ano:

$$Tr = 1P(S_0)[1 - P(s_1|S_0)] + 2P(S_1)[1 - P(s_2|S_1)] + 3P(S_2)[1 - P(s_3|S_2)] + \dots \quad (27)$$

Supondo que $P(s_{t+1}|S_t)$ seja constante e independente de t (sistema estacionário) e que:

$$P(S_t) = P(S_{t-1}) \cdot P(s_t|S_{t-1}) \quad (28)$$

Resulta:

$$Tr = P(S_0)\{[1 - P(s_t|S_{t-1})] + 2[1 - P(s_t|S_{t-1})]P(S_1) + 3[1 - P(s_t|S_{t-1})]P(S_2)\} \quad (29)$$

ou,

$$Tr = [1 - P(s_t|S_{t-1})]P(S_0) + 2[1 - P(s_t|S_{t-1})]P(S_0)P(s_t|S_{t-1}) + 3[1 - P(s_t|S_{t-1})]P(S_0)[P(s_t|S_{t-1})]^2 + \dots \quad (30)$$

Dado que $P(S_0) = 1$ e $\lambda = P(s_t|S_{t-1})$:

$$Tr = (1 - \lambda)(1 + 2\lambda + 3\lambda^2 + \dots) \quad (31)$$

Ou seja,

$$Tr = (1 - \lambda) \frac{1}{(1 - \lambda)^2} = \frac{1}{(1 - \lambda)} \quad (32)$$

Isso mostra que o conceito de tempo de retorno pode ser aplicado também para eventos de falha não independentes no tempo estocástico desde que o processo subjacente seja estacionário. Note que a probabilidade de falha de um reservatório de regularização plurianual depende de falhas em anos anteriores, pois nesse caso o ano se inicia com o reservatório deplecionado.

2.3.4. Afluências dependentes em série

LLOYD (1963) sugeriu a extensão do reservatório de Moran para afluências dependentes em série, que pode-se estender também a teoria do déficit.

A formulação da solução é relativamente simples: trata-se de redefinir o que se entende por “estado do sistema”, que, ao invés de ser caracterizado apenas pelo nível do armazenamento, passa a ser caracterizado pelo par de variáveis “nível de armazenamento” e “afluência anterior” (GOMIDE,1986).

Claramente, essa segunda informação era desnecessária no caso da independência em série, ou seja, conhecer a afluência anterior não era relevante para a distribuição de probabilidade da nova afluência. O problema nesse artifício engenhoso de restauração das propriedades markovianas é que o tamanho das matriz cresce dramaticamente, pois em vez de $k + 2$ estados, devem ser considerados $m \times (k + 2)$ novos estados, onde m é o número de massas de probabilidade utilizados na discretização das afluências.

A parcimônia na discretização passa a ser fundamental para a viabilização dos cálculos em detrimento do realismo com que as vazões naturais são modeladas.

Extremo de parcimônia foi demonstrado por GOMIDE (1975), modelando afluências simétricas por apenas duas massas de probabilidade, ganhando alguma experiência na influência da estrutura de correlação nos tamanhos dos reservatórios.

Essa experiência também pode ser obtida a partir de ensaios de simulação, como fizeram GOMIDE e CUNHA (1981), que sugere que “um coeficiente de correção aos volumes determinados para o caso de afluências independentes, função do valor do coeficiente de correlação em série, evitando de forma prática um número muito grande de cálculos”.

A título de comentário final, GOMIDE (1986), cita que a pouca atenção dada por pesquisadores do sul do Brasil à estrutura de correlação em série das afluições anuais decorre do fato de ela ser realmente pouco importante nessa região geográfica, em decorrência da sua formação geológica, que implica em um pequeno armazenamento subterrâneo. Naturalmente, quanto menor o lençol subterrâneo, menor o seu efeito regularizador no sentido de transferência de água de um ano para outro, e conseqüentemente, menor o coeficiente de correlação em série. Na região sudeste do Brasil, por outro lado, não é incomum serem encontrados coeficientes de correlação em série das afluições anuais na faixa de 25% e mesmo maiores, o que certamente se deve a armazenamento subterrâneo grande e uma flutuação mais lenta das vazões naturais.

2.4. CURVA DE REGULARIZAÇÃO

A curva de regularização fornece, para cada volume útil locado em abscissa, a vazão firme ou garantida. Na obtenção da curva de regularização a vazão firme ou garantida é sempre expressa como média sobre um intervalo de discretização (dia, mês, ano) assim como as vazões afluentes. No caso da vazão firme a “garantia” (probabilidade de sucesso) não é qualificada pois a curva de regularização é obtida mediante a aplicação do chamado “método histórico” ou diagrama de Rippl (GOMIDE, 1986) que fornece o máximo déficit acumulado do período histórico como volume necessário.

Nesse método, fica implícita a expectativa de que a probabilidade de sucesso do projeto seja da ordem de grandeza de algo razoável, uma vez que se está projetando para o futuro o reservatório que teria sido bem sucedido caso existisse no passado, ao longo do período histórico de observações. Embora ainda amplamente utilizado por engenheiros no projeto de obras hidráulicas este método não é mais utilizado no planejamento da expansão do sistema elétrico brasileiro (GOMIDE, 1986).

A medida que cresce o intervalo de discretização do tempo (dia, mês, ano), o volume útil necessário para regularização é sistematicamente subestimado. Não poderia ser diferente, pois a variabilidade das vazões dentro

do intervalo de discretização está sendo sempre desprezada, e ela é tanto mais importante quanto maior é o intervalo de discretização do tempo adotado.

Essa propriedade fica evidente ao se focar na vazão garantida para volume nulo. Esta evidentemente é a vazão mínima entre as médias sobre o intervalo de discretização. Como obviamente a mínima média anual é sempre maior que a mínima média mensal, fica evidente a propriedade citada.

Outra importante propriedade da curva de regularização, é que a sua derivada fornece a duração do período crítico. Para comprovar esta propriedade, GOMIDE (1986) utiliza-se da definição do Máximo Déficit Acumulado.

Seja,

$$D_n = V = -\text{mín}(x_j + x_{j+1} + \dots + x_k) \quad (33)$$

sendo,

$$x_j = Q_j - Q_{reg} \quad (34)$$

resulta:

$$V = -\text{mín}(Q_j + \dots + Q_k) + (k - j + 1)Q_{reg} \quad (35)$$

e portanto,

$$\frac{dV}{dQ_{reg}} = k - j + 1 \quad (36)$$

Ao se considerar a energia garantida para um dado tempo de retorno, evidentemente haverá uma curva de regularização para cada Tr . Neste caso a curva de regularização não poderá ser obtida da simulação histórica, mas será necessário a aplicação de métodos estatísticos como a teoria estocástica dos reservatórios ou o Método de Monte Carlo.

2.5. MÉTODO DE MONTE CARLO

Uma alternativa à teoria estocástica dos reservatórios e mais especificamente a teoria do déficit é o método de Monte Carlo para estimar a energia garantida de um sistema hidrelétrico.

Neste caso é possível considerar o desempenho de usinas isoladas (ou subsistemas equivalentes) com as respectivas limitações locais e produtividade variável, desde que se tenha estabelecido regras operativas que distribuem as depleções/enchimentos entre os reservatórios individuais.

Também é possível na simulação individualizada considerar limitações do sistema de transmissão que interliga eletricamente as usinas e os centros de carga.

Entretanto, se o objetivo é determinar apenas a capacidade de geração global o sistema, este refinamento não é necessário dado que os erros associados às outras incertezas do sistema são superiores ao erro incorrido no método da energia natural. Apenas quando o objetivo é otimizar a operação de um sistema hidrelétrico ou hidrotérmico definido é importante desagregar a geração global do sistema nas gerações individuais de cada usina.

Suponha que se pretenda planejar ou operar algum aproveitamento hídrico em um local com uma série de afluências históricas de “ n ” anos. No método histórico a série é utilizada como dado de entrada para um modelo de simulação e/ou otimização que produza como saída uma grandeza relevante para o projeto. Por exemplo, o volume do reservatório necessário para regularizar uma descarga prefixada, o armazenamento “meta” ao final de cada mês ou a descarga máxima que o vertedor deve ser capaz de dar passagem (KELMAN, 1987).

A Figura 3 apresenta a série histórica de uma seção do rio na qual se pretende construir uma barragem que crie um reservatório de regularização. O modelo de simulação/otimização, nesse caso, é simplesmente um diagrama de Rippl, que produz uma saída “ V_h ”, o volume do reservatório.

O valor de “ V_h ” obtido pelo método de Rippl também é denominado Máximo Déficit Acumulado (GOMIDE, 1986) e que pode ser obtido mediante a curva diferencial de massa censurada apresentada na Figura 2.

Como a série histórica é apenas uma das possíveis realizações de um processo estocástico, pode-se imaginar que a natureza “sorteou” a série histórica segundo algum conjunto de leis probabilísticas. Um novo sorteio resultaria em outra série, diferente da histórica, mais igualmente provável e independente dessa.

Dispõe-se de vários modelos teóricos para definir um processo estocástico gerador das séries de vazões (serie temporal). Adotado um destes modelos é possível que se façam tantos sorteios quantos forem desejados para o estudo em foco, cada um deles resultando em uma série temporal, como mostrado na Figura 3.

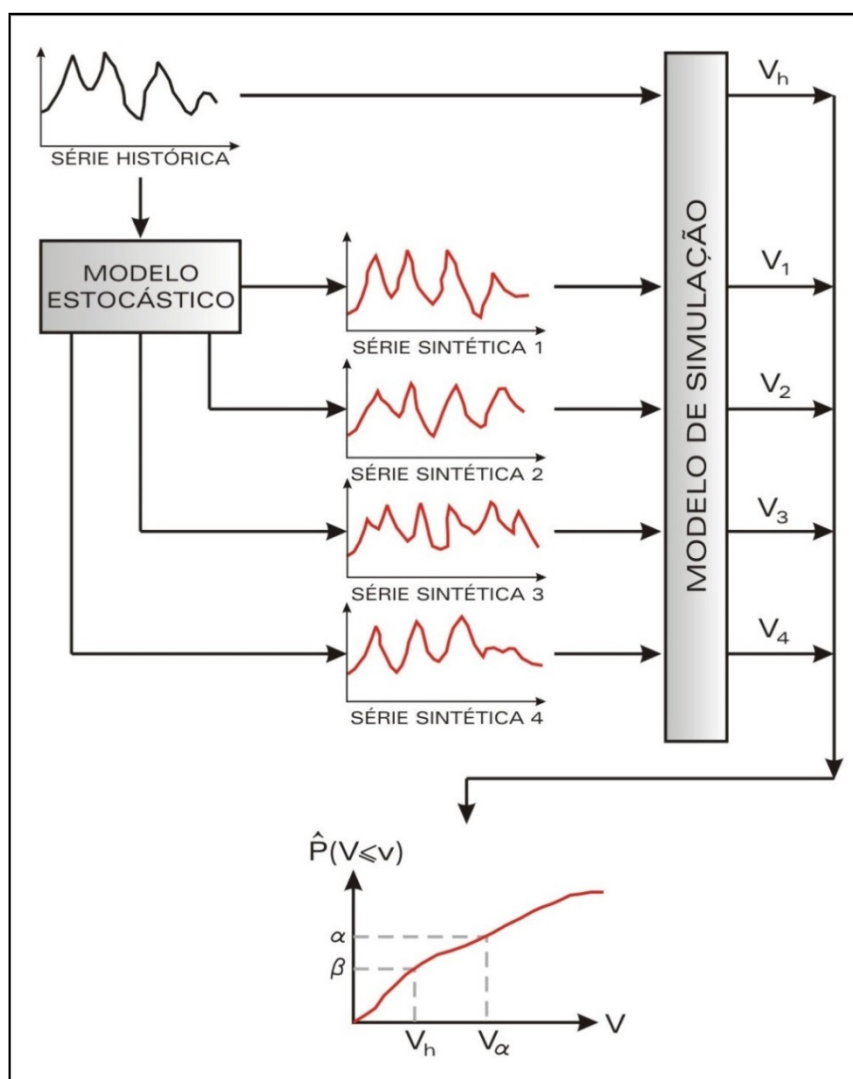


FIGURA 3 – Representação do Método de Monte Carlo.

Fonte: KELMAN (1987).

Cada sorteio estará associado a uma série de vazões, chamada de série sintética que permite obter um volume de reservatório através de mesma técnica de Rippl. Assim dispõe-se de N resultados para o volume do reservatório provenientes de N simulações, ao invés de um único resultado, que seria obtido caso apenas a série histórica estivesse disponível.

Evidentemente o modelo do processo estocástico deve ser tal que a série histórica pode ser uma de suas possíveis realizações o que significa que os parâmetros que definem o processo estocástico sejam obtidos a partir da série histórica.

Como a cada série sintética estará associada um tamanho de reservatório, é possível inferir a distribuição de probabilidades de V a partir da amostra aleatória (v_1, v_2, v_3, \dots) .

Caso se pretenda definir o volume do reservatório para uma probabilidade de sucesso $\alpha = \frac{n}{N}$, onde N é o número de séries sintéticas, deve-se adotar o valor $v_{(n)}$ resultante da ordenação da amostra de V .

É importante ressaltar, no entanto, que, quando se projeta para $v_{(n)}$, o horizonte de planejamento pode ser diferente, inclusive mais longo, do que o número de anos de série histórica. Basta que as séries sintéticas tenham o comprimento do desejado horizonte de planejamento.

O método de Monte Carlo é particularmente apropriado para a solução de problemas mais complexos, por exemplo, quando as afluências anuais são dependentes entre si ou quando se dimensiona não apenas um reservatório e sim um sistema de reservatórios. Neste último caso é necessário gerar séries sintéticas multivariadas, ou seja, em locais distintos, preservando-se no entanto a correlação espacial entre as mesmas.

3. MÉTODOS DE ANÁLISE

A proposta deste trabalho é analisar a influência dos reservatórios nos ganhos energéticos na expansão de um sistema hidrelétrico através de um estudo de caso.

Serão comparados os ganhos incrementais da energia firme e garantida considerando três usinas em construção na Amazônia, Belo Monte, Jirau e Santo Antônio, para três cenários de regularização e dois sistemas base. Os cenários correspondem a usina a fio d'água (como proposto), regularização sazonal e regularização plurianual, mantendo constante o armazenamento plurianual relativo do sistema base. Serão considerados como sistemas base o (1) Sistema Interligado Nacional – SIN e o (2) Sistema Sul/Sudeste – S/SE, ambos na configuração 2010.

O ganho da energia firme pelo método determinístico será verificado através da simulação da série histórica. A análise probabilística, que proporciona a energia garantida, será efetuada tanto através da teoria estocástica dos reservatórios como de simulações Monte Carlo de séries sintéticas de energia natural. Em todos os casos será utilizado o método da energia natural conforme descrito na item 2.2 deste trabalho.

3.1. RESERVATÓRIOS PARA REGULARIZAÇÃO INTRA-ANUAL

Para o cenário avaliado que considera as usinas para expansão com reservatórios para regularização intra-anual, estes serão dimensionados através de método descrito na sequência e denominado neste estudo de Método dos Cenários.

Para a determinação do volume necessário para regularização intra-anual através deste método, é necessário que em cada ano “*i*” (separadamente) do histórico seja determinado o volume (máximo déficit acumulado) necessário para regularizar a vazão média do mesmo ano “*i*”.

Para os resultados obtidos desta simulação ajusta-se uma regressão das vazões médias anuais (iguais a máxima vazão regularizada intra-anual) em função dos respectivos volumes. Como resultado, o volume necessário para

regularização intra-anual será o correspondente à vazão média anual obtido da equação de regressão. No caso de uma análise histórica-determinística, pode-se utilizar diretamente o volume obtido para a mínima vazão média anual. É possível também estimar aos valores desta reta um tempo de retorno através da posição de plotagem $Tr = (N + 1)/i$ dos valores desta regressão, onde N é o número de anos disponível e i a ordem da vazão média anual ordenada em ordem crescente.

3.2. ABORDAGEM DETERMINÍSTICA

Para a abordagem determinística a determinação da energia firme EF será realizada através da simulação ao longo da série histórica de aflúncias mensais do sistema com armazenamento $A_{máx}$ através da aplicação do seguinte algoritmo:

Arbitra $EF < Energia Média$

$$A(0) = A_{máx} \quad (37)$$

Para $t = 1, 2, \dots$,

$$A(t) = \text{mín} \left\{ \begin{array}{l} A_{máx} \\ A(t-1) + EN(t) - EF \end{array} \right. \quad (38)$$

Variar EF até que $A_{mín} = \text{mín} A(t) = 0$

O período que corresponde ao intervalo entre $A(t) = A_{mín} = 0$ e o tempo anterior com $A(t) = A_{máx}$ é denominado período crítico (PC), ou seja, é o tempo em que ocorre o esvaziamento total do reservatório equivalente.

É possível ainda separar neste caso o armazenamento para regularização sazonal fazendo EF igual a mínima energia afluyente média anual e determinando o máximo déficit acumulado neste caso. Deve-se ainda neste caso verificar que o período crítico seja sempre inferior a um ano e que todos os anos hidrológico, iniciam-se em $A = A_{máx}$.

3.3. ABORDAGEM PROBABILÍSTICA

3.3.1. Teoria Estocástica dos Reservatórios

A abordagem probabilística através de métodos que utilizam a teoria estocástica dos reservatórios utilizadas neste trabalho são descritas na sequência.

3.3.1.1. Método de Fill

FILL (1989) apresentou uma formulação baseada na teoria estocástica dos reservatórios, que permite estimar o ganho de energia garantida em um sistema hidrelétrico, quando uma nova usina é acrescentada a ele, e que neste estudo será denominado como Método de Fill.

A dedução da fórmula proposta pressupõe a adoção de algumas hipóteses simplificadoras, mas que podem ser consideradas perfeitamente aceitáveis, ainda hoje, dentro do planejamento do setor elétrico brasileiro e apresentadas abaixo:

- i) o método da energia natural é aplicável (CANAMBRA, 1969). Este método agrega todas as usinas do sistema em uma única usina equivalente e todos os reservatórios em um único reservatório equivalente;
- ii) a regularização intra-anual pode ser separada da plurianual, podendo ser expressa como uma fração da demanda (GOMIDE e CUNHA, 1981) sendo que o acréscimo da nova usina não altera essa fração;
- iii) a adição da usina altera a distribuição marginal de aflúncias apenas através da média e variância da energia afluenta (assimetria e autocorrelação constantes)
- iv) a contribuição das usinas térmicas pode ser separada e seu valor não se altera com o acréscimo da nova usina;
- v) a confiabilidade é avaliada de maneira estática, mantida constante e é expressa através do tempo de recorrência;

A energia garantida de um sistema hidrelétrico pode ser expressa como (GOMIDE, 1986):

$$E_g = \bar{E} - \mu\sigma \quad (39)$$

Onde:

E_g = energia garantida;

\bar{E} = média das afluições de energia;

σ = desvio padrão das afluições;

$\mu = \bar{E} - E_g / \sigma$ é a energia equivalente do sistema, e que depende da natureza da distribuição de afluições, do tempo de recorrência, e do armazenamento plurianual equivalente do sistema, $a = (A_{m\acute{a}x} - \phi E_g) / \sigma$, com ϕ sendo o fator de armazenamento sazonal.

GOMIDE (1986) apresenta um ábaco que relaciona μ , a e Tr para uma distribuição normal das afluições. FILL et al (2003) obteve este mesmo ábaco para uma distribuição log-normal LN3 com assimetria e autocorrelação fixos. O uso dos parâmetros adimensionais μ e a tem a vantagem de tornar a relação $\mu = \mu(Tr, a)$ independente da média e da variância das afluições (NEIRA, 2005; FILL et al. 2003).

O ganho de energia determinado pelo acréscimo de uma nova usina pode ser dado pela diferença entre as energias do sistema nas configurações antes e depois da inclusão da nova usina.

Usando subscritos u e s para a usina e o sistema e que, no caso da regularização plurianual, o armazenamento necessário para a regularização sazonal pode ser expresso como uma fração da demanda (GOMIDE e CUNHA, 1981), e ainda que $\sigma_u \ll \sigma_s$, o valor incremental da energia garantida pode ser expresso como (FILL, 1989):

$$\Delta E_g = K_1 \bar{E}_u - K_2 \rho \sigma_u + K_3 A_u \quad (40)$$

Onde:

σ_u = desvio padrão das afluições turbináveis à usina (MWano/ano);

σ_s = desvio padrão das afluições ao sistema (MWano/ano);

ΔE_g = acréscimo de energia garantida ao sistema pela adição da nova usina (MWano/ano);

\bar{E}_u = energia média afluyente à usina (MWano/ano);

K_1, K_2, K_3 = coeficientes adimensionais;

ρ = coeficiente de correlação entre as afluições energéticas médias anuais turbináveis da usina e do sistema;

A_u = ganho do armazenamento total do sistema devido à usina (MWano).

Os coeficientes adimensionais da equação (45) são dados por (FILL, 1989):

$$\begin{aligned}
 K_1 &= \frac{1}{1 - \phi \mu_s'} \\
 K_2 &= \frac{\mu_s - \mu_s' a_s}{1 - \phi \mu_s'} \\
 K_3 &= \frac{-\mu_s'}{1 - \phi \mu_s'}
 \end{aligned} \tag{41}$$

Sendo:

ϕ = fator de armazenamento sazonal;

μ_s = energia equivalente do sistema;

$\mu_s' = \partial \mu_s / \partial a$ = derivada de μ_s em relação à "a" para um tempo de retorno "Tr" fixo.

Os valores μ_s e μ_s' são calculados para um tempo de retorno "Tr" assumido a priori e o valor de "a" do sistema.

O ganho do armazenamento total (A_u) introduzido no sistema pela usina é dado pela soma de todos os volumes úteis a montante da usina, multiplicado pela produtividade da usina.

$$A_u = g\bar{H}_u \eta \Sigma V_m / (ns) \quad (42)$$

Onde:

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

\bar{H}_u = queda líquida média da usina (m);

η = rendimento do conjunto turbina-gerador;

ΣV_m = soma dos volumes úteis a montante da usina em questão (m^3);

ns = número de segundos do ano ($31,56 \cdot 10^6$ s).

Considerando-se para o tempo de recorrência um valor de referência, adotando-se uma distribuição de probabilidade adequada para as afluições e ainda, fixando-se um valor de ϕ , os valores dos coeficientes K_1 , K_2 e K_3 podem ser calculados em função do armazenamento equivalente do sistema.

No caso particular de uma usina a fio d'água, sem reservatórios à montante e portanto, com variação nula no ganho do armazenamento total do sistema ($A_u = 0$), a expressão (40) resulta:

$$\Delta E_g = K_1 \bar{E}_u - K_2 \rho \sigma_u \quad (43)$$

O coeficiente de variação da energia afluyente à usina é dado por:

$$C_V = \frac{\sigma_u}{\bar{E}_u} \quad (44)$$

Substituindo na equação (43):

$$\Delta E_g = (K_1 - K_2 \rho C_V) \bar{E}_u \quad (45)$$

ou,

$$\Delta E_g = K_r \bar{E}_u \quad (46)$$

Sendo o fator de regularização K_r dado por:

$$K_r = K_1 - K_2 \rho C_V \quad (47)$$

Neste caso os valores de ρ , σ_u e \bar{E}_u devem ser calculados usando as afluições à usina censuradas na geração máxima da mesma.

A função $\mu = \mu(Tr, a)$, para um tempo de recorrência constante, pode ser aproximada de modo bastante satisfatório por uma curva exponencial do tipo (FILL, 1989):

$$\mu = \alpha e^{-\beta a} \quad (48)$$

A derivada dessa função é igual a:

$$\mu' = -\alpha \beta e^{-\beta a} \quad (49)$$

Neste caso os coeficientes K_i das equações (46) resultam:

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{1}{1 + \phi \alpha \beta e^{-\beta a}} \\ K_2 &= \frac{1 + a\beta}{1 + \phi \alpha \beta e^{-\beta a}} \cdot \alpha e^{-\beta a} \\ K_3 &= \frac{\alpha \beta e^{-\beta a}}{1 + \phi \alpha \beta e^{-\beta a}} \end{aligned} \quad (50)$$

Os parâmetros “ α ” e “ β ” podem ser estimados para uma dada distribuição de afluições pelo método dos mínimos quadrados para pares de valores de “ μ ” e “ a ”, com um tempo de recorrência (Tr) constante. Os valores dos parâmetros encontrados por FILL (1989) para uma distribuição marginal de afluições tipo Log-Normal LN3 e auto regressivo AR(1), com assimetria 0,3 e coeficiente de autocorrelação 0,25, considerando $Tr = 45$ anos, resultaram $\alpha = 1,793$ e $\beta = 0,533$.

A relação $Tr = F(\mu, a)$ pode ser obtida a partir das matrizes de transição dos estados do reservatório (método dos autovalores) ou por simulação Monte Carlo (FILL et al, 2003), que será adotado neste trabalho e discutido no tópico seguinte. CEHPAR (1987) comparou valores desta relação

obtidos pelos dois métodos para vários pares de valores e verificou que a diferença é desprezível.

Cabe registrar que no presente estudo serão recalculados os coeficientes α , β , ϕ para a determinação de novos valores dos coeficientes K_1 , K_2 e K_3 , considerando as características dos sistemas hidrelétricos adotados.

3.3.1.2. Obtenção de $Tr = F(\mu, \alpha)$

Para se obter a relação entre o armazenamento equivalente, a energia equivalente e o tempo de retorno como proposto por FILL et al. (2003), adotou-se uma técnica baseada em simulações Monte Carlo e tendo como hipótese básica uma distribuição marginal de probabilidades log-normal LN3, para afluições anuais. Com estas hipóteses resulta:

$$Z_t = \frac{\ln(E_t - \xi) - m}{d} \sim N(0,1) \quad (51)$$

Onde:

Z_t = variável aleatória normal padrão (0,1);

E_t = energia afluyente média no ano "t";

ξ = limite inferior das energias afluentes médias anuais;

$m = E[\ln(E_t - \xi)]$;

$d^2 = Var[\ln(E_t - \xi)]$.

Sendo $E[X]$ e $Var[X]$, respectivamente, valor esperado e variância da variável aleatória X .

Assumindo para as afluições anuais um modelo auto regressivo de 1ª ordem AR(1), as variáveis Z_t podem ser geradas por um modelo markoviano simples (LOUCKS et al, 1981).

$$Z_t = \rho Z_{t-1} + \sqrt{1 - \rho^2} U_t \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (52)$$

Onde:

ρ = coeficiente de autocorrelação de Z_t ;

U_t = variáveis aleatórias normais padrão $N(0,1)$ independentes;

Z_0 = valor inicial de Z_t , usualmente igual a zero.

Invertendo a equação (13) resulta:

$$E_t = \exp(Z_t d + m) + \xi \quad (53)$$

Neste caso, os dois primeiros momentos da variável aleatória E_t , são (LOUCKS et al., 1981):

$$\bar{E} = E(E_t) = \exp\left(m + \frac{1}{2}d^2\right) + \xi \quad (54)$$

$$\sigma^2 = \text{var}(E_t) = [\exp(2m + d^2)][\exp(d^2) - 1] \quad (55)$$

Define-se a energia afluyente padronizada como:

$$e_t = \frac{E_t - \bar{E}}{\sigma_E} \quad (56)$$

Substituindo as equações (58), (59) e (60) na equação (61) e realizando as operações algébricas necessárias, resulta:

$$e_t = \frac{\exp[d(Z_t - d/2)] - 1}{[\exp(d^2) - 1]^{1/2}} \quad (57)$$

A equação (57) em conjunto com a equação (62), se constituem na relação básica para gerar N séries de energias afluentes padronizadas. O parâmetro d resulta do valor do coeficiente de assimetria, através da relação (LOUCKS et al., 1981):

$$C_s = \frac{\exp(3d^2) - 3\exp(d^2) + 2}{[\exp(d^2) - 1]^{3/2}} \quad (58)$$

Sendo C_s o coeficiente de assimetria da variável E_t .

Para obter a relação entre μ , a e Tr efetuam-se simulações com as N séries sintéticas, baseadas no balanço hídrico, dada por:

$$S_t = \min \left\{ \begin{array}{l} S_{t-1} + E_t - E_f \\ S_{máx} \end{array} \right. \quad (59)$$

Onde:

S_t = armazenamento no tempo t ($0 \leq S_t \leq S_{máx}$);

E_t = energia afluyente no tempo t ;

E_f = energia firme ou garantida.

Ao se dividir todos os membros da equação (64) pelo desvio padrão das energias afluentes σ_E , tem-se:

$$\frac{S_t}{\sigma_E} = \frac{S_{t-1}}{\sigma_E} + \frac{E_t}{\sigma_E} - \frac{E_f}{\sigma_E} \quad , \text{ com } S_t \leq a \quad (60)$$

Sendo $s_t = S_t/\sigma_E$ e $E_f = \bar{E} - \mu\sigma$, resulta:

$$s_t = s_{t-1} + \frac{E_t - \bar{E}}{\sigma_E} + \mu \quad (61)$$

ou

$$s_t = s_{t-1} + e_t + \mu \quad (62)$$

Sendo μ a energia equivalente, função de Tr e a e depende da natureza da distribuição de probabilidade das afluências.

Considerando que $s_t \leq a$, resulta a equação adimensionalizada, utilizada na simulação para obter a relação $Tr = F(\mu, a)$.

$$s_t = \min \left\{ \begin{array}{l} a \\ s_{t-1} + e_t + \mu \end{array} \right. \quad (63)$$

com $s_0 = 0$.

Ao longo da simulação ($t = 1, 2, \dots, T$) de cada série, sempre que $S_t < 0$ haverá déficit na série. Neste caso registra-se a ocorrência de déficit e redefine-se $S_t = 0$.

Na equação (67), s_t são as variáveis de estado (armazenamento adimensional), e_t são as energias afluentes padronizadas e μ e a são os parâmetros de entrada para cada simulação. Adotaram-se para a obtenção do ábaco relacionando μ , a e Tr , 10000 séries cada uma com 50 anos de extensão.

Como pretende-se obter um tempo de recorrência independente das condições iniciais, considera-se, em cada série um período de estabilização igual aos primeiros 20 anos das séries geradas. Assim, quando resultava $s_t < 0$ após este período de estabilização a série é considerada deficitária. Sendo n o número de séries deficitárias, m a extensão efetiva do período (excluindo-se o tempo de estabilização, $m = 30$) e N o número total de séries, o tempo de recorrência é estimado como:

$$\frac{1}{Tr} = 1 - \left(1 - \frac{n}{N}\right)^{\frac{1}{m}} \quad (64)$$

Repetindo este procedimento para diferentes pares de valores de μ e a , obtém-se diferentes tempos de retorno, produzindo-se a função $Tr = F(\mu, a)$ que graficamente resulta em um ábaco similar ao publicado por GOMIDE (1986) para afluências normais. Aplicando este método, FILL et al. (2003) obtiveram para a energia firme do sistema hidrelétrico Sul/Sudeste (configuração 2001) $\mu = 0,914$, $\phi = 0,183$ e $Tr = 120$ anos. Nesta análise adotou-se um coeficiente de assimetria igual a 1,13 e autocorrelação de 0,54 resultante da série histórica de 1931-1996.

3.3.2. Método de Monte Carlo

Como comentado na seção 2.5, o método de Monte Carlo constitui-se em uma ferramenta poderosa para analisar o desempenho de sistemas complexos onde uma abordagem matemática não é possível. Como exemplo, pode-se citar o desempenho de um sistema de reservatórios múltiplos com regras operativas individuais complexas. Porém, ao analisar a energia garantida global de um sistema bem regularizado e perfeitamente interligado é aceitável o uso do método da energia natural, também descrito no capítulo 2 deste trabalho. Portanto, no presente estudo, o método de Monte Carlo será

utilizado como alternativa à teoria estocástica dos reservatórios de modo que as duas estimativas da probabilidade de sucesso podem ser comparadas.

O armazenamento máximo do sistema será avaliado para cada série sintética de afluições pelo máximo déficit acumulado obtido através do algoritmo seguinte:

$$A(0) = 0 \quad (65)$$

Para $t = 1, 2, \dots, n$

$$A(t) = \max \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ A(t-1) + EF - EN(t) \end{array} \right. \quad (66)$$

$$A_{\max} = \max A(t) \quad (67)$$

Onde, variando-se o valor de EF obtém-se pares de valores (A_{\max}, EF) que definirão a curva de regularização para cada série sintética de energia $EN(t)$. A partir do armazenamento máximo do sistema (que não é uma variável aleatória) obtém-se a energia firme correspondente para cada série sintética. Ordenando as energias firmes das N séries sintéticas $(EF_{(1)} \leq EF_{(2)} \leq \dots \leq EF_{(N)})$, a energia firme $EF_{(n)}$ corresponderá a uma estimativa da probabilidade de sucesso em m anos, $\hat{P}(S_m) = n/N$, sendo m a extensão da série sintética.

Essa estimativa estará afetada de um erro padrão $\sigma_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{N}}$.

Aumentando-se o número de séries N é possível reduzir este erro. No presente trabalho adotou-se $N = 1000$. O tempo de retorno associado à energia $EF_{(n)}$ será:

$$Tr = \frac{1}{1 - [Pr(S_n)]^{1/m}} = \frac{1}{1 - \left(\frac{n}{N}\right)^{1/m}} \quad (68)$$

3.3.3. Geração de séries sintéticas

Segundo PAPOULIS (1991) um processo estocástico é descrito definido como:

Dado um experimento aleatório com espaço amostral " S ", um processo estocástico é uma regra que associa a cada elemento $s \in S$ uma função real

$f(s, t)$ de variável t real ou inteira. No caso de $t \in R$ o processo é dito de domínio contínuo e se $t \in I$ o processo é dito de domínio discreto. Se a função $f(s, t)$ assume valores reais o processo é denominado de estado contínuo e se $f(s, t)$ assume apenas valores inteiros é denominado de estado discreto.

Associado ao conceito de processo estocástico cabem as seguintes interpretações:

- i) $f(s, t)$ é uma família de funções uma para cada valor de s ;
- ii) Para um resultado particular do experimento aleatório s_0 é uma função $f(t)$ do tempo (série temporal);
- iii) Para um tempo fixo $t = t_0$ é uma variável aleatória denominada estado;
- iv) Para $t = t_0$ fixo e $s = s_0$ (sorteio definido) é um número.

Processos estocásticos de domínio discreto podem ser interpretados como vetores aleatórios e, se além disso forem também de estado discretos são geralmente designados como “cadeias” (e.g. cadeia de Markov).

Frequentemente as séries hidrológicas representam o tempo, na realidade uma variável contínua, através de uma variável discreta, quando se discretiza o tempo em intervalos de ano, mês, dia ou hora e usando valores médios sobre este intervalo. O grau de discretização implica em características diferentes em termos de estrutura do processo estocástico subjacente.

Desta forma os processos estocásticos utilizados em hidrologia e estudos energéticos são quase sempre de domínio discreto e podem ser interpretados como uma sequência de variáveis aleatórias (vetor aleatório).

Dois conceitos muito importantes relativos aos processos estocásticos são a estacionariedade e a ergodicidade. Limitando a análise aos processos discretos, o processo estocástico sendo um vetor aleatório tem o seu comportamento estatístico descrito pela função densidade conjunta das variáveis aleatórias que o compõem.

Um processo estocástico é dito estritamente estacionário (*Strict Sense Stationary* – SSS) se esta função densidade conjunta é invariante sob um deslocamento no tempo:

$$f[x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n)] = f[x(t_1 + \tau), x(t_2 + \tau), \dots, x(t_n + \tau)] \quad (69)$$

Por outro lado, o processo é estacionário de 2ª ordem se:

$$E[x(t_1)] = E[x(t_2)] = \dots = E[x(t_n)] \quad (70)$$

e se:

$$Cov[x(t_1), x(t_2)] = C(\tau) \quad (71)$$

com $\tau = |t_1 - t_2|$, o que implica no caso de $\tau = 0$ em:

$$Var[x(t_1)] = Var[x(t_2)] = \dots = Var[x(t_n)] \quad (72)$$

Define-se ainda o coeficiente de autocorrelação de defasagem τ (lag) como sendo:

$$\rho_K = \frac{Cov[x(t), x(t + \tau)]}{Var[x(t)]} \quad (73)$$

Como é muito difícil a comprovação da estacionariedade estrita normalmente se adota como satisfatório a estacionariedade de 2ª ordem ou estacionariedade aproximada (*Wide Sense Stationarity – WSS*).

Outra propriedade importante dos processos estocásticos é a ergodicidade. Esta propriedade permite que se estime os parâmetros de um processo estocástico a partir de uma única realização deste. Um processo estocástico estacionário é dito ergódico se a média da série temporal tende à média entre eventos (*ensemble average*).

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sum x_i}{N} = \langle x(w_j) \rangle \quad (74)$$

e similarmente para a variância e covariância. Desta forma:

$$\frac{\sum x(t)}{N} = \bar{x} \rightarrow E(X) \quad (75)$$

$$\frac{\sum [x(t) - \bar{x}]^2}{N} = s^2 \rightarrow Var(X) \quad (76)$$

$$\frac{\sum [x(t) - \bar{x}][x(t + \tau) - \bar{x}]}{N} \rightarrow Cov(X_t X_{t+\tau}) \quad (77)$$

Deve-se notar que estacionariedade não implica necessariamente em ergodicidade (PAPOULIS, 1991 apresenta um exemplo), porém evidentemente um processo ergódico é também estacionário. Por outro lado para processos hidrológicos, tais como séries de vazões, BRÁS e ITURBE-RODRÍGUEZ (1985) afirmam que quando são estacionários geralmente são também ergódicos.

Duas questões fundamentais se colocam para a geração de séries sintéticas:

- i) estimativa da distribuição marginal probabilidades das afluências, incluindo a estimativa de parâmetros (\bar{x}, s^2, γ) ;
- ii) definição da estrutura de correlação temporal da sequência de vazões $[Cov(x_t, x_{t+\tau})]$.

3.3.3.1. Escolha do modelo

A estrutura de autocorrelação para o caso de vazões médias mensais apresenta certas dificuldades em função da sazonalidade destas. Muitas vezes os modelos mensais não conseguem com que a autocorrelação das médias anuais resultante seja compatível com a observada na série histórica, no caso de modelos auto regressivos de ordem inferior a três.

Devido a esse fato, aliado a não estacionariedade das vazões médias mensais e para evitar o uso de modelos de ordem muito elevada para geração direta de vazões médias mensais, optou-se neste trabalho por uma geração de séries sintéticas de vazões médias mensais em duas etapas:

- i) geração de séries de energias médias anuais (supostas estacionárias);
- ii) desagregação dessas médias anuais em valores mensais.

Para a distribuição marginal das médias anuais adotou-se uma distribuição LN3 (log normal de três parâmetros) e para a estrutura de dependência em série um modelo auto regressivo de 1º ordem AR(1).

A escolha da distribuição LN3 baseou-se em estudos realizados por KLEMES e citados por KELMAN (1987). Nestes estudos, foram analisados o comportamento do coeficiente de assimetria e de variação de 140 rios espalhados pelo mundo e pela relação destes coeficientes verificou-se uma razoável indicação para a adoção da distribuição LN3. Também LOUCKS et al. (1981) recomendam a distribuição LN3 para geração de séries de vazões anuais.

Supondo o processo estocástico das vazões médias anuais estacionário ergódico, a estimativa dos seus parâmetros pode ser feita a partir de uma única série temporal, considerando a sequência histórica observada. Tanto o método dos momentos como o da máxima verossimilhança podem ser utilizados.

O uso de muitas séries sintéticas pode dar a impressão de que é possível ter um ganho de confiança nos resultados encontrados com o seu emprego (o erro amostral pode ser reduzido com o aumento de séries). No entanto, é importante ressaltar, que a geração de séries sintéticas não cria informação alguma. Existem até casos em que é preferível utilizar apenas a série histórica (STASCHUS e KELMAN, 1987).

Conforme REVELLE (apud. BESSA e SOARES FILHO, 2001) séries sintéticas geradas a partir de estatísticas da série histórica costumam ser otimistas no que toca os valores extremos. Os períodos secos como os úmidos nas séries sintéticas são geralmente mais amenos do que os efetivamente registrados ou ainda por ocorrer, prejudicando a análise de situações extremas.

Contudo, este fato pode ser decorrente da modelagem simplificada da estrutura do real processo estocástico geralmente bem mais complexo que o modelo adotado.

O processo de seleção de um modelo e a estimação de seus parâmetros é feito a partir da inferência com a série histórica. Portanto, a geração de séries sintéticas de vazões deve ser encarada simplesmente como uma maneira eficiente de se manipular a informação existente na série histórica.

Nenhuma informação nova é criada, a não ser pela adoção de hipóteses a priori sobre o modelo estocástico. Para tornar os resultados das simulações verossímeis essas hipóteses devem ser exaustivamente testadas antes que se aceite qualquer modelo. Isto geralmente é feito comparando certas estatísticas

das séries sintéticas com a sua contraparte na série histórica. Contudo, deve-se sempre tomar cuidado de nessas comparações e usar estatísticas distintas dos parâmetros do modelo usado na calibragem pois estes serão iguais aos valores da série histórica por construção. A este procedimento se dá o nome de validação do modelo, porém, infelizmente nunca se pode ter certeza absoluta quanto à natureza do verdadeiro processo gerador de dados (DGP).

3.3.3.2. Estimativa dos parâmetros

Existem vários métodos de estimativa dos parâmetros de um modelo probabilístico. Para o modelo utilizado neste trabalho pode-se distinguir os parâmetros da distribuição marginal e os da estrutura de dependência temporal.

A distribuição marginal adotada é a LN3, definida pela função densidade (NAGHETTINI e PINTO, 2007):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi x\sigma}} \exp\left\{-\frac{[\ln(x - \xi) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (78)$$

Neste caso o parâmetro de limite inferior ξ pode ser estimado como (STEDINGER et al, 1993):

$$\hat{\xi} = \max \begin{cases} \frac{x_{(i)}x_{(n)} - m^2}{x_{(i)} + x_{(n)} - 2m} \\ 0 \end{cases} \quad (79)$$

Onde $x_{(i)}$ é a i -ésima estatística de ordem e m a mediana da amostra (série histórica). Os parâmetros μ e σ são estimados pelo método da máxima verossimilhança como:

$$\hat{\mu} = \frac{\sum \ln(x - \xi)}{n} \quad (80)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum [\ln(x - \xi) - \hat{\mu}]^2}{n} \quad (81)$$

Para dependência temporal será neste trabalho adotado em princípio um modelo auto regressivo AR(1) na variável transformada,

$$Z_t = \frac{\ln(x - \hat{\xi}) - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} \quad (82)$$

O coeficiente de autocorrelação de $lag = 1$, único parâmetro deste modelo, pode ser estimado mediante (LOUCKS et al, 1981)

$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{t=1}^{n-1} Z_t Z_{t+1}}{\sum_{t=1}^n Z_t^2} \quad (83)$$

O modelo AR(1) ainda apresenta a propriedade de $\rho_k = \rho^k$, sendo que o estimador de ρ_k é:

$$\hat{\rho}_k = \frac{\sum_1^{n-k} Z_t Z_{t+k}}{\sum_1^n Z_t^2} \quad (84)$$

A adequação do modelo AR(1) será testada pela comparação do autocorrelograma com os limites do intervalo de confiança de $\hat{\rho}_k$ sob a hipótese nula $H_0: \rho = 0$ e portanto $\rho_k = 0$.

Assim, o modelo para geração das séries sintéticas neste trabalho terá 4 parâmetros (ξ, μ, σ, ρ) a serem estimados pelas equações (79), (80), (81) e (83).

3.3.3.3. Verificação e validação do modelo

Segundo KELMAN (1987), a confiança que se possa ter em um modelo estocástico de vazões depende da capacidade que ele tenha de preservar, nas séries sintéticas, algumas propriedades relevantes observadas na série histórica.

Uma propriedade pode ser constituída por um único valor como, por exemplo, a vazão média observada em n anos. Ou pode ser um conjunto de valores, como, por exemplo, a distribuição empírica de probabilidades da máxima vazão observada em cada ano.

Diz-se que um modelo preserva uma determinada propriedade quando não se pode distinguir estatisticamente a série histórica da sintética, com base nesta propriedade das duas séries.

De acordo com KELMAN e PEREIRA (1977) e STEDINGER e TAYLOR (1982), quando alguma propriedade é utilizada para a determinação de um

parâmetro de modelo, esta propriedade é automaticamente preservada por construção e, portanto, não informa nada sobre outras propriedades estatísticas do processo.

Nesse caso, comparar a observação da propriedade da série sintética com seu correspondente da série histórica serve apenas para verificar a adequação do programa de computador utilizado, e não para validar o modelo.

Portanto, a validação do modelo consiste em verificar a preservação de uma ou mais propriedades que não foram usadas na construção do modelo. Por exemplo, os parâmetros usados na construção de um modelo como a média, variância, assimetria e coeficiente de autocorrelação (*lag1*), não são adequados para validar o modelo.

Por outro lado, verificando-se por exemplo se o modelo reproduz adequadamente a extensão de períodos secos e úmidos (sequência de vazões abaixo ou acima da média) constitui uma validação do modelo. Evidentemente a validação deve-se centrar em propriedades relevantes às finalidades do uso do modelo. Se o objetivo é estudar cheias, a validação deve-se centrar em vazões máximas; se o objetivo é dimensionar reservatórios, a validação pode centrar-se, por exemplo, no máximo déficit acumulado.

A estatística utilizada neste trabalho para a validação do modelo é o máximo déficit acumulado o qual, por razões óbvias, é relevante para a presente pesquisa.

4. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos para os sistemas e usinas do estudo de caso da presente dissertação, considerando as abordagens determinística, através da simulação das séries históricas, e probabilística, através da teoria estocástica dos reservatórios e do Método de Monte Carlo.

4.1. DADOS BÁSICOS

4.1.1. Sistemas hidrelétricos base

A configuração e as séries de energias naturais dos sistemas base (SIN e S/SE) utilizadas nesse trabalho foram obtidas no endereço eletrônico (www.ons.org.br) do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, para o período 1931-2010 (configuração 2010) e são listadas nos ANEXOS 1 e 2.

Para os cálculos dos parâmetros estatísticos amostrais os dados foram reorganizados com base no ano hidrológico. Para tal foi analisada a flutuação das médias mensais sob forma adimensional. Adotando-se como critério o início do ano hidrológico no primeiro mês abaixo da média de longo termo, obteve-se como resultado para ambos os sistemas base o ano hidrológico iniciando-se em maio e terminando em abril (mai/abr).

Como notado por NEIRA (2005), certas características do sistema se alteram consideravelmente em função do período histórico utilizado. A Tabela 1 e as Figuras 4 e 5 ilustram a flutuação da média (μ) e desvio padrão (σ) para séries móveis de energias médias anuais para os sistemas analisados.

As Figuras 4 e 5 parecem indicar problemas de estacionariedade das séries, entretanto não fica claro se trata de alterações definitivas ou as chamadas flutuações de baixa frequência ou ainda problemas de consistência dos dados observados.

TABELA 1 – Média e Desvio Padrão para séries móveis de energias naturais médias anuais – SIN e S/SE (n=20).

SISTEMA		S/SE		SIN		SISTEMA		S/SE		SIN	
Nº	SÉRIE	\bar{E} (MWmed)	σ (MWmed)	\bar{E} (MWmed)	σ (MWmed)	Nº	SÉRIE	\bar{E} (MWmed)	σ (MWmed)	\bar{E} (MWmed)	σ (MWmed)
1	1931-1950	39337	4517	54740	6183	31	1961-1980	42265	7532	56537	9549
2	1932-1951	38712	4311	54033	6326	32	1962-1981	42717	7729	57472	9988
3	1933-1952	38185	4726	53401	7021	33	1963-1982	44293	9874	59353	12049
4	1934-1953	38222	4664	53336	7129	34	1964-1983	46328	11189	61512	13040
5	1935-1954	38145	4733	53021	7452	35	1965-1984	46812	11197	62178	13093
6	1936-1955	37735	4895	52435	7796	36	1966-1985	45766	11112	61250	12917
7	1937-1956	38039	5053	53099	8148	37	1967-1986	45381	11182	60755	13140
8	1938-1957	38483	5420	53680	8456	38	1968-1987	45841	11018	61107	12991
9	1939-1958	38355	5434	53646	8419	39	1969-1988	46484	10373	61678	12388
10	1940-1959	38355	5434	53646	8419	40	1970-1989	46949	10159	62257	12169
11	1941-1960	39023	5658	54343	8553	41	1971-1990	47811	9608	63300	11174
12	1942-1961	39009	5652	54123	8553	42	1972-1991	48154	9390	63972	10767
13	1943-1962	38772	5536	53416	8165	43	1973-1992	48475	9523	64438	10833
14	1944-1963	38531	5752	52963	8414	44	1974-1993	48368	9527	64259	10861
15	1945-1964	38954	5669	53178	8439	45	1975-1994	48898	9112	64699	10440
16	1946-1965	39538	6894	53438	8986	46	1976-1995	48967	9043	64855	10226
17	1947-1966	39670	7026	53411	8963	47	1977-1996	48877	9021	64818	10226
18	1948-1967	39353	6981	53003	8817	48	1978-1997	49591	8939	65292	10094
19	1949-1968	38881	7318	52208	8978	49	1979-1998	49881	8813	64941	10203
20	1950-1969	38986	7282	52371	8937	50	1980-1999	49204	9029	63841	10163
21	1951-1970	38524	7374	51723	9222	51	1981-2000	48938	9183	63233	10485
22	1952-1971	38758	7302	51948	9132	52	1982-2001	48544	9296	62439	10490
23	1953-1972	39709	7311	52977	8922	53	1983-2002	47158	7768	60661	8660
24	1954-1973	40616	7302	54125	8856	54	1984-2003	45515	5288	58954	6072
25	1955-1974	40764	7177	54498	8509	55	1985-2004	45140	5097	58343	5548
26	1956-1975	41149	6884	54855	8126	56	1986-2005	45647	4702	58592	5491
27	1957-1976	41575	7282	54939	8227	57	1987-2006	45988	4499	59182	5199
28	1958-1977	41290	7177	54652	8014	58	1988-2007	45745	4602	58825	5439
29	1959-1978	41384	7190	55188	8382	59	1989-2008	45829	4554	58926	5369
30	1960-1979	42285	7545	56441	9475	60	1990-2009	46322	5164	59254	5834

CEHPAR (1987) analisando para o período 1901-1982 o posto Posadas no rio Paraná, verificou para amostras de 50 anos com início variável, grande flutuação nos valores de autocorrelação e assimetria, contudo a média e a variância apresentam comportamento razoavelmente estável.

LOUCKS et al (1981) apresentam o valor esperado e a variância para estimadores amostrais do coeficiente de assimetria reportando para uma distribuição gama com $\gamma = 0,50$ e $n = 80$, $E(\hat{\gamma}) = 0,46$ e $Var(\hat{\gamma}) = 0,30^2$, portanto uma flutuação possível da estimativa de $\hat{\gamma}$ entre 0,00 e 0,95 para 90 % de significância.

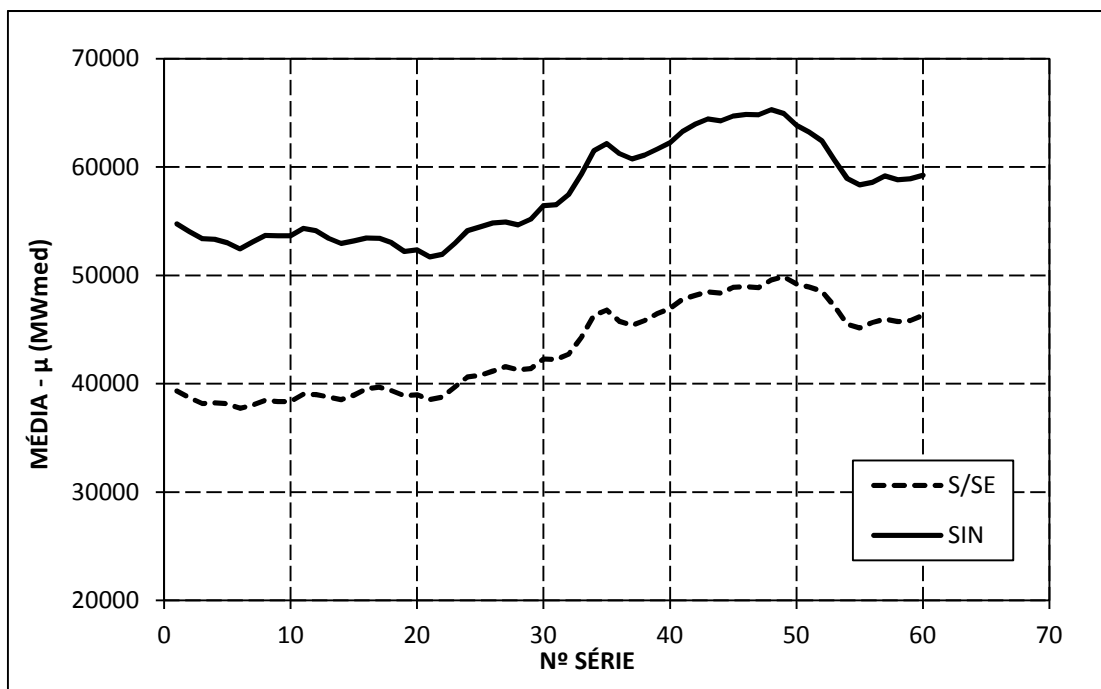


FIGURA 4 – Média para séries móveis de energias naturais médias anuais – SIN e S/SE (n=20).

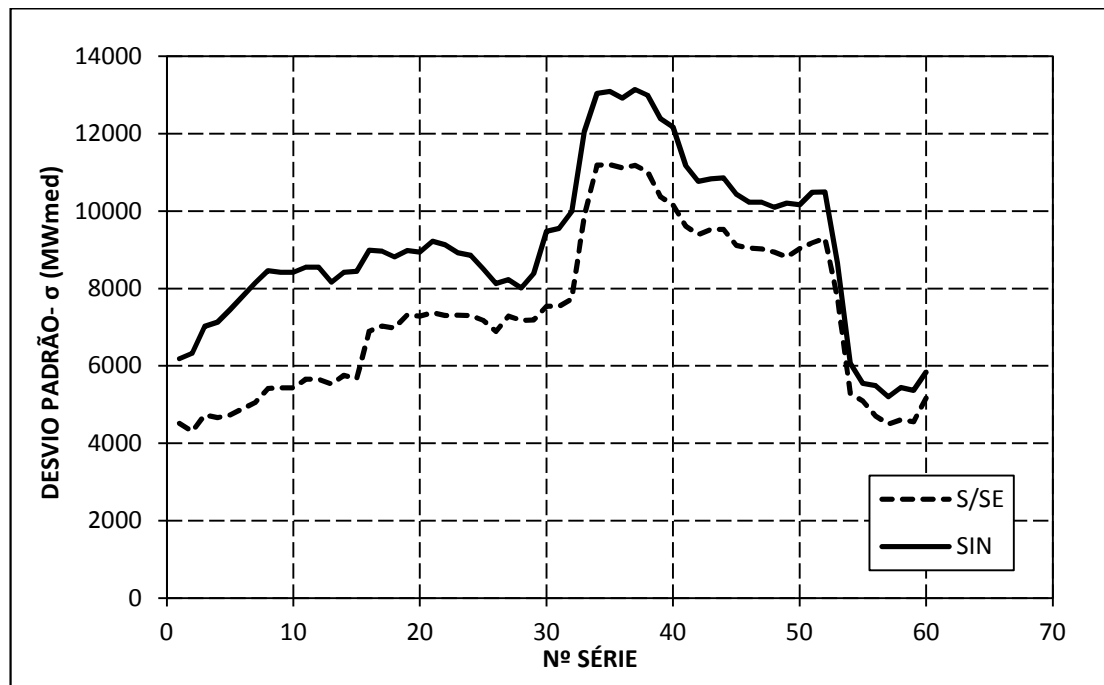


FIGURA 5 – Desvio Padrão para séries móveis de energias naturais médias anuais – SIN e S/SE (n=20).

Cumpram ainda assimilar a variação bastante acentuada do coeficiente de autocorrelação, cujos valores amostrais, variam entre 0,20 e 0,65 para o SIN e 0,20 a 0,55 para o S/SE, para sub-amostras com 20 anos de extensão como pode ser visto na Tabela 2 e Figura 6.

LOUCKS et al (1981) para uma estrutura de dependência temporal markoviana ($\rho_k = \rho^k$) apresenta:

$$Var(\hat{\rho}) = Var(r_1) = \frac{1}{n}(1 - \rho^2) \quad (85)$$

Neste caso, assumindo um valor populacional de $\rho = 0,40$ e considerando $n = 20$ (como assumido na Tabela 2) a variância amostral vale:

$$Var(\hat{\rho}) = \frac{1}{20}(1 - 0,40^2) = 0,042 \quad (86)$$

Assumindo uma distribuição amostral normal obtém-se, com 90% de probabilidade, desprezando a tendenciosidade:

$$\hat{\rho} = 0,4 \pm 1,645\sqrt{0,042} \quad (87)$$

ou,

$$0,06 < \hat{\rho} < 0,74 \quad (88)$$

Isto pode explicar a variação dos valores amostrais de autocorrelação para diferentes subséries. Esta análise também foi realizada para os coeficientes de variação (CV) e assimetria (γ). A Tabela 6 e as Figuras 7, 8 e 9 apresentam os resultados obtidos para os parâmetros citados.

Também nas Figuras 6, 7 e 8, observa-se como no caso da média e desvio padrão, uma aparente não estacionariedade devido a várias razões (já comentadas) mas cuja análise detalhada foge ao escopo deste trabalho.

TABELA 2 – Coeficientes de variação, autocorrelação e assimetria para séries móveis de energias naturais médias anuais – SIN e S/SE (n=20).

SISTEMA		S/SE			SIN			SISTEMA		S/SE			SIN		
Nº	SÉRIE	γ	ρ	CV	γ	ρ	CV	Nº	SÉRIE	γ	ρ	CV	γ	ρ	CV
1	1931-1950	-0,13	0,09	0,11	0,34	0,23	0,11	31	1961-1980	0,25	0,29	0,18	0,32	0,41	0,17
2	1932-1951	-0,07	0,01	0,11	0,48	0,22	0,12	32	1962-1981	0,11	0,30	0,18	0,16	0,41	0,17
3	1933-1952	-0,07	0,15	0,12	0,24	0,29	0,13	33	1963-1982	0,73	0,26	0,22	0,52	0,39	0,20
4	1934-1953	-0,03	0,23	0,12	0,19	0,40	0,13	34	1964-1983	0,82	0,48	0,24	0,51	0,56	0,21
5	1935-1954	-0,02	0,32	0,12	0,16	0,48	0,14	35	1965-1984	0,71	0,56	0,24	0,38	0,64	0,21
6	1936-1955	0,12	0,37	0,13	0,24	0,54	0,15	36	1966-1985	0,91	0,54	0,24	0,56	0,64	0,21
7	1937-1956	0,01	0,28	0,13	0,10	0,40	0,15	37	1967-1986	0,98	0,57	0,25	0,61	0,64	0,22
8	1938-1957	-0,02	0,32	0,14	-0,02	0,45	0,16	38	1968-1987	0,93	0,52	0,24	0,57	0,61	0,21
9	1939-1958	0,04	0,39	0,14	-0,01	0,48	0,16	39	1969-1988	1,13	0,51	0,22	0,67	0,61	0,20
10	1940-1959	0,04	0,39	0,14	-0,01	0,48	0,16	40	1970-1989	1,10	0,46	0,22	0,60	0,55	0,20
11	1941-1960	-0,09	0,34	0,14	-0,17	0,45	0,16	41	1971-1990	1,21	0,44	0,20	0,81	0,54	0,18
12	1942-1961	-0,09	0,35	0,14	-0,10	0,42	0,16	42	1972-1991	1,23	0,46	0,20	0,81	0,57	0,17
13	1943-1962	0,00	0,38	0,14	0,00	0,46	0,15	43	1973-1992	1,11	0,44	0,20	0,69	0,56	0,17
14	1944-1963	0,02	0,33	0,15	0,09	0,45	0,16	44	1974-1993	1,14	0,44	0,20	0,73	0,55	0,17
15	1945-1964	-0,15	0,37	0,15	0,02	0,44	0,16	45	1975-1994	1,25	0,41	0,19	0,81	0,50	0,16
16	1946-1965	0,61	0,27	0,17	0,27	0,36	0,17	46	1976-1995	1,27	0,44	0,18	0,90	0,55	0,16
17	1947-1966	0,58	0,39	0,18	0,28	0,42	0,17	47	1977-1996	1,31	0,45	0,18	0,91	0,56	0,16
18	1948-1967	0,71	0,38	0,18	0,40	0,40	0,17	48	1978-1997	1,17	0,43	0,18	0,83	0,57	0,15
19	1949-1968	0,68	0,37	0,19	0,54	0,40	0,17	49	1979-1998	1,15	0,46	0,18	0,89	0,55	0,16
20	1950-1969	0,65	0,39	0,19	0,50	0,42	0,17	50	1980-1999	1,21	0,45	0,18	1,08	0,59	0,16
21	1951-1970	0,77	0,41	0,19	0,58	0,41	0,18	51	1981-2000	1,21	0,48	0,19	1,08	0,61	0,17
22	1952-1971	0,72	0,37	0,19	0,54	0,38	0,18	52	1982-2001	1,27	0,48	0,19	1,25	0,54	0,17
23	1953-1972	0,56	0,29	0,18	0,41	0,29	0,17	53	1983-2002	1,51	0,20	0,16	1,37	0,32	0,14
24	1954-1973	0,40	0,30	0,18	0,27	0,27	0,16	54	1984-2003	0,28	0,20	0,12	0,39	0,30	0,10
25	1955-1974	0,40	0,21	0,18	0,28	0,16	0,16	55	1985-2004	0,44	0,34	0,11	0,48	0,45	0,10
26	1956-1975	0,40	0,26	0,17	0,35	0,28	0,15	56	1986-2005	0,54	0,27	0,10	0,38	0,40	0,09
27	1957-1976	0,33	0,21	0,18	0,35	0,17	0,15	57	1987-2006	0,51	0,30	0,10	0,33	0,45	0,09
28	1958-1977	0,44	0,21	0,17	0,42	0,20	0,15	58	1988-2007	0,59	0,29	0,10	0,36	0,38	0,09
29	1959-1978	0,40	0,21	0,17	0,30	0,21	0,15	59	1989-2008	0,57	0,32	0,10	0,35	0,46	0,09
30	1960-1979	0,24	0,24	0,18	0,34	0,31	0,17	60	1990-2009	0,59	0,21	0,11	0,42	0,32	0,10

A Tabela 3 apresenta um comparativo entre os parâmetros estatísticos deste estudo, NEIRA (2005), FILL (1989) e FILL et al (2005) considerando séries com extensão distintas. Verifica-se alteração significativa, principalmente nas estimativas de assimetria e coeficiente de autocorrelação, que entretanto são também os estimadores de maior erro amostral.

Tendo em vista estas considerações sobre as incertezas relativas às estimativas do coeficiente de assimetria e autocorrelação, adotou-se no presente estudo um valor de $\gamma = 0,30$ e $\rho = 0,40$ para a avaliação probabilística da energia garantida. No caso da simulação com a série histórica utilizou-se a série de 1931-1980 pela semelhança dos valores desta série com os valores adotados.

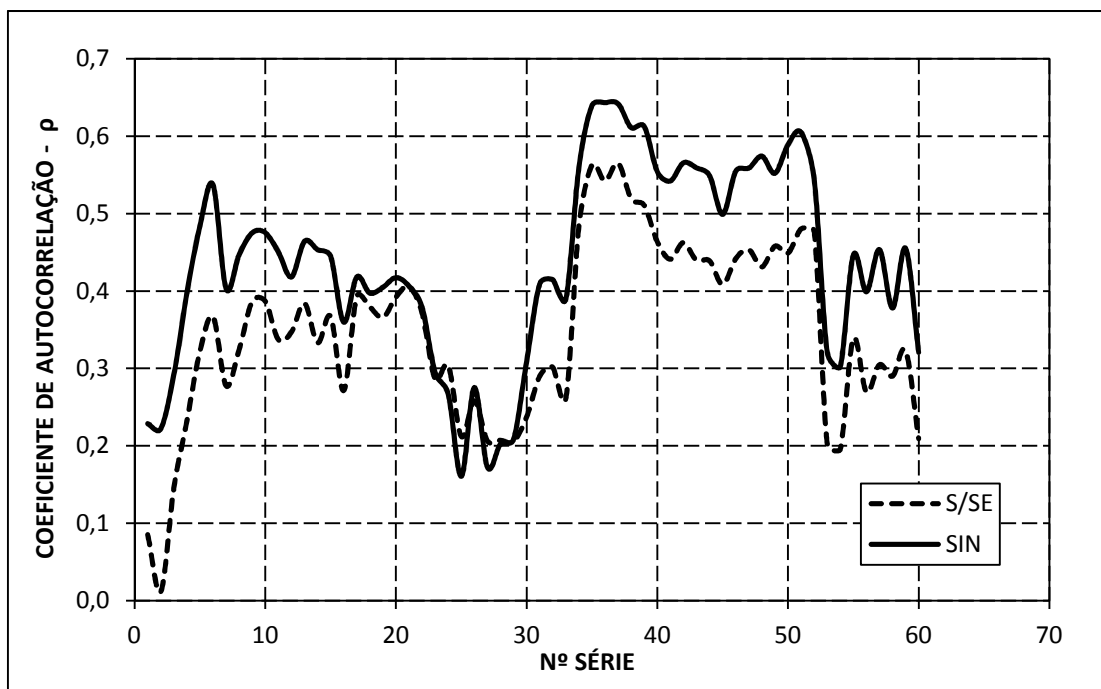


FIGURA 6 – Coeficientes de autocorrelação para séries móveis de energias naturais médias anuais – SIN e S/SE ($n=20$).

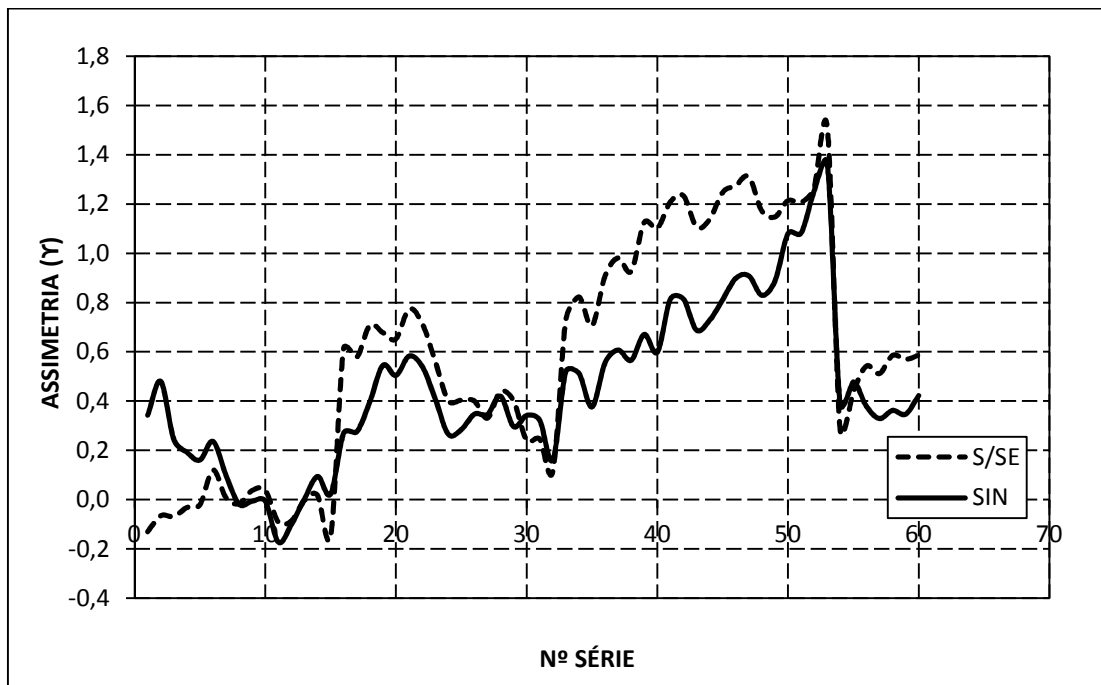


FIGURA 7 – Coeficientes de assimetria para séries móveis de energias naturais médias anuais – SIN e S/SE ($n=20$).

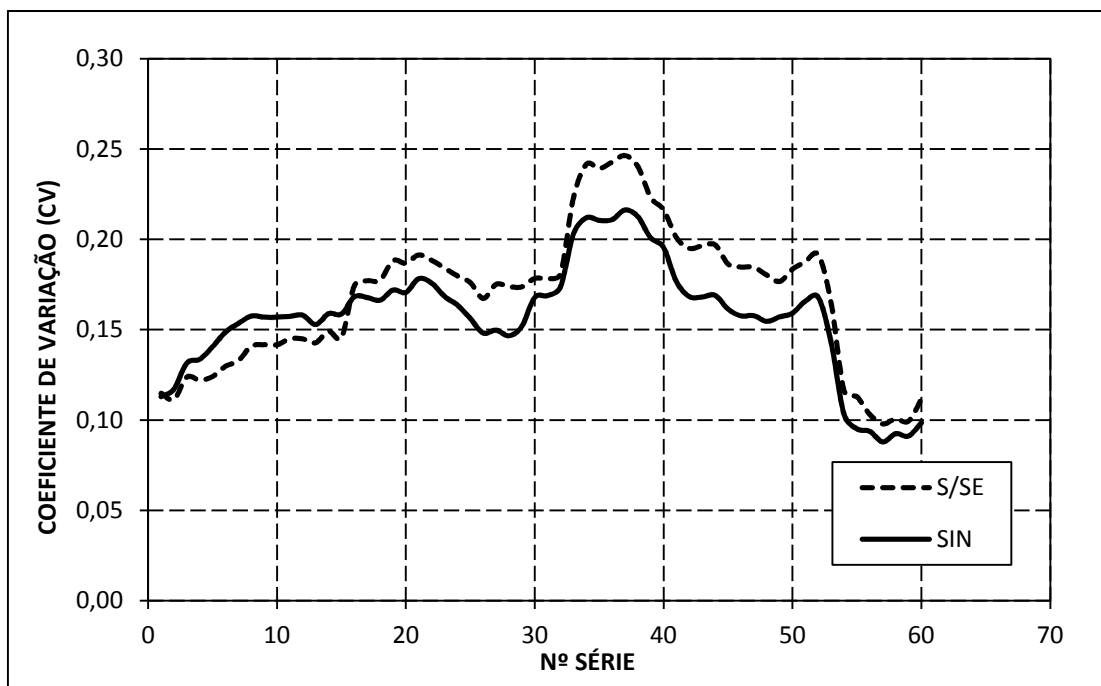


FIGURA 8 – Coeficientes de variação para séries móveis de energias naturais médias anuais – SIN e S/SE (n=20).

Cumprе assimilar que embora uma análise visual sugere séries não estacionárias os valores de γ e ρ adotados conduzem a intervalos de confiança compatíveis com a variação dos valores nas Figuras 6 e 7.

TABELA 3 – Parâmetros das séries de energias naturais.

Parâmetro	NEIRA (S/SE)		PÉRICO (S/SE)		FILL (1989)	FILL et al (2005)
	1931-1980	1931-1995	1931-1980	1931-2010	-	1931-1996
$\hat{\mu}$	31282	33104	40134	43000	-	33104
$\hat{\sigma}$	5493	7073	6439	8790	-	7053
CV	0,176	0,214	0,160	0,204	-	0,214
$\hat{\gamma}$	0,27	1,3	0,43	1,05	0,30	1,13
$\hat{\rho}$	0,33	0,54	0,34	0,53	0,25	0,54

4.1.2. Usinas para expansão do sistema

Para a análise de expansão dos sistemas em estudo foram selecionadas usinas de grande porte em fase de implantação na região Norte do país, cuja localização geográfica é apresentada na Figura 9.

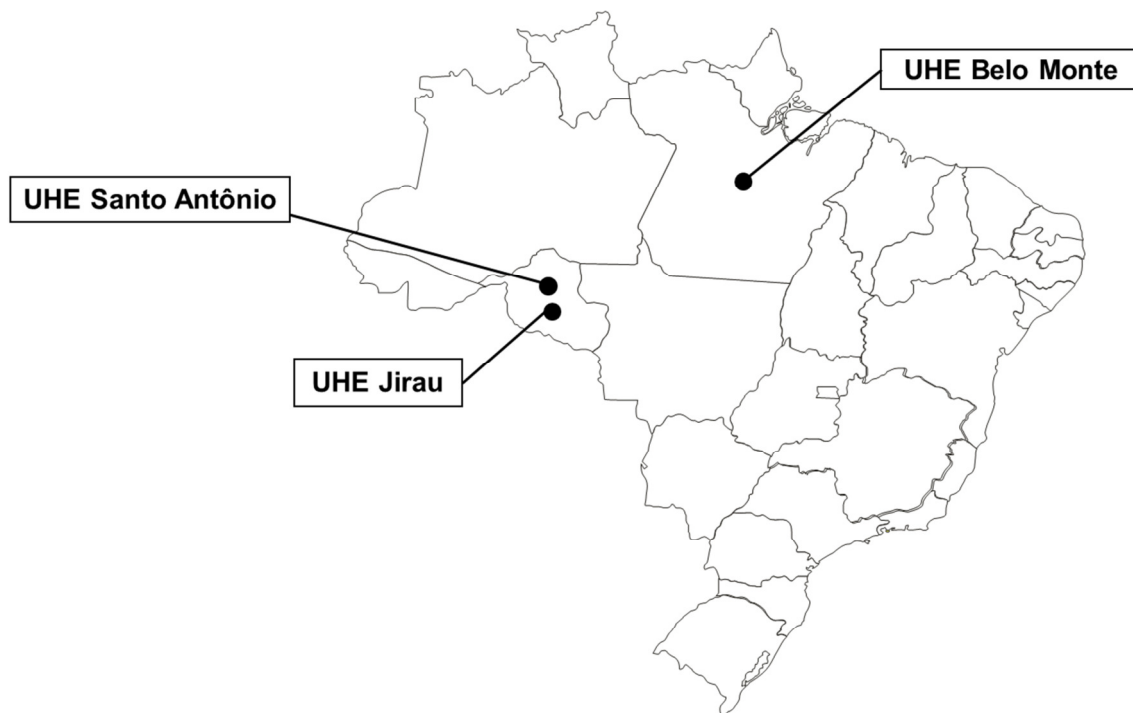


FIGURA 9 – Localização geográfica das usinas selecionadas para expansão do sistema.

O aproveitamento hidrelétrico Jirau localiza-se no rio Madeira, distante cerca de 130 km da cidade de Porto Velho, capital do Estado de Rondônia. A Tabela 4 apresenta as principais características deste empreendimento.

TABELA 4 – Principais características – UHE Jirau (EPE, 2008).

Características	UHE Jirau
N.A. máximo normal (m)	90
Potência Instalada (MW)	3300
Tipo de Turbina	Bulbo
Número de Unidades	44
Potência Unitária (MW)	75
Queda Líquida Nominal (m)	15,2
Produtividade (MW/m ³ /s)	0,129

O aproveitamento hidrelétrico Santo Antônio localiza-se também no rio Madeira, próximo à cidade de Porto Velho, capital do Estado de Rondônia. A Tabela 5 apresenta as principais características deste empreendimento.

TABELA 5 – Principais características – UHE Santo Antônio (EPE, 2007).

Características	UHE Santo Antônio
N.A. máximo normal (m)	70
Potência Instalada (MW)	3150,4
Tipo de Turbina	Bulbo
Número de Unidades	44
Potência Unitária (MW)	71,6
Queda Líquida Nominal (m)	13,9
Produtividade (MW/m ³ /s)	0,132

O aproveitamento hidrelétrico Belo Monte no rio Xingu vem sendo investigado desde a década de 70, apresentando um histórico que contempla diversas alternativas de queda e de arranjo físico (layout). Em março de 1988 foi aprovado, pelo então DNAEE, o Relatório Final dos Estudos de Inventário do rio Xingu.

Em fevereiro de 2002, a ELETROBRÁS/ELETRONORTE encaminharam à ANEEL o documento “Complexo Hidrelétrico Belo Monte – Estudos de Viabilidade – Relatório Final”, não incluindo o capítulo referente aos Estudos Ambientais em decorrência de embargo judicial (EPE, 2009).

O Complexo Belo Monte se caracteriza por englobar três sítios distintos de estruturas agrupadas, denominados Belo Monte, Bela Vista e Pimental, além dos diques e canais distribuídos ao longo da obra, projetados para delimitar o futuro reservatório e permitir a adução das vazões a serem turbinadas na Casa de Força Principal. As estruturas principais são agrupadas como descrito na sequência e a Tabela 6 apresenta as principais características deste empreendimento.

- Sítio Pimental - Tomada d'Água/Casa de Força Complementar, Vertedouro Principal e Barragens de Terra e Enrocamento que completam o fechamento do vale do rio Xingu, cuja localização está a 39 km em linha reta, a Sudoeste da Casa de Força Principal;
- Sítio Bela Vista - Vertedouro Complementar e seus muros laterais, possuindo ainda barragens e diques de contenção do reservatório no local, sítio localizado a 22 km em linha reta ao sul do Sítio Belo Monte;

- Sítio Belo Monte - Tomada d'Água, Casa de Força Principal e Canal de Fuga, existindo também, barragens e diques de terra/enrocamento de fechamento de vales e selas adjacentes, sítio localizado na margem esquerda do Xingu, cerca de 10 km a jusante da interseção do rio Xingu com a rodovia Transamazônica, no local denominado Belo Monte.

TABELA 6 – Principais características – UHE Belo Monte (EPE, 2009).

Características	UHE Belo Monte
N.A. máximo normal (m)	97
Potência Instalada (MW)	11000
Tipo de Turbina	Francis
Número de Unidades	20
Potência Unitária (MW)	550
Queda Líquida Nominal (m)	91,15
Produtividade (MW/m ³ /s)	0,745

Finalmente, as séries históricas de vazões afluentes às três usinas para o período de 1931-2010 obtidas do ONS são apresentadas no ANEXO 3. Com base na produtividade de cada usina, são apresentadas também as séries de energias naturais resultante para as três usinas neste mesmo anexo.

4.1.3. Reservatórios para Regularização Intra-Anual

A determinação dos armazenamentos para regularização intra-anual das usinas analisadas neste estudo foi realizada através do Método dos Cenários. Devido à baixa correlação, com razoável exceção no caso da UHE Belo Monte, optou-se pela adoção do volume associado à menor vazão média anual obtido do histórico ao invés da resultante do ajuste linear. A Tabela 7 apresenta os armazenamentos resultantes para as usinas analisadas.

TABELA 7 – Armazenamentos para Regularização Intra-Anual – Usinas para Expansão.

UHE	V (hm ³)	Q _{MÍN} (m ³ /s)	K (MW/m ³ /s)	A (MWano)	A (MWmês)
BELO MONTE	58888	4652	0,7449	1391	16692
JIRAU	122051	13022	0,1291	500	5996
SANTO ANTÔNIO	123899	13219	0,1323	520	6237
TOTAL	304838	-	-	2410	28925

4.2. ANÁLISE DETERMINÍSTICA

A abordagem determinística foi realizada através da simulação das séries históricas dos sistemas SIN e S/SE pelo método da energia natural, considerando a extensão da série de 1931-1980 (ano hidrológico mai/abr), como citado anteriormente. Para as séries das usinas também foi considerado o período 1931-1980. Foram analisados os seguintes cenários:

- Sistemas base (SIN e S/Se);
- Sistemas base + Usinas a fio d'água;
- Sistemas base + Usinas com regularização intra-anual;
- Sistemas base + Usinas mantendo-se constante o armazenamento equivalente plurianual.

As Tabelas 8 e 9 sintetizam os parâmetros básicos para os sistemas SIN e S/SE respectivamente.

TABELA 8 – Parâmetros Básicos - SIN

PARÂMETROS	EXPANSÃO			
	BASE	FIO D'ÁGUA	INTRA-ANUAL	PLURIANUAL
ARMAZ. TOTAL (MWano)	23100	23100	25510	27500
Δ ARMAZ. USINAS (MWano)	-	0	2410	4400
ENERGIA MÉDIA (MWmed)	54682	63697	65540	65540
DESVIO PADRÃO (MWmed)	8439	8650	8829	8829
COEF. DE VARIAÇÃO (CV)	0,15	0,14	0,13	0,13
ASSIMETRIA (Y)	0,32	0,26	0,23	0,23
AUTOCORRELAÇÃO (ρ)	0,42	0,44	0,46	0,46
COEF. REG. INTRA-ANO (φ)	0,199	0,211	0,226	0,226
ARMAZ. EQUIVALENTE (a)	1,64	1,33	1,43	1,64
ENERGIA EQUIVALENTE (μ)	0,99	1,01	0,95	0,91

TABELA 9 – Parâmetros Básicos – S/SE

PARÂMETROS	EXPANSÃO			
	BASE	FIO D'ÁGUA	INTRA-ANUAL	PLURIANUAL
ARMAZ. TOTAL (MWano)	17700	17700	20110	21600
Δ ARMAZ. USINAS (MWano)	-	0	2410	3900
ENERGIA MÉDIA (MWmed)	40134	49148	50992	50992
DESVIO PADRÃO (MWmed)	6439	6579	6682	6682
COEF. DE VARIAÇÃO (CV)	0,16	0,13	0,13	0,13
ASSIMETRIA (γ)	0,43	0,32	0,24	0,24
AUTOCORRELAÇÃO (ρ)	0,34	0,36	0,39	0,39
COEF. REG. INTRA-ANO (φ)	0,149	0,170	0,188	0,188
ARMAZ. EQUIVALENTE (a)	1,94	1,56	1,73	1,94
ENERGIA EQUIVALENTE (μ)	0,78	0,81	0,81	0,75

Os resultados obtidos da simulação histórica para os cenários distintos de expansão dos sistemas SIN e S/SE são apresentados na Tabela 10. Observa-se ganho significativo na expansão através de reservatórios com regularização sazonal. Neste caso, o ganho marginal na energia firme com relação à expansão a fio d'água é de 24,8% para o SIN e 20,1% para o S/SE, o que evidencia a importância do reservatório de regularização intra-anual no ganho de energia firme.

TABELA 10 – Resultados – Análise Determinística – Simulações sobre o período histórico 1931-1980 – SIN e S/SE.

EXPANSÃO	SIN				S/SE			
	EF (MWmed)	EF Inc. (MWmed)	EF Inc. (%)	Δ EF Inc. (%)	EF (MWmed)	EF Inc. (MWmed)	EF Inc. (%)	Δ EF Inc. (%)
BASE	46337	-	-	-	35113	-	-	-
FIO D'ÁGUA	55000	8663	18,7	-	43804	8691	24,8	-
INTRA-ANUAL	57145	10808	23,3	24,8	45548	10435	29,7	20,1
PLURIANUAL	57502	11165	24,1	3,3	45964	10851	30,9	4,0

A análise das curvas de regularização resultante para os sistemas analisados evidencia o ganho marginal de energia firme para o caso de regularização intra-anual, bem como plurianual. As Tabelas 11 e 12 apresentam os armazenamentos e as energias firmes, enquanto as Figuras 10 e 11 ilustram as respectivas curvas para SIN e S/SE. Como pode-se observar, no caso da análise para os sistemas somados às usinas com regularização

intra-anual e plurianual as curvas são idênticas pelo fato de as séries de energias naturais destes sistemas serem as mesmas.

TABELA 11 – Curva de Regularização – Série Histórica – SIN.

ARMAZENAMENTO (MWano)	SISTEMA (ENERGIA FIRME – MWmed)			
	BASE	FIO D'ÁGUA	INTRA-ANUAL	PLURIANUAL
0	17421	19580	19580	19580
10000	41579	46975	46975	46975
20000	45708	54226	55875	55875
30000	47573	56255	57950	57950
40000	49364	58055	59741	59741
50000	51155	59846	61532	61532

TABELA 12 – Curva de Regularização – Série Histórica – S/SE.

ARMAZENAMENTO (MWano)	ENERGIA FIRME (MWmed)			
	BASE	FIO D'ÁGUA	INTRA-ANUAL	PLURIANUAL
0	12876	15035	15035	15035
10000	32170	40122	41021	41021
20000	35525	44216	45517	45517
30000	37316	46007	47693	47693
40000	38920	47727	49352	49352
50000	39342	48438	50413	50413

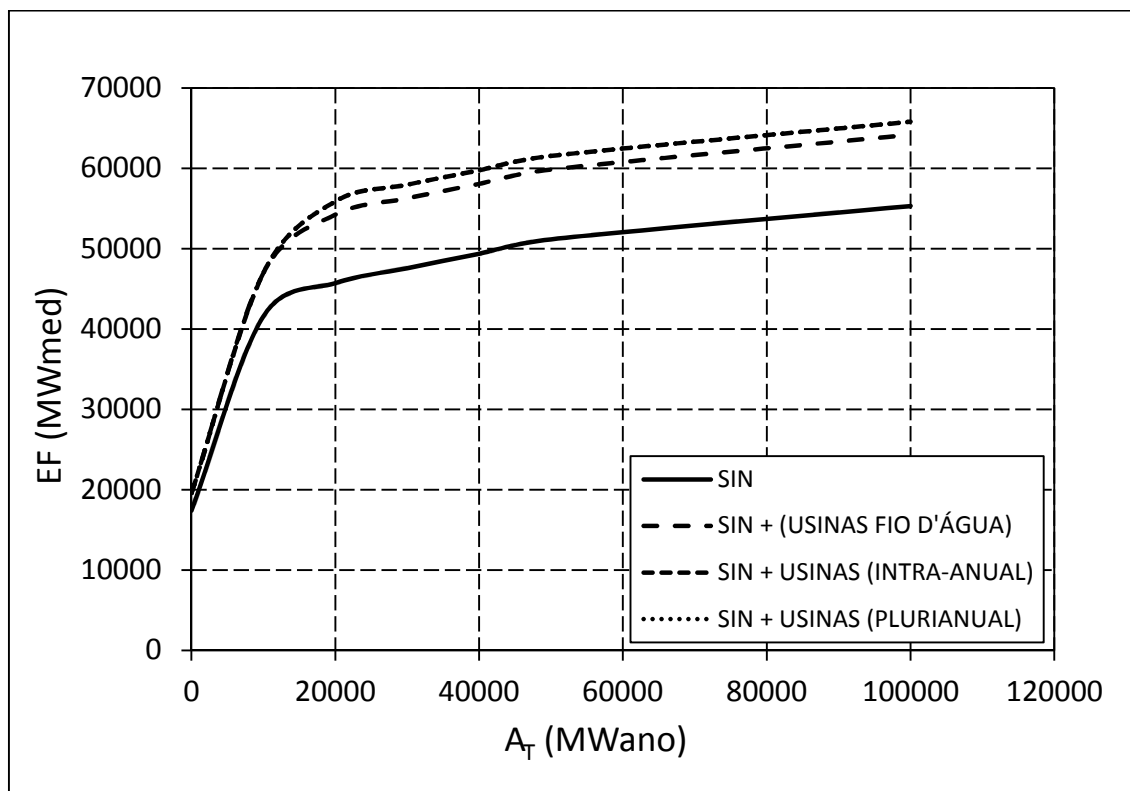


FIGURA 10 – Curva de Regularização – Série Histórica – SIN.

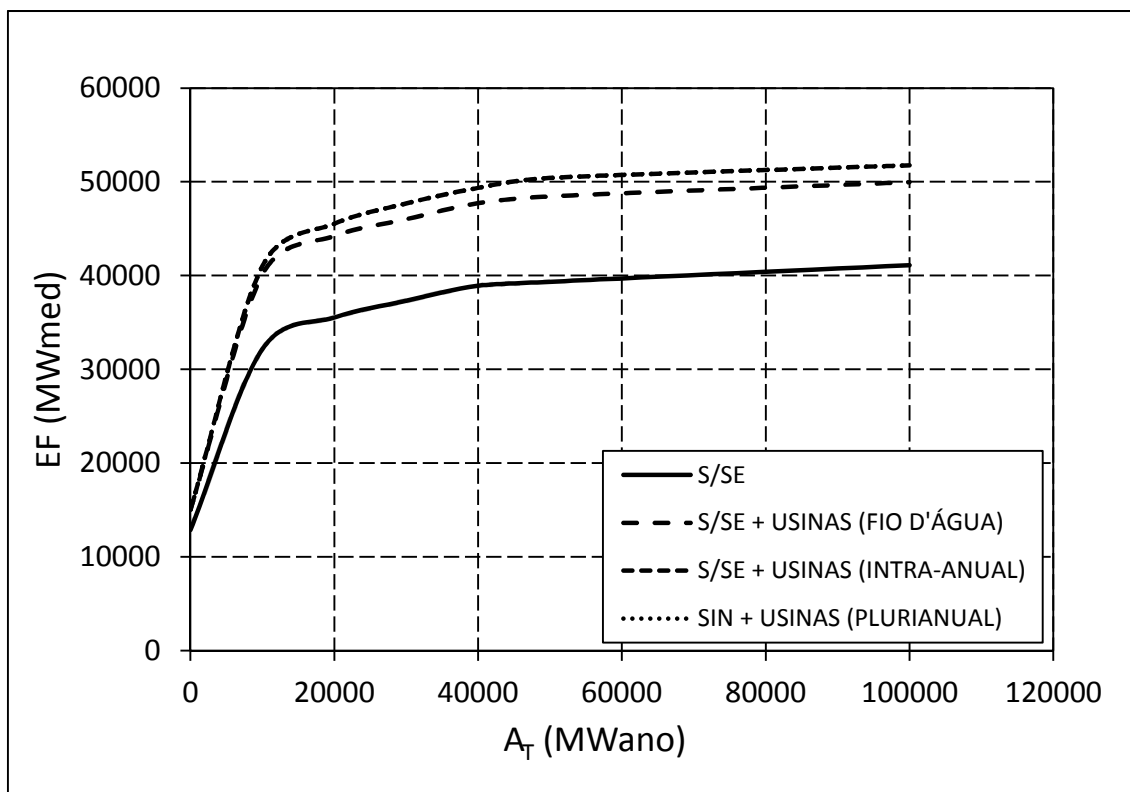


FIGURA 11 – Curva de Regularização – Série Histórica – S/SE.

4.3. ANÁLISE PROBABILÍSTICA

A análise probabilística foi realizada obtendo-se a relação $Tr = F(\mu, \alpha)$ através de técnica descrita no item 3.3.1.2 baseada em simulações Monte Carlo, tendo como hipótese básica uma distribuição de probabilidades log-normal LN3 e assumindo para as afluências anuais um modelo auto regressivo de 1ª ordem AR(1).

4.3.1. Análise do coeficiente de autocorrelação

Dado que a geração de séries sintéticas é efetuada usualmente através de variáveis normais e posterior transformação na distribuição marginal adotada, foi realizada uma análise das diferenças entre os coeficientes de autocorrelação das séries Z_t e x_t log-normais.

Inicialmente foram calculados os coeficientes de autocorrelação das séries de energias naturais E_t e das suas transformadas normais Z_t para os diferentes sistemas analisados. Neste caso,

$$Z_t = \frac{\ln(E_t - \xi) - m}{d} \quad (89)$$

Sendo $m = E[\ln(E_t - \xi)]$ e $d^2 = Var[\ln(E_t - \xi)]$ os resultados juntamente com os valores de m e d são apresentados na Tabela 13.

TABELA 13 – Coeficientes de autocorrelação – SIN e S/SE.

SÉRIE	$\hat{\rho}$		LN2	
	E_t	Z_t	m	d
SIN	0,42	0,44	10,90	0,15
SIN + USINAS CENSURADAS	0,44	0,45	11,05	0,14
SIN + USINAS	0,46	0,46	11,08	0,13
S/SE	0,34	0,34	10,59	0,16
S/SE + USINAS CENSURADAS	0,36	0,36	10,80	0,13
S/SE + USINAS	0,39	0,39	10,83	0,13
MÉDIA	0,40	0,41	10,88	0,14

Obs.: Série histórica 1931-1980.

Adotando-se o valor médio de $m = 10,88$ e $d = 0,14$ construiu-se uma relação geral entre os coeficientes de autocorrelação de $Z_t \sim N(0,1)$ e sua transformada:

$$x_t = \exp(Z_t d + m) \quad (90)$$

Para tanto foram geradas séries sintéticas de Z_t com $0,1 \leq \rho_z \leq 0,9$ por um modelo markoviano simples:

$$Z_t = \rho Z_{t-1} + \sqrt{1 - \rho^2} U_t \quad t = 1, 2, \dots, N \quad (91)$$

Onde:

ρ = coeficiente de autocorrelação arbitrado inicialmente;

U_t = variáveis aleatórias normais padrão $N(0,1)$ independentes;

Z_0 = valor inicial de Z_t , usualmente igual à zero.

Z_t = variável aleatória normal padrão $N(0,1)$ com dependência em série;

Para cada série sintética de Z_t obteve-se a respectiva série de x_t distribuída Log-Normal de 2 parâmetros (LN2) através da transformação da expressão (90) e calculou-se $\hat{\rho}_{x_t}$ da série x_t .

A comparação entre ρ_{Z_t} e $\hat{\rho}_{x_t}$ para uma faixa ampla de valores obtidos da análise das séries sintéticas é apresentada na Tabela 14 e na Figura 12, onde se verifica não haver diferenças significativas neste coeficiente para a série observada e para a série de variáveis transformadas. Adotou-se nesta análise uma distribuição LN2 mais simples porque o coeficiente de correlação é invariante para a soma de uma constante.

TABELA 14 – Relação $\rho_{Z_t} \times \hat{\rho}_{x_t}$ para LN2.

ρ_{Z_t}	$\hat{\rho}_{x_t}$
0,10	0,14
0,20	0,24
0,30	0,34
0,40	0,44
0,50	0,53
0,60	0,62
0,70	0,72
0,80	0,81
0,90	0,91

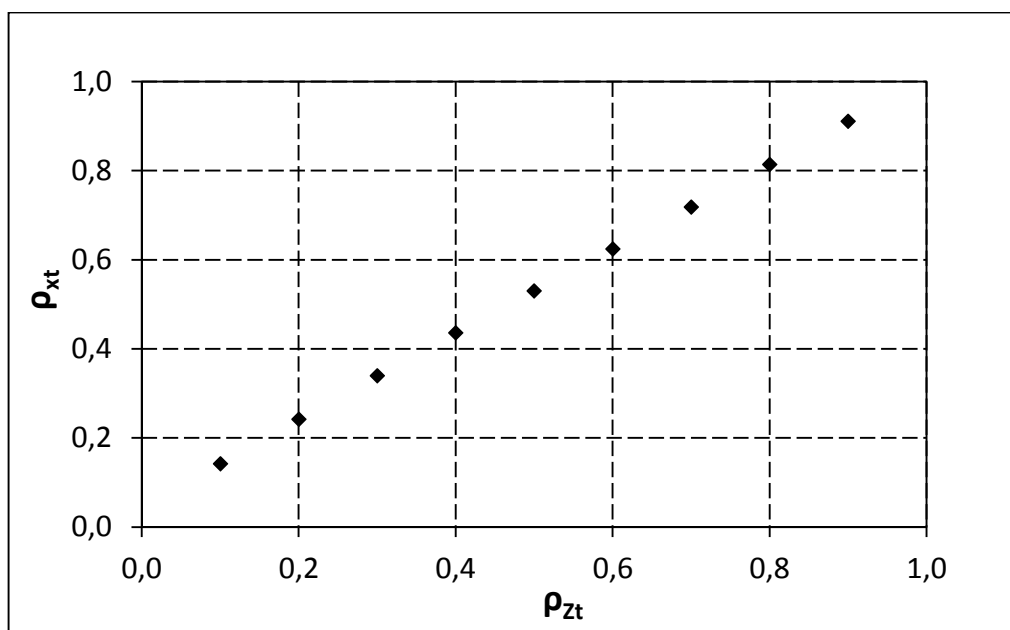


FIGURA 12 – Relação $\rho_{Z_t} \times \hat{\rho}_{x_t}$ para LN2.

Assumindo o valor de ρ igual a $\rho = 0,40$ e considerando a extensão da série igual a $n = 50$, a variância amostral vale:

$$\text{Var}(\hat{\rho}) = \frac{1}{50}(1 - 0,40^2) = 0,017 \quad (92)$$

Para uma distribuição amostral normal obtém-se, com 90% de probabilidade, desprezando a tendenciosidade:

$$\hat{\rho} = 0,4 \pm 1,645\sqrt{0,017} \quad (93)$$

ou,

$$0,19 < \hat{\rho} < 0,61 \quad (94)$$

o que permite adotar um único valor de ρ válido para todas as séries dos sistemas considerados.

4.3.2. Relação $Tr = F(\mu, a)$

Aplicando-se o método descrito com detalhes no item 3.3.1.2 e para $\rho = 0,40$, $\gamma = 0,30$, $m = 50$ e $N = 10000$ séries sintéticas, para diferentes pares de μ e a pode-se construir o ábaco apresentado na Figura 13 e cujos valores resultantes para $Tr = F(\mu, a)$ são apresentados na Tabela 15.

Através desta relação pode-se verificar o risco da energia firme obtidos da simulação das séries históricas, expresso através do tempo de recorrência, para os sistemas hidrelétricos e os cenários de expansão considerados neste estudo.

TABELA 15 – Relação $Tr = F(\mu, a)$, para $\rho = 0,40$ e $\gamma = 0,30$.

TR (anos)	μ (energia equivalente)											
	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	
a (armazenamento equivalente)	0,0	2	3	3	5	6	8	12	17	27	45	77
	0,2	3	4	4	6	8	12	15	25	43	75	240
	0,4	4	5	6	8	11	15	25	40	70	135	280
	0,6	4	6	7	10	15	22	35	65	120	250	570
	0,8	5	6	9	12	18	30	50	95	200	455	-
	1,0	6	7	10	15	25	40	15	150	320	830	-
	1,2	6	9	12	18	30	55	100	220	525	-	-
	1,4	7	9	14	22	40	70	140	315	850	-	-
	1,6	8	11	16	25	45	90	190	450	-	-	-
	1,8	8	12	18	30	55	110	250	675	-	-	-
	2,0	9	13	20	35	65	140	340	965	-	-	-
	2,2	10	14	23	40	80	180	465	-	-	-	-
	2,4	10	15	25	45	95	220	605	-	-	-	-
	2,6	11	17	28	55	115	285	830	-	-	-	-
	2,8	12	18	32	62	135	360	-	-	-	-	-
3,0	12	20	35	70	160	450	-	-	-	-	-	

A Tabela 16 apresenta os valores resultantes, onde se verifica um tempo de recorrência para o SIN igual a 87 anos e S/SE de 57 anos. No caso de expansão a fio d'água ocorre redução do SIN para 68 anos e do S/SE para 50 anos. Para expansão intra-anual e plurianual, não são observadas diferenças significativas em ambos os sistemas, que no caso do SIN representam respectivamente 70 e 72 anos, e do S/SE 55 e 57 anos.

TABELA 16 – Tempo de recorrência – SIN e S/SE.

SISTEMA	EXPANSÃO	μ	a	TR (anos)
SIN	BASE	0,99	1,64	87
	FIO D'ÁGUA	1,01	1,33	68
	INTRA-ANUAL	0,95	1,43	70
	PLURIANUAL	0,91	1,64	72
S/SE	BASE	0,78	1,94	57
	FIO D'ÁGUA	0,81	1,56	50
	INTRA-ANUAL	0,81	1,73	55
	PLURIANUAL	0,75	1,94	57

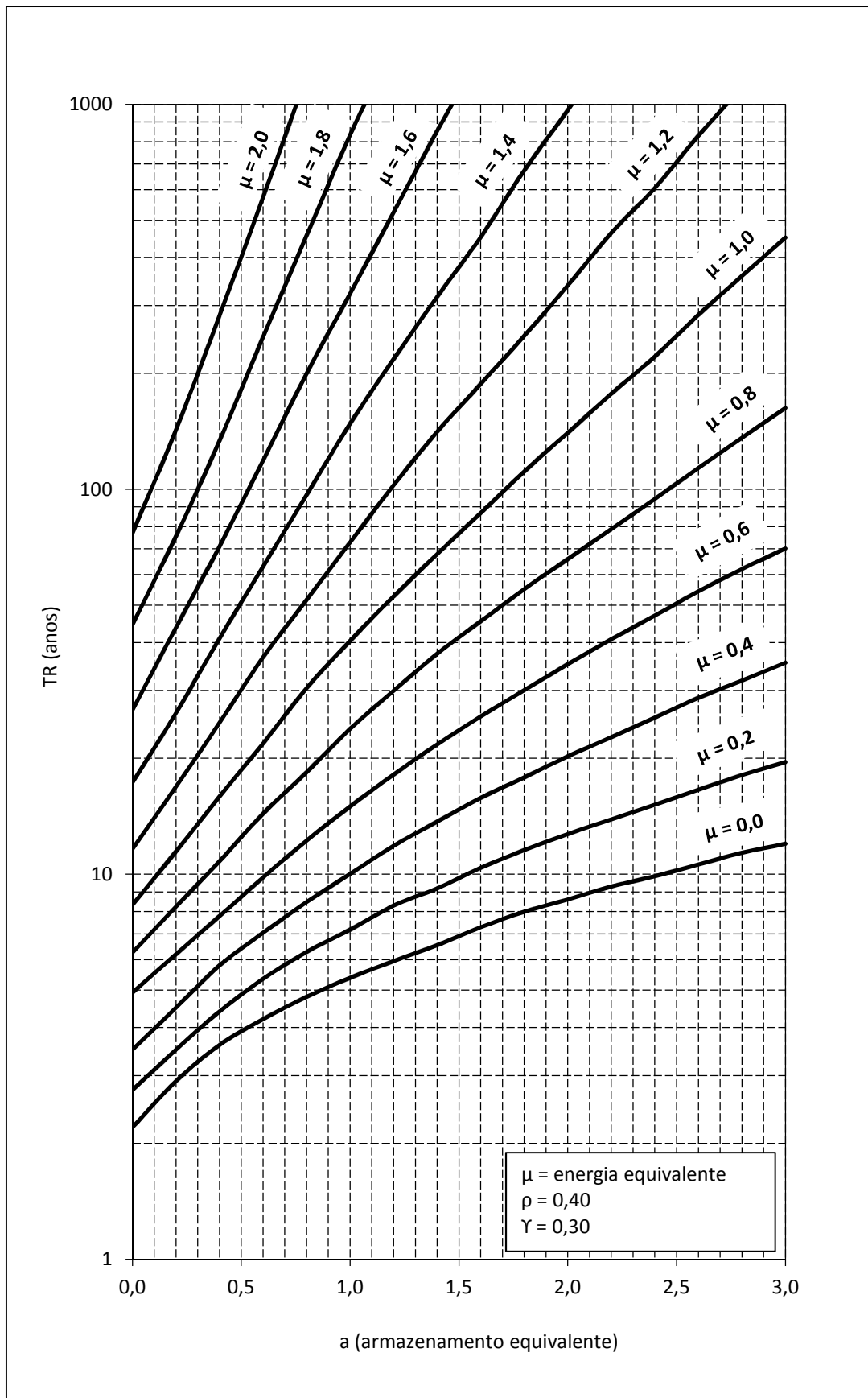


FIGURA 13 – Relação $Tr = F(\mu, a)$, para $\rho = 0,40$ e $\gamma = 0,30$.

Nota-se diferença significativa do tempo e retorno entre uma expansão a fio d'água e com regularização intra-anual, enquanto os ganhos adicionais para regularização plurianual são menos significativos.

Há de se considerar ainda que no caso do SIN os verdadeiros tempos de retorno (valor esperado entre falhas consecutivas) são certamente menores que os indicados devido a limitações atualmente existentes no intercâmbio entre os subsistemas N/NE e S/SE.

Existem ainda outras possíveis diferenças entre os tempos de retorno computados e a realidade do sistema elétrico (usos múltiplos da água, erros de produtividade das usinas, assoreamento de reservatórios, uso do método da energia natural, entre outros).

4.3.3. Análise de Sensibilidade para ρ e γ

Visando analisar a influencia da autocorrelação e da assimetria utilizadas na determinação da relação $Tr = F(\mu, a)$, no tempo de retorno, foram produzidos ábacos similares ao da Figura 13 para diferentes pares de valores de assimetria e autocorrelação, os quais podem ser observados no ANEXO 5. A partir destes ábacos e considerando os valores de μ e a dos sistemas estudados para a energia firme, foram obtidos os tempos de retorno para cada sistema nas diferentes situações analisadas.

Esta análise indicou que a elevação da autocorrelação reduz o tempo de retorno, enquanto a elevação da assimetria eleva o tempo de retorno. A Tabela 17 abaixo apresenta os valores resultantes desta análise para os sistemas em estudo.

TABELA 17 – Variação do Tempo de Retorno (anos) em função de ρ e γ – SIN e S/SE.

SIN				
Y \ ρ	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	117	96	81	72
0,3	139	112	87	79
0,4	168	130	105	88
0,5	207	156	122	99

S/SE				
Y \ ρ	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	76	63	55	50
0,3	86	72	57	52
0,4	92	78	68	58
0,5	120	85	72	60

SIN + USINAS (FIO D'ÁGUA)				
Y \ ρ	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	70	61	58	54
0,3	83	70	68	60
0,4	95	82	72	62
0,5	130	95	80	72

S/SE + USINAS (FIO D'ÁGUA)				
Y \ ρ	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	52	45	43	40
0,3	58	52	50	41
0,4	63	53	48	44
0,5	73	61	53	48

SIN + USINAS (INTRA-ANUAL)				
Y \ ρ	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	72	65	55	51
0,3	85	73	70	58
0,4	98	86	72	64
0,5	120	85	78	68

S/SE + USINAS (INTRA-ANUAL)				
Y \ ρ	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	65	54	50	47
0,3	76	60	55	50
0,4	82	70	60	52
0,5	95	74	63	58

SIN + USINAS (PLURIANUAL)				
Y \ ρ	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	88	71	61	57
0,3	98	76	72	60
0,4	125	88	75	65
0,5	145	100	80	70

S/SE + USINAS (PLURIANUAL)				
Y \ ρ	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	67	55	51	48
0,3	77	63	57	51
0,4	83	72	62	52
0,5	98	75	63	59

4.3.4. Análise de Sensibilidade para Racionamento

Sabendo-se que de um modo geral um racionamento do consumo de energia é decretado antes do deplecionamento total do reservatório equivalente do sistema hidrelétrico, optou-se por realizar uma análise para verificação do comportamento do tempo de retorno da energia firme dos sistemas em estudo para diferentes situações de início de racionamento.

Considerando-se os dados básicos dos sistemas e cenários de expansão, bem como a energia firme resultante da simulação através da análise determinística com base na série histórica, realizou-se uma análise descrita na sequencia.

Sendo $a = (A_{m\acute{a}x} - \emptyset E_g)/\sigma$ o armazenamento equivalente do sistema e β o percentual de $A_{m\acute{a}x}$ a partir do qual é decretado o racionamento, calculou-se a' , armazenamento equivalente sem racionamento:

$$a = \frac{(A_{m\acute{a}x} - \emptyset E_g)}{\sigma} \quad (95)$$

$$a' = \frac{[A_{m\acute{a}x}(1 - \beta) - \emptyset E_g]}{\sigma} \quad (96)$$

$$a' = \frac{(A_{m\acute{a}x} - \emptyset E_g)}{\sigma} - \frac{\beta A_{m\acute{a}x}}{\sigma} \quad (97)$$

Ou,

$$a' = a - \beta \left(\frac{A_{m\acute{a}x}}{\sigma} \right) \quad (98)$$

Onde:

a' = armazenamento equivalente efetivo (sem racionamento) do sistema;

a = armazenamento equivalente;

β = percentual do armazenamento antes do início do racionamento;

$A_{m\acute{a}x}$ = armazenamento máximo, MWano;

σ = desvio padrão das afluições do sistema, em MWmed.

Os dados básicos obtidos da série histórica e resultantes da simulação para o armazenamento total dos sistemas analisados são apresentados na Tabela 18 e foram utilizados no cálculo da sensibilidade do tempo de retorno para diferentes valores de β .

TABELA 18 – Análise de Racionamento – Dados Básicos - SIN e S/SE.

SISTEMA	EXPANSÃO	SÉRIE HISTÓRICA					
		A_T (MWano)	EF (MWmed)	σ (MWmed)	μ	a	TR (anos)
SIN	BASE	23100	46337	8439	0,99	1,64	87
	FIO D'ÁGUA	23100	55000	8650	1,01	1,33	68
	INTRA-ANUAL	25510	57145	8829	0,95	1,43	70
	PLURIANUAL	27500	57502	8829	0,91	1,64	72
S/SE	BASE	17700	35113	6439	0,78	1,94	57
	FIO D'ÁGUA	17700	43804	6579	0,81	1,56	50
	INTRA-ANUAL	20110	45548	6682	0,81	1,73	55
	PLURIANUAL	21600	45964	6682	0,75	1,94	57

Mantendo-se μ constante para o sistema analisado, obteve-se uma nova relação $Tr' = F(\mu, a')$ para cada valor de β . Neste caso TR' representa o valor esperado do intervalo entre racionamento de energia consecutivos para uma demanda hidráulica igual à energia firme histórica.

Com base no ábaco definido anteriormente para $\rho = 0,40$ e $\gamma = 0,30$ (Figura 12) obteve-se os tempos de retorno TR' para valores de β de 10%, 15%, 20%, 25% e 30%. Verificou-se que o tempo de retorno reduz-se substancialmente conforme o valor de β aumenta, como era esperado. A Tabela 19 apresenta os resultados.

TABELA 19 – Análise de Racionamento – Resultados - SIN e S/SE.

SISTEMA	EXPANSÃO	RACIONAMENTO (β)									
		10%		15%		20%		25%		30%	
		a'	TR'	a'	TR'	a'	TR'	a'	TR'	a'	TR'
SIN	BASE	1,37	64	1,23	55	1,10	46	0,96	37	0,82	30
	FIO D'ÁGUA	1,06	47	0,93	38	0,79	32	0,66	26	0,53	21
	INTRA-ANUAL	1,14	44	0,99	35	0,85	28	0,70	24	0,56	18
	PLURIANUAL	1,33	49	1,18	41	1,02	34	0,86	27	0,71	22
S/SE	BASE	1,66	47	1,52	39	1,39	35	1,25	29	1,11	26
	FIO D'ÁGUA	1,29	36	1,15	30	1,02	26	0,89	22	0,75	19
	INTRA-ANUAL	1,43	42	1,28	35	1,13	27	0,98	25	0,83	21
	PLURIANUAL	1,62	43	1,45	36	1,29	28	1,13	25	0,97	20

4.3.5. Teoria estocástica dos reservatórios clássica

A análise probabilística via teoria estocástica dos reservatórios teve como objetivo determinar a curva de regularização para os sistemas em estudo e a relação entre energia garantida e tempo de retorno.

Inicialmente foram determinadas as relações energia garantida *versus* tempo de retorno. Para a construção da curva foram determinados os valores de a e μ associados à energia garantida. Utilizando-se o ábaco determinado no item 4.3.2 para $\rho = 0,40$ e $\gamma = 0,30$, foram obtidos os tempos de retorno associados para os pares de a e μ decorrentes de cada valor de Eg .

As curvas resultantes desta análise são apresentadas nas Figuras 14 e 15 respectivamente para SIN e S/SE e sob a forma adimensional de energia garantida nas Figuras 16 e 17. Verifica-se um ganho incremental significativo de energia garantida para a expansão com regularização intra-anual tanto para o SIN quanto para S/SE. Os ganhos adicionais para regularização plurianual são menos significativos.

As curvas de regularização foram determinadas para SIN e S/SE em cada cenário de expansão e para três tempos de retorno adotados neste estudo ($TR = 22,5, 45$ e 90 anos). Estes tempos de retorno foram definidos da seguinte maneira: Um $TR = 45$ anos corresponde para um horizonte de planejamento de 30 anos a um risco da ordem de 50% e 22,5 e 90 anos representam respectivamente a metade e o dobro deste valor.

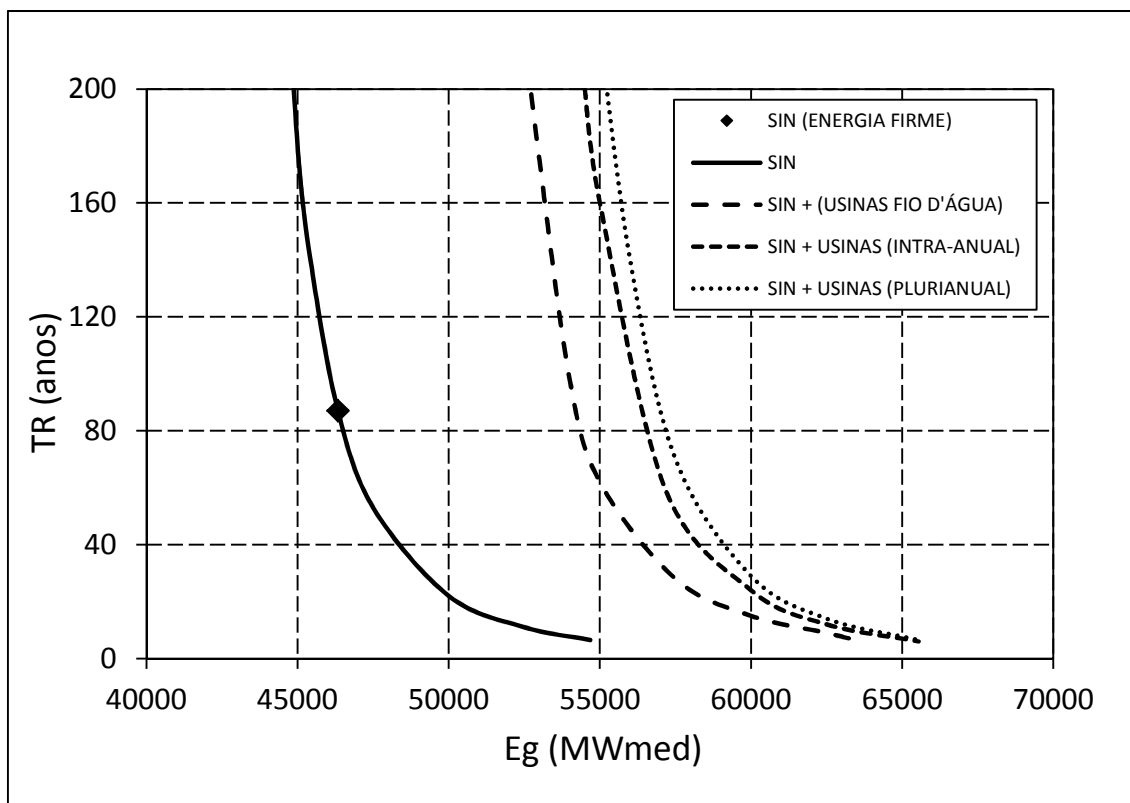


FIGURA 14 – Relação $Eg = F(TR)$ – SIN.

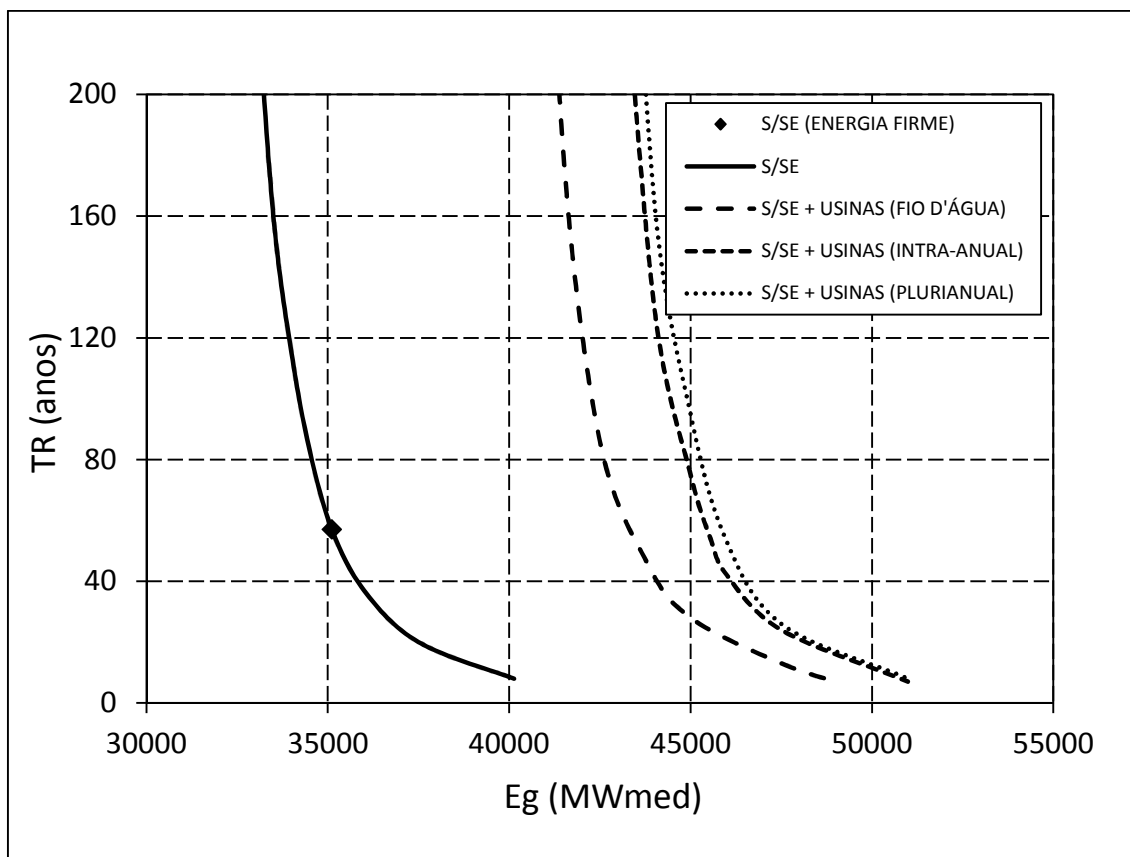


FIGURA 15 – Relação $Eg = F(TR)$ – S/SE.

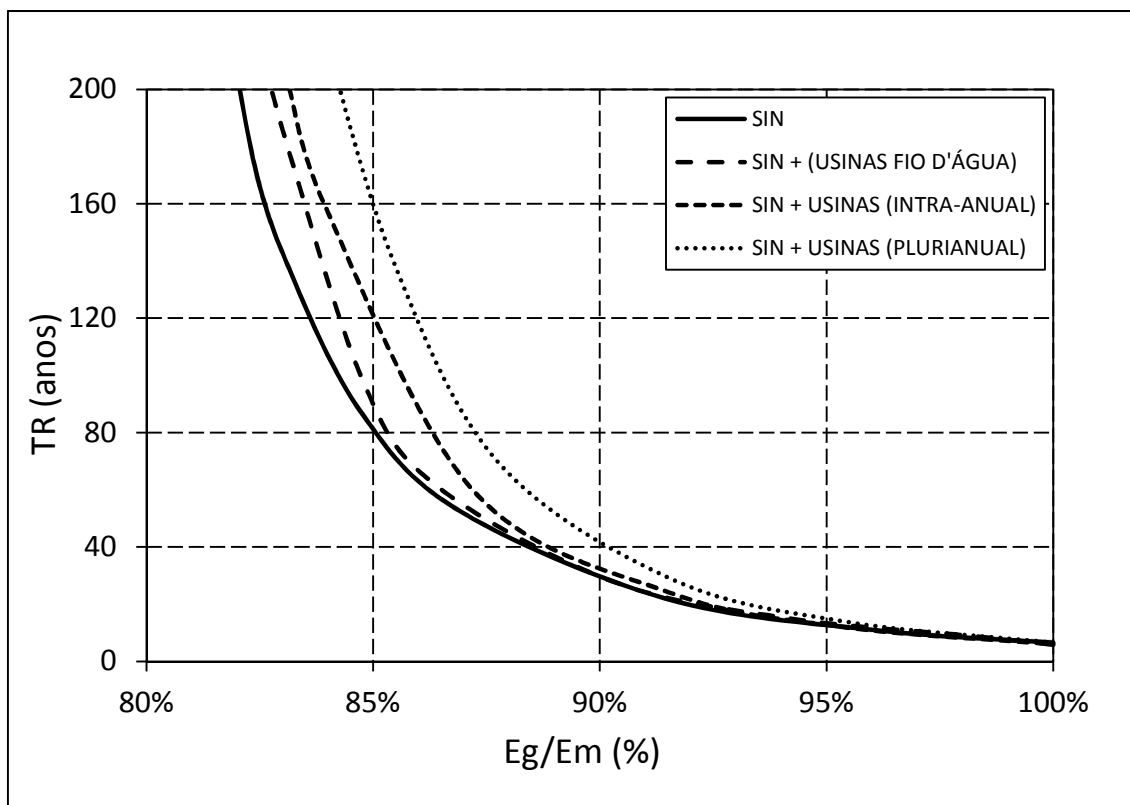


FIGURA 16 – Relação $Eg = F(TR)$ na forma adimensional – SIN.

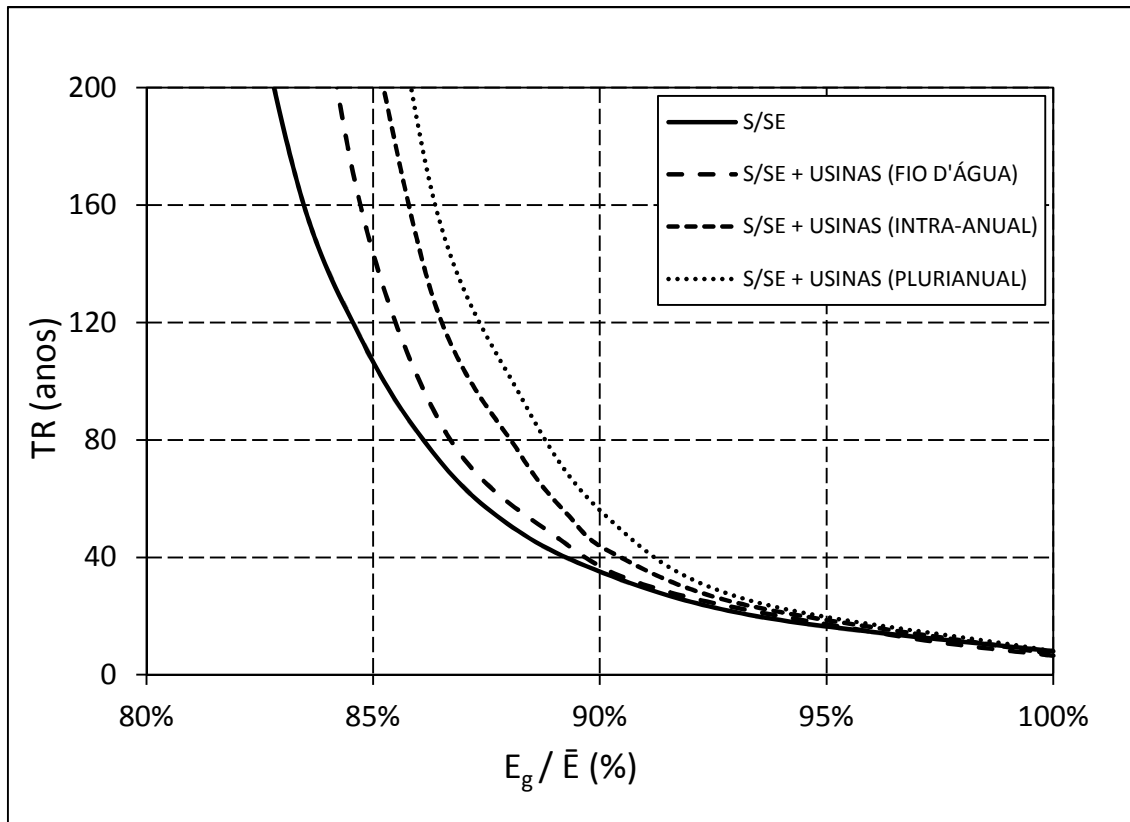


FIGURA 17 – Relação $Eg = F(TR)$ na forma adimensional – S/SE.

As Figuras 18, 19 e 20 apresentam as curvas resultantes para o SIN e os cenários de expansão para respectivamente tempos de retorno de 22,5, 45 e 90 anos, enquanto as Figuras 21, 22 e 23 apresentam as curvas resultantes para o S/SE.

A determinação da energia garantida para cada sistema e tempo de retorno foi realizada inicialmente determinando-se o valor de a para cada sistema. Do ábaco obteve-se o valor de μ para cada tempo de retorno analisado. Desta forma foram obtidas as energias garantidas para os sistemas SIN e S/SE considerando os três cenários de expansão e tempo de retorno estudados. A Tabela 20 apresenta estes valores.

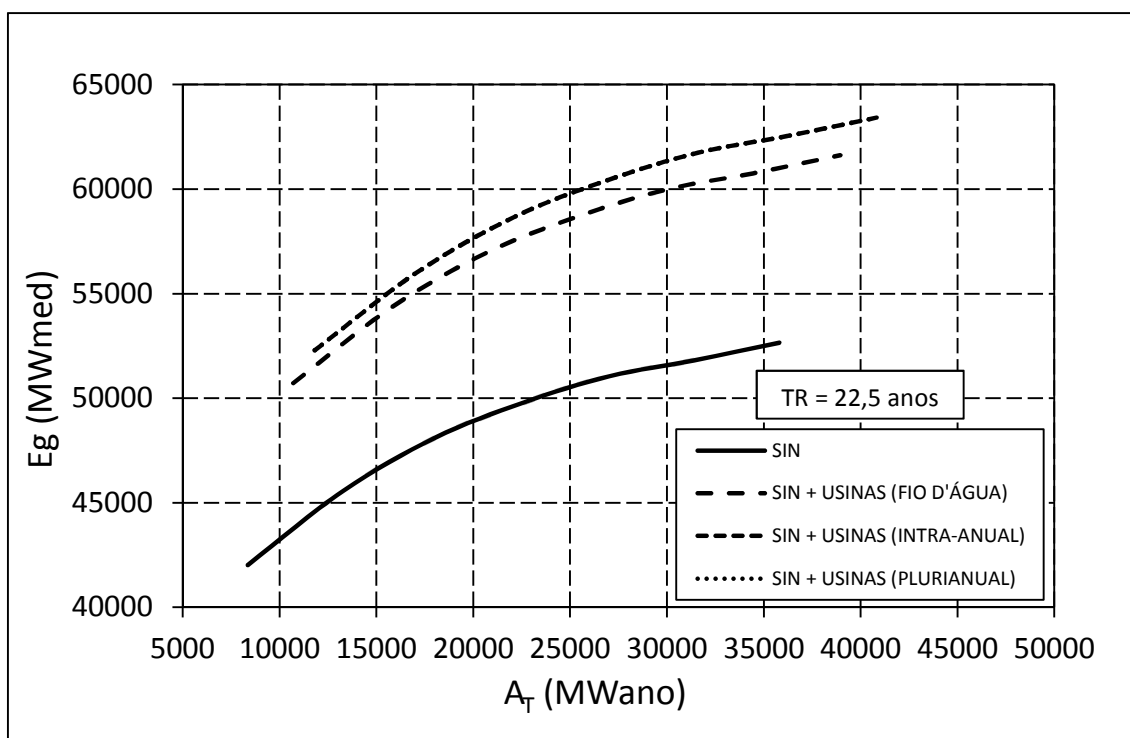


FIGURA 18 – Curva de Regularização para TR = 22,5 anos – SIN.

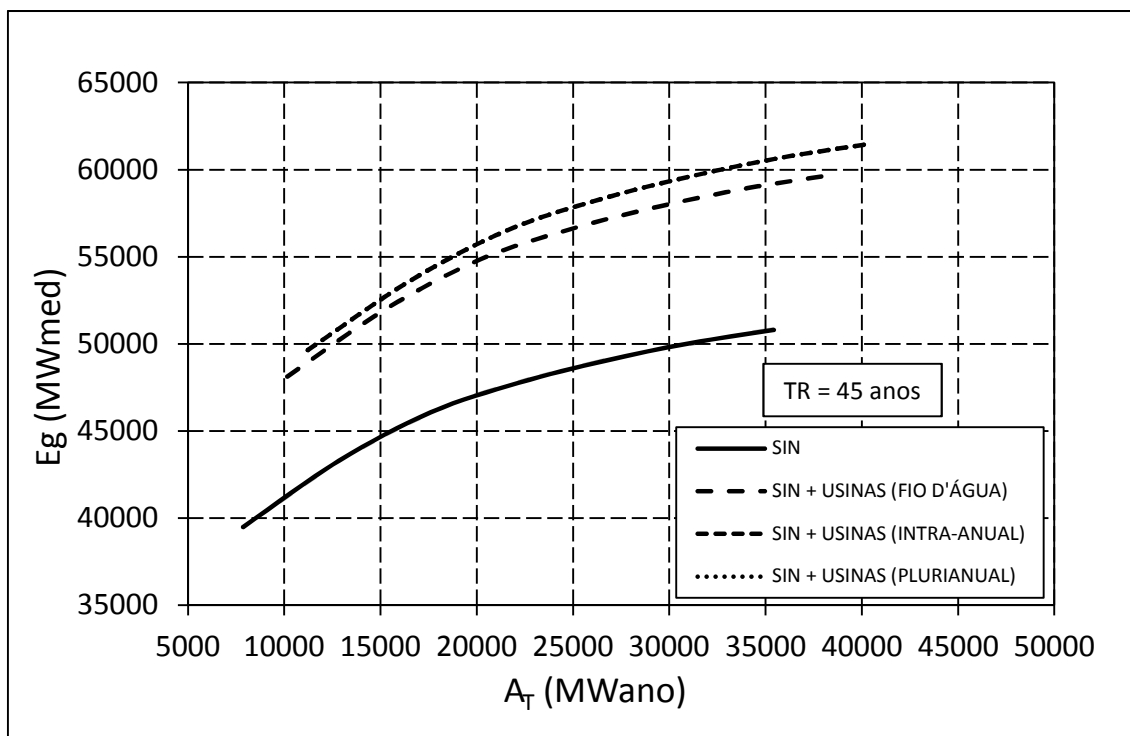


FIGURA 19 – Curva de Regularização para TR = 45 anos – SIN.

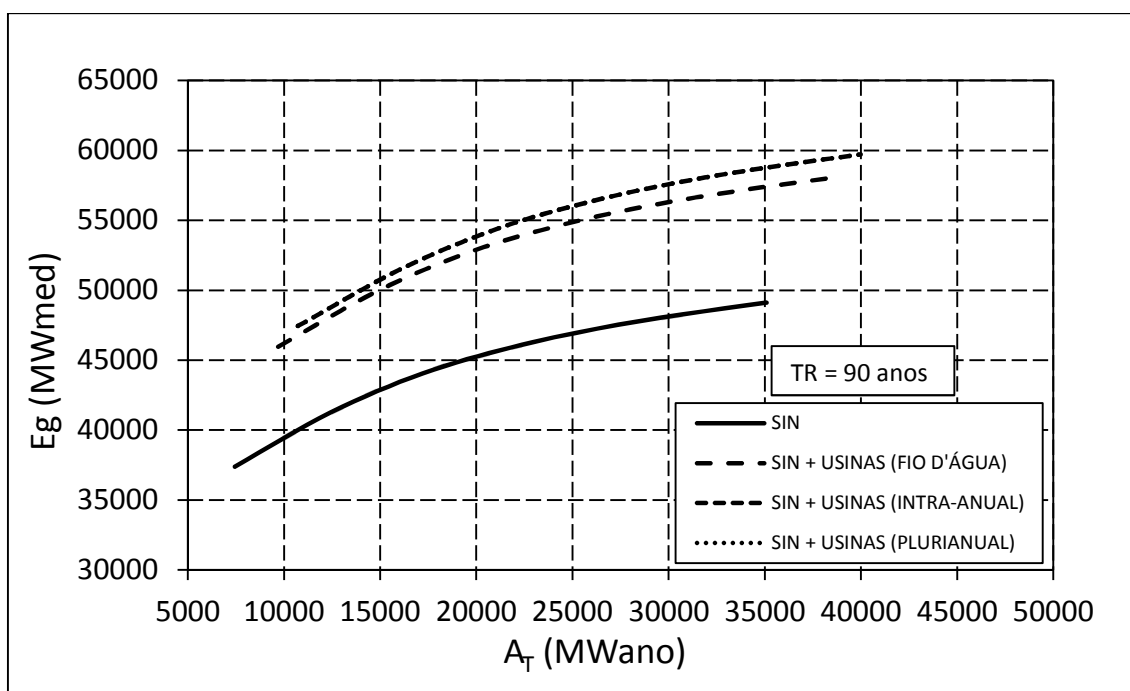


FIGURA 20 – Curva de Regularização para TR = 90 anos – SIN.

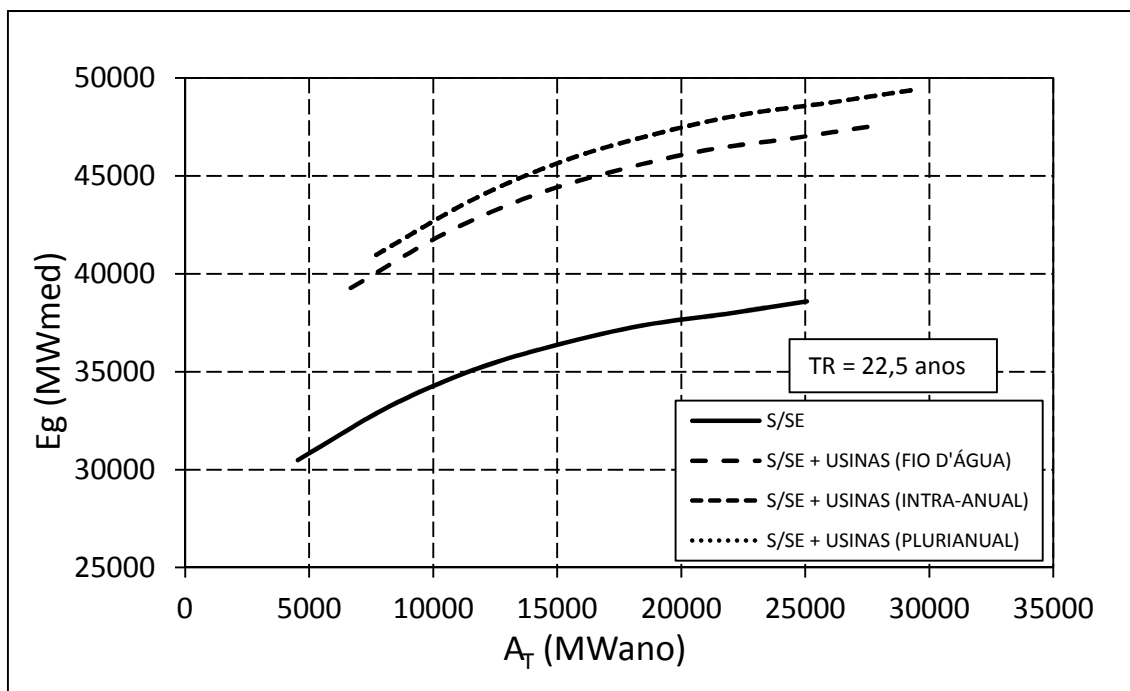


FIGURA 21 – Curva de Regularização para TR = 22,5 anos – S/SE.

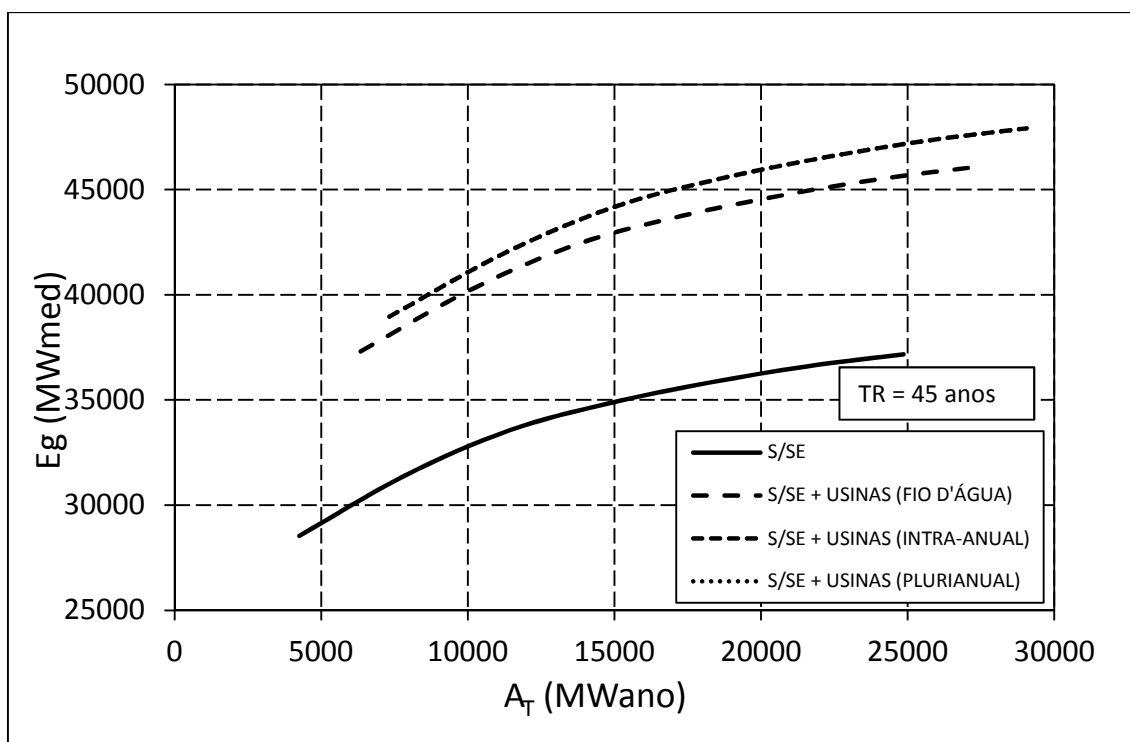


FIGURA 22 – Curva de Regularização para TR = 45 anos – S/SE.

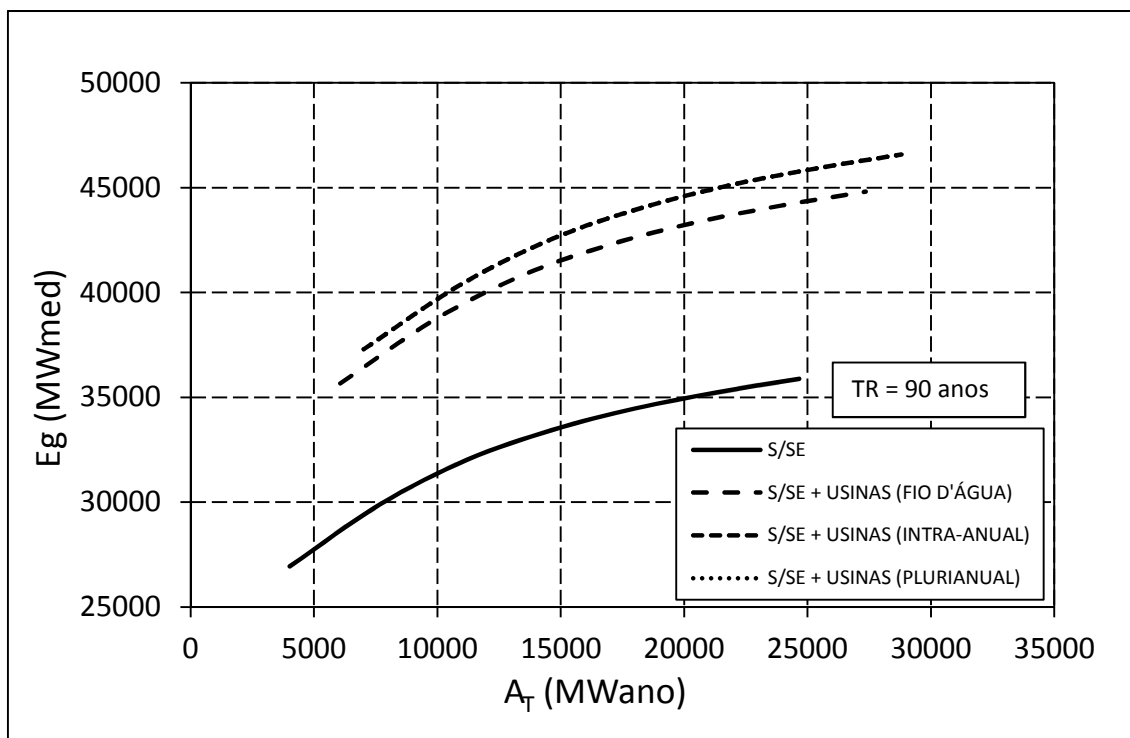


FIGURA 23 – Curva de Regularização para TR = 90 anos – S/SE.

TABELA 20 – Valores de a e μ para diferentes tempos de retorno – SIN e S/SE.

TR (anos)	EXPANSÃO	SIN				S/SE			
		E _g (MWmed)	A _T (MWano)	a	μ	E _g (MWmed)	A _T (MWano)	a	μ
22,5	BASE	49939	23100	1,56	0,56	37217	17700	1,89	0,45
	FIO D'ÁGUA	58075	23100	1,26	0,65	45372	17700	1,52	0,57
	INTRA-ANUAL	60066	25510	1,35	0,62	47457	20110	1,67	0,53
	PLURIANUAL	60578	27500	1,56	0,56	47945	21600	1,88	0,46
45	BASE	48015	23100	1,60	0,79	35717	17685	1,92	0,69
	FIO D'ÁGUA	55999	23100	1,30	0,89	43872	17721	1,56	0,80
	INTRA-ANUAL	58124	25510	1,40	0,84	45967	20135	1,72	0,75
	PLURIANUAL	58592	27500	1,61	0,79	46422	21624	1,93	0,68
90	BASE	46370	23100	1,65	0,99	34339	17673	1,95	0,90
	FIO D'ÁGUA	54096	23100	1,35	1,11	42483	17683	1,59	1,01
	INTRA-ANUAL	56225	25510	1,45	1,06	44604	20146	1,76	0,96
	PLURIANUAL	56870	27500	1,66	0,98	45005	21624	1,97	0,90

A determinação dos ganhos incrementais de energia garantida foi realizada para os valores resultantes da análise através da teoria estocástica dos reservatórios, onde verificou-se efetivo ganho incremental de energia garantida no caso de expansão através de reservatórios de regularização intra-

anual. A Tabela 21 apresenta os resultados através da teoria estocástica dos reservatórios.

TABELA 21 – Resultados – Teoria Estocástica dos Reservatórios – SIN e S/SE.

TR (anos)	EXPANSÃO	SIN				S/SE			
		Eg (MWmed)	Δ Eg (MWmed)	Δ Eg (%)	Δ Eg Inc. (%)	Eg (MWmed)	Δ Eg (MWmed)	Δ Eg (%)	Δ Eg Inc. (%)
22,5	BASE	49939	-	-	-	37217	-	-	-
	FIO D'ÁGUA	58075	8135	16,3%	-	45372	8155	21,9%	-
	INTRA-ANUAL	60066	10127	20,3%	24,5%	47457	10240	27,5%	25,6%
	PLURIANUAL	60578	10639	21,3%	5,1%	47945	10728	28,8%	4,8%
45	BASE	48015	-	-	-	35717	-	-	-
	FIO D'ÁGUA	55999	7983	16,6%	-	43872	8155	22,8%	-
	INTRA-ANUAL	58124	10108	21,1%	26,6%	45967	10250	28,7%	25,7%
	PLURIANUAL	58592	10576	22,0%	4,6%	46422	10705	30,0%	4,4%
90	BASE	46370	-	-	-	34339	-	-	-
	FIO D'ÁGUA	54096	7726	16,7%	-	42483	8145	23,7%	-
	INTRA-ANUAL	56225	9856	21,3%	27,6%	44604	10265	29,9%	26,0%
	PLURIANUAL	56870	10500	22,6%	6,5%	45005	10666	31,1%	3,9%

4.3.6. Método de Fill

Para a análise através do Método proposto por FILL (1986), foram calculados os coeficientes α , β , ϕ para a determinação dos valores dos coeficientes K_1 , K_2 e K_3 (ver item 3.3.1.1), considerando as características dos sistemas hidrelétricos adotados e os tempos de retorno adotados na análise probabilística.

A determinação do coeficiente de regularização intra-anual (ϕ) utilizado no cálculo considerou o valor médio (ϕ_m) entre os coeficientes das séries de cada sistema, como apresentado na Tabela 22.

TABELA 22 – Coeficientes de Regularização Intra-Anual Médio – SIN e S/SE.

SÉRIE	ϕ	ϕ_m
SIN	0,199	0,212
SIN + USINAS CENSURADAS	0,211	
SIN + USINAS	0,226	
S/SE	0,149	0,169
S/SE + USINAS CENSURADAS	0,170	
S/SE + USINAS	0,188	

Com os valores de ϕ_m para os sistemas SIN e S/SE, e considerando-se o ábaco definido neste estudo para $\rho = 0,40$ e $\gamma = 0,30$ o qual definiu a relação $Tr = F(\mu, a)$, pode-se para os tempos de retorno estudados ($TR = 22,5, 45$ e 90 anos) e fixando-se valores de a e μ , ajustar de modo satisfatório uma curva exponencial e definir α e β . A Tabela 23 apresenta os resultados.

TABELA 23 – Coeficientes α e β para diferentes TR – SIN e S/SE.

SISTEMA	TR (anos)	α	β
SIN	22,5	1,4587	0,600
	45	1,6883	0,451
	90	1,9185	0,374
S/SE	22,5	1,4587	0,600
	45	1,6883	0,451
	90	1,9185	0,374

Definidos os parâmetros necessários, os coeficientes K_1 , K_2 e K_3 foram calculados conforme equação 55. O ANEXO 6 apresenta os ajustes exponenciais e os coeficientes adimensionais K_1 , K_2 e K_3 tabelados em função de diversos armazenamentos equivalente do sistema.

Sendo $a = (A_{m\acute{a}x} - \phi E_g) / \sigma$ e $\mu = (\bar{E} - E_g) / \sigma$ foram definidas as energias garantidas para SIN e S/SE para diferentes tempos de retorno, cujos resultados são apresentados na Tabela 24.

TABELA 24 – Energia garantida Método de Fill – SIN e S/SE.

SISTEMA	\bar{E} (MWmed)	σ (MWmed)	ϕ	a	μ	A (MWano)	TR (anos)	E_g (MWmed)
SIN	54682	8439	0,199	1,56	0,56	23100	22,5	49939
				1,60	0,79	23100	45	48015
				1,65	0,99	23100	90	46370
S/SE	40134	6439	0,149	1,89	0,45	17700	22,5	37217
				1,92	0,69	17700	45	35717
				1,95	0,90	17700	90	34339

Para os cenários avaliados, e considerando o coeficiente de correlação (ρ) entre as séries dos sistemas e das usinas, obteve-se a energia garantida incremental para diferentes tempos de retorno. As Tabelas 25 e 26 apresentam os resultados respectivamente para o SIN e S/SE.

TABELA 25 – Método de Fill – Energia Garantida Incremental – SIN.

TR (anos)	EXPANSÃO	Au (Mwano)	Ēu (MWmed)	σ (MWmed)	ρ	K ₁	K ₂	K ₃	Eg (MWmed)	Δ Eg (MWmed)
22,5	FIO D'ÁGUA	0	9009	700	0,22	0,936	1,009	0,304	49939	8271
	INTRA-ANUAL	2410	10842	1397	0,17					10631
	PLURIANUAL	4400								11237
45	FIO D'ÁGUA	0	9009	700	0,22	0,929	1,299	0,336	48015	8166
	INTRA-ANUAL	2410	10842	1397	0,17					10564
	PLURIANUAL	4400								11233
90	FIO D'ÁGUA	0	9009	700	0,22	0,924	1,547	0,358	46370	8086
	INTRA-ANUAL	2410	10842	1397	0,17					10507
	PLURIANUAL	4400								11219

TABELA 26 – Método de Fill – Energia Garantida Incremental – S/SE.

TR (anos)	EXPANSÃO	Au (Mwano)	Ēu (MWmed)	σ (MWmed)	ρ	K ₁	K ₂	K ₃	Eg (MWmed)	Δ Eg (MWmed)
22,5	FIO D'ÁGUA	0	9009	700	0,11	0,956	0,939	0,260	37217	8542
	INTRA-ANUAL	2410	10842	1397	0,06					10920
	PLURIANUAL	4400								11437
45	FIO D'ÁGUA	0	9009	700	0,11	0,949	1,250	0,300	35717	8457
	INTRA-ANUAL	2410	10842	1397	0,06					10919
	PLURIANUAL	4400								11516
90	FIO D'ÁGUA	0	9009	700	0,11	0,945	1,512	0,327	34339	8396
	INTRA-ANUAL	2410	10842	1397	0,06					10914
	PLURIANUAL	4400								11565

A Tabela 27 abaixo sintetiza os resultados através do Método de Fill e apresenta os ganhos incrementais percentuais para os sistemas em análise, onde verifica-se evidente ganho incremental através da expansão através de reservatórios de regularização intra-anual.

TABELA 27 – Resultados – Método de Fill – SIN e S/SE.

TR (anos)	EXPANSÃO	SIN				S/SE			
		Eg (MWmed)	Eg Inc. (MWmed)	Eg Inc. (%)	Δ Eg Inc. (%)	Eg (MWmed)	Eg Inc. (MWmed)	Eg Inc. (%)	Δ Eg Inc. (%)
22,5	BASE	49939	-	-	-	37217	-	-	-
	FIO D'ÁGUA	58211	8271	16,6%	-	45759	8542	23,0%	-
	INTRA-ANUAL	60571	10631	21,3%	28,5%	48137	10920	29,3%	27,8%
	PLURIANUAL	61176	11237	22,5%	5,7%	48654	11437	30,7%	4,7%
45	BASE	48015	-	-	-	35717	-	-	-
	FIO D'ÁGUA	56181	8166	17,0%	-	44174	8457	23,7%	-
	INTRA-ANUAL	58580	10564	22,0%	29,4%	46636	10919	30,6%	29,1%
	PLURIANUAL	59248	11233	23,4%	6,3%	47233	11516	32,2%	5,5%
90	BASE	46370	-	-	-	34339	-	-	-
	FIO D'ÁGUA	54455	8086	17,4%	-	42735	8396	24,5%	-
	INTRA-ANUAL	56876	10507	22,7%	29,9%	45253	10914	31,8%	30,0%
	PLURIANUAL	57588	11219	24,2%	6,8%	45904	11565	33,7%	6,0%

4.3.7. Método de Monte Carlo

A seguir são apresentadas as premissas para elaboração do modelo de geração de séries sintéticas bem como verificação e validação do mesmo. Em seguida são apresentados os resultados da análise probabilística através do Método de Monte Carlo para os sistemas SIN e S/SE e os cenários de expansão.

4.3.7.1. Geração de séries sintéticas

A geração das séries sintéticas anuais foi realizada através de formulação de um modelo computacional no programa Matlab. Como já apresentado, foi adotado um modelo auto-regressivo de 1ª ordem AR(1) e distribuição marginal de probabilidades Log-Normal de 3 parâmetros (LN3), o qual se mostrou adequado aos fins deste trabalho. Todos algoritmos computacionais formulados neste estudo são apresentados no ANEXO 7.

Para cada sistema e cenário de expansão foram geradas 1000 séries de energias médias anuais com 50 anos de extensão, número considerado adequado para os fins deste estudo.

4.3.7.2. Desagregação das Séries anuais em Mensais

Neste trabalho foi utilizado o modelo de desagregação através de cenários hidrológicos, proposto por GROSZEWICZ et al. (1991). Este método de desagregação foi comparado por GROSZEWICZ et al. (1991) com outros métodos clássicos como o método de Valência e Schaake descrito por KELMAN (1987) apresentando resultados equivalentes.

Foi calculada para cada ano da série histórica a razão entre as energias naturais médias mensais e a média anual obtendo-se então 50 cenários de coeficientes de desagregação cada um constituído por um vetor com 12 elementos.

A partir da série sintética de energia natural anual gerada, sorteou-se para cada ano um desses cenários e obtiveram-se as energias naturais mensais.

4.3.7.3. Verificação e Validação do Modelo

A adequação do modelo foi analisada sob dois aspectos:

- reprodução dos parâmetros básicos utilizados na geração das séries;
- similaridade com a série histórica no que tange a características relevantes.

O primeiro aspecto essencialmente serve para confirmar que o modelo de geração esteja corretamente programado, ou seja, que reproduza as estatísticas que é suposto reproduzir.

Para a verificação e validação do modelo foi adotado o sistema SIN, realizando a análise para as séries sintéticas geradas para este sistema. A Tabela 28 apresenta a média dos parâmetros resultantes para as 1000 séries sintéticas médias anuais geradas e para a série histórica.

TABELA 28 – Parâmetros das séries sintéticas e histórica – SIN.

PARÂMETRO	SÉRIES SINTÉTICAS	SÉRIE HISTÓRICA
MÉDIA (MW _{med})	54764	54682
DESVIO (MW _{med})	8617	8439
ASSIMETRIA	0,67	0,32
COEF. DE VARIAÇÃO	0,16	0,15
AUTOCORRELAÇÃO	0,37	0,42

A análise dos parâmetros das séries sintéticas foi realizada ajustando-se uma distribuição normal padrão e comparando-se com o valor da série histórica. As Figuras 24 a 28 apresentam esta análise para respectivamente média, desvio padrão, assimetria, coeficiente de variação e coeficiente de autocorrelação.

Observa-se que os valores da série histórica situam-se dentro de uma faixa razoável da distribuição amostral, o que indica que o modelo de geração preserva razoavelmente os quatro parâmetros básicos do modelo estocástico especificado. Este comportamento era esperado dado que o modelo foi construído a partir destas características da série histórica.

Para validar o modelo, calculou-se o máximo déficit acumulado tanto para as séries sintéticas como para a série histórica. A escolha desta estatística foi devido ao fato dela ser a característica mais relevante em estudos de regularização pois representa o armazenamento necessário para garantir uma determinada demanda. No caso a demanda foi arbitrariamente fixada em 80% da energia média.

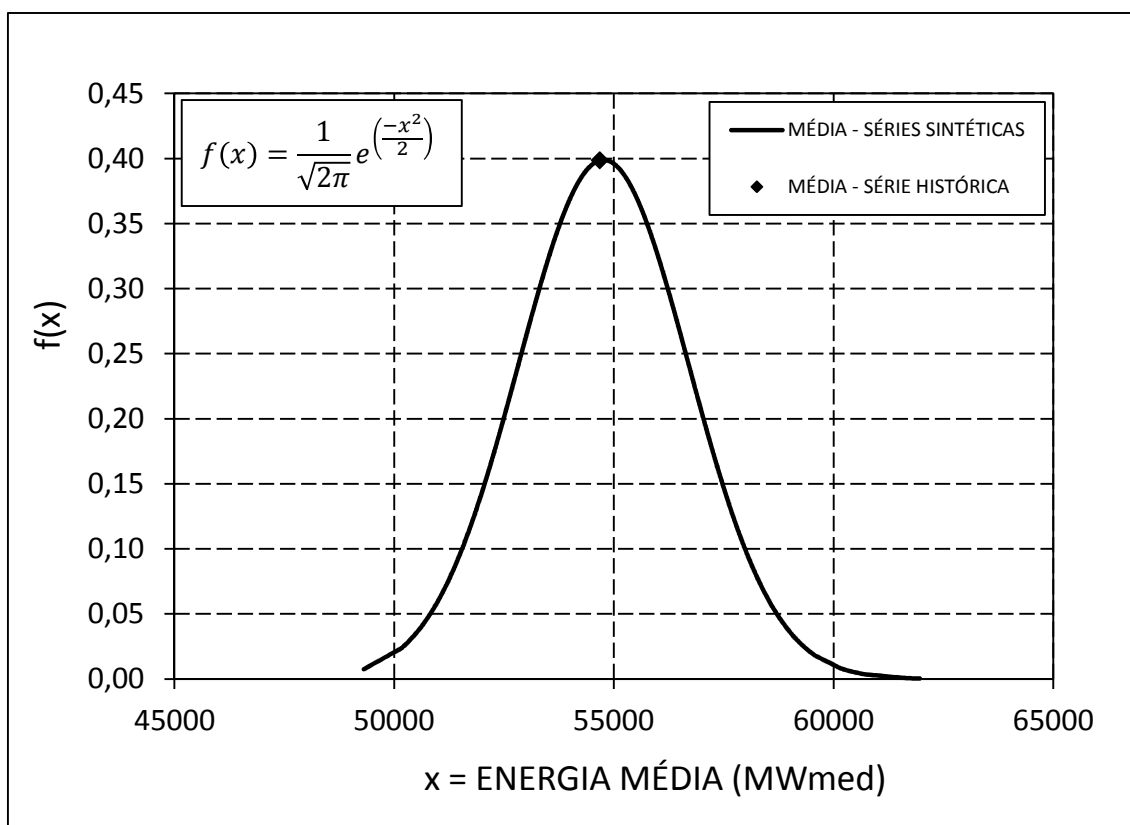


FIGURA 24 – Média – Séries Sintéticas e Histórica – SIN.

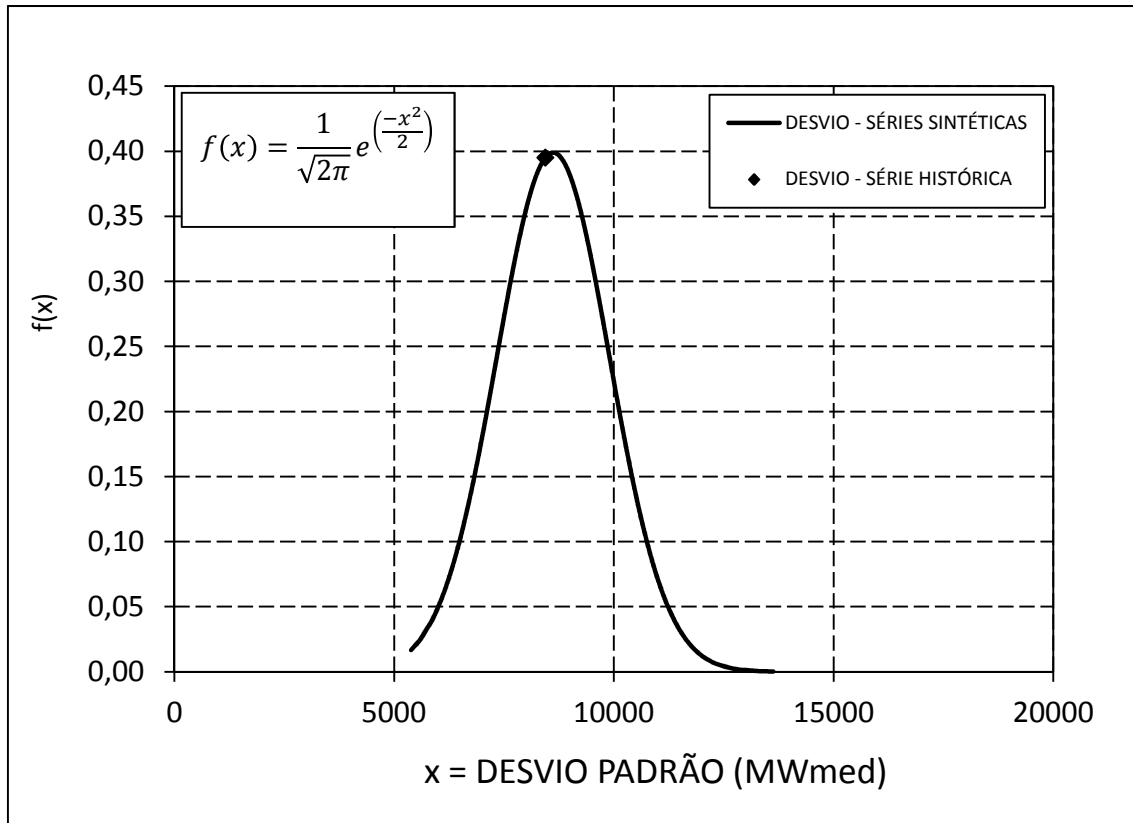


FIGURA 25 – Desvio Padrão – Séries Sintéticas e Histórica – SIN.

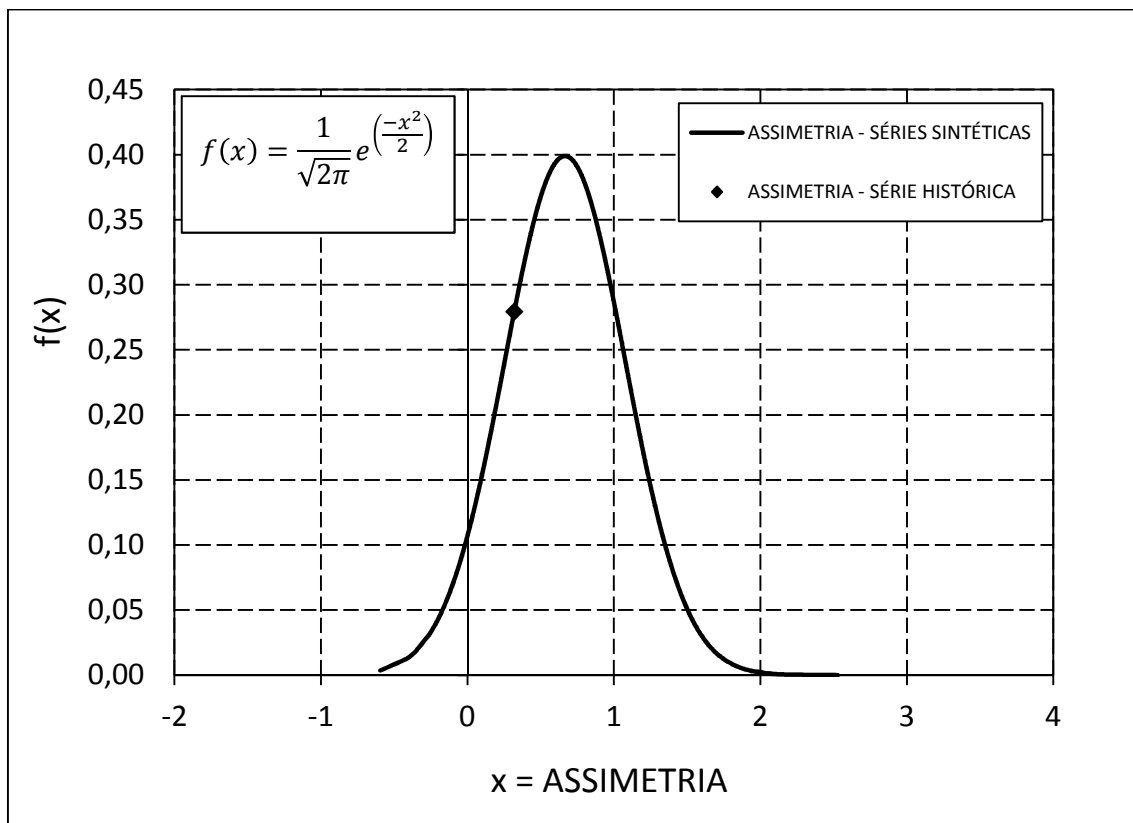


FIGURA 26 – Assimetria – Séries Sintéticas e Histórica – SIN.

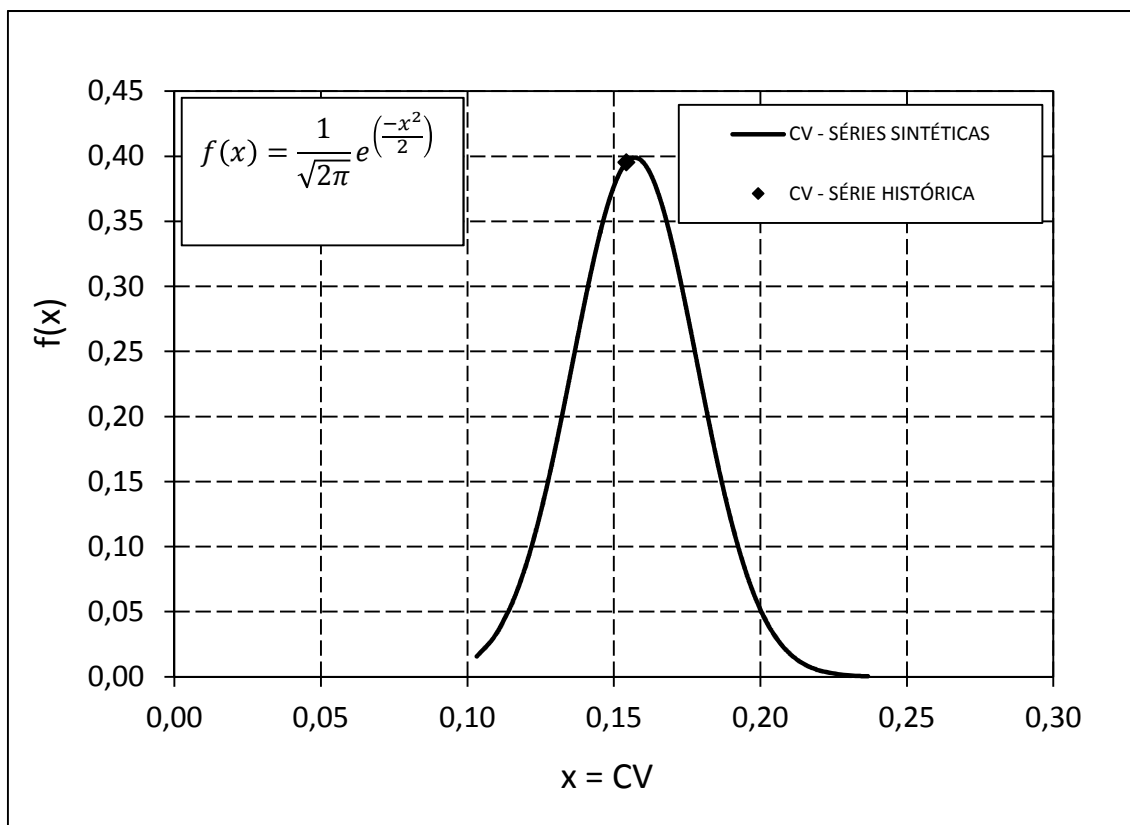


FIGURA 27 – Coeficiente de Variação – Séries Sintéticas e Histórica – SIN.

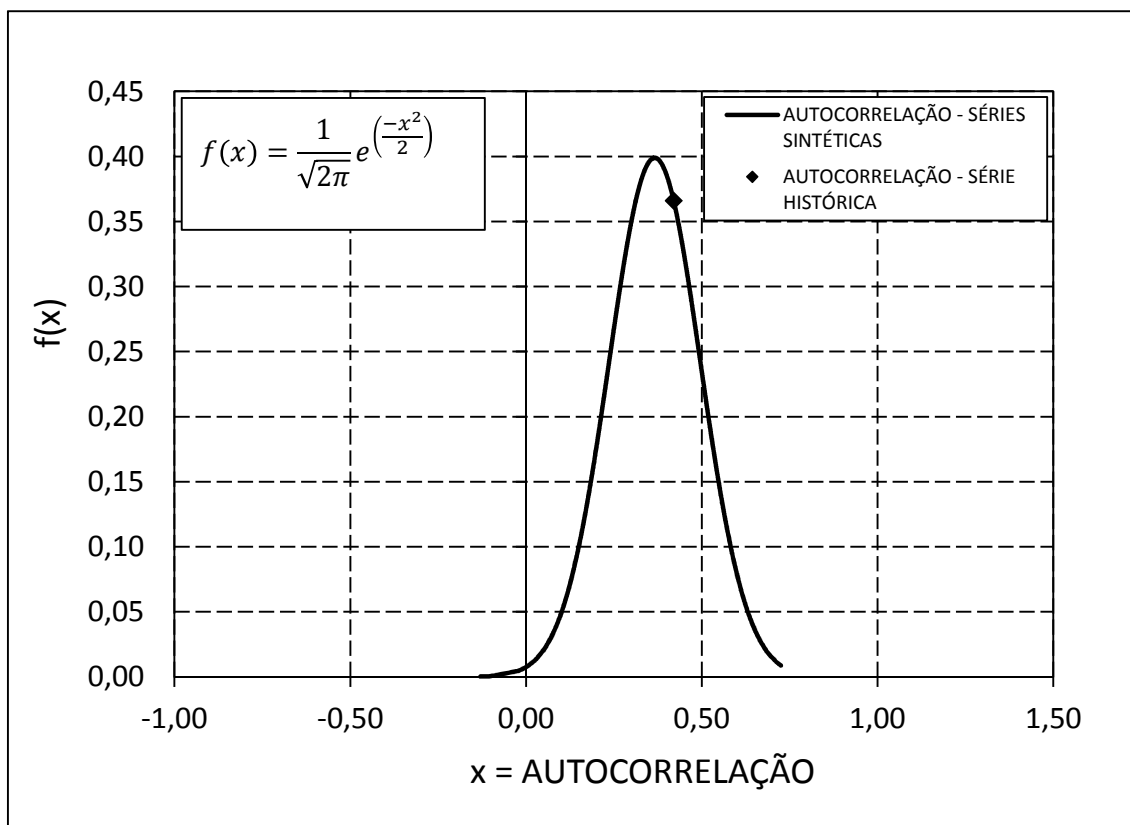


FIGURA 28 – Coeficiente de Autocorrelação – Séries Sintéticas e Histórica – SIN.

A Figura 29 mostra a comparação do máximo déficit acumulado das séries sintéticas e da série histórica onde verifica-se um excelente ajuste entre os valores resultantes desta análise para as séries em questão.

Desta forma, sob o ponto de vista do máximo déficit acumulado, a série histórica pode ser considerada estatisticamente indistinguível das séries sintéticas o que valida o modelo de geração de séries sintéticas para as finalidades dessa dissertação.

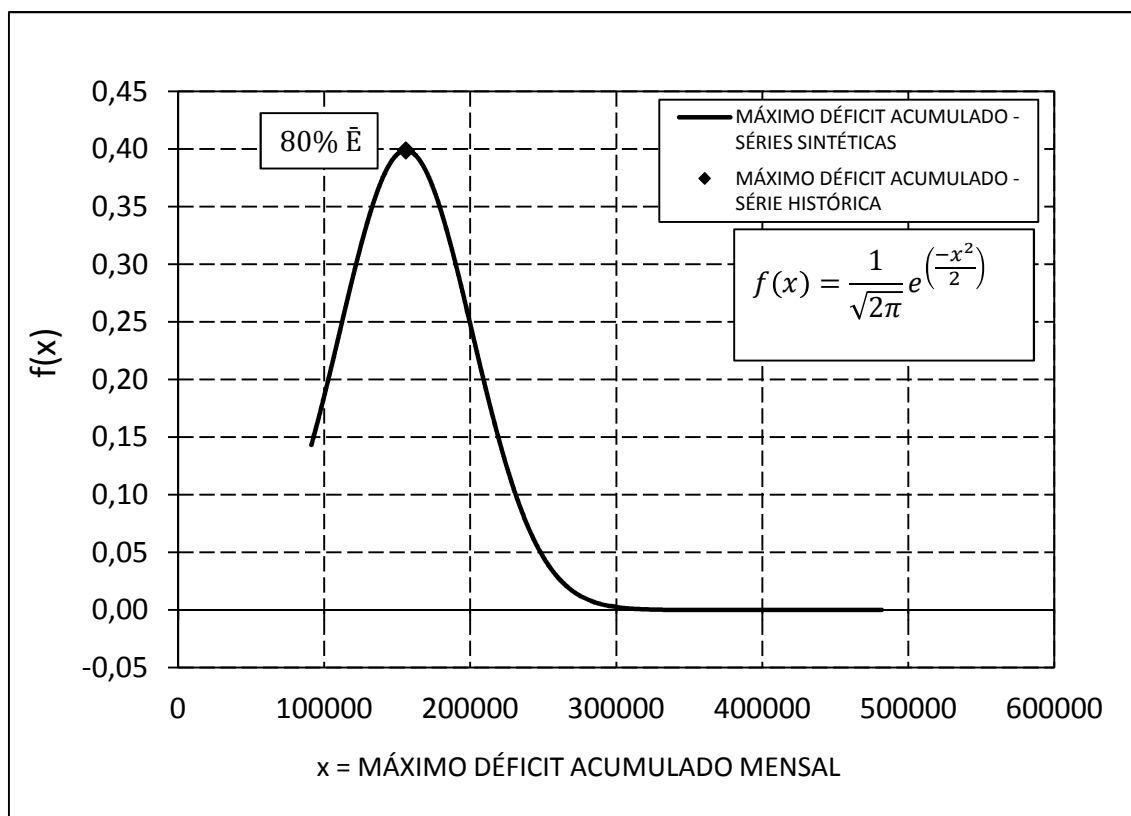


FIGURA 29 – Máximo Déficit Acumulado Mensal – Séries Sintéticas e Histórica – SIN.

4.3.7.4. Determinação das curvas de regularização

As curvas de regularização para os sistemas estudados foram elaboradas simulando-se as séries sintéticas geradas para diferentes armazenamentos, obtendo-se assim séries de energias garantidas associadas à cada armazenamento. Ordenando-se os valores, obteve-se a energia

garantida associada à um determinado tempo de recorrência e obviamente um determinado armazenamento.

A Tabela 29 abaixo apresenta os resultados para o SIN e as Figuras 30, 31 e 32 representam as curvas de regularização obtidas para este sistema e os cenários de expansão adotados através do presente Método de Monte Carlo.

De maneira análoga obteve-se para o S/SE as curvas de regularização. A Tabela 30 apresenta as energias garantidas associadas aos armazenamentos e tempos de recorrência adotados para a construção das curvas, e as Figuras 33, 34 e 35 representam as curvas de regularização obtidas.

TABELA 29 – Curva de Regularização – Método de Monte Carlo – SIN.

TR (anos)	ARMAZENAMENTO (MWano)	SISTEMA / ENERGIA GARANTIDA (MWmed)			
		BASE	FIO D'ÁGUA	INTRA-ANUAL	PLURIANUAL
22,5	0	19391	21744	21905	21905
	10000	44418	50364	50579	50579
	20000	49808	57778	59150	59150
	30000	52156	60528	62057	62057
	40000	53625	62159	63782	63782
	50000	54663	63359	65040	65040
	100000	56917	65998	67826	67826
45	0	18118	20483	20530	20530
	10000	42979	48814	48704	48704
	20000	48161	55983	57045	57045
	30000	50427	58740	60048	60048
	40000	51929	60418	61879	61879
	50000	53003	61589	63170	63170
	100000	55169	64133	65948	65948
90	0	17158	19649	19495	19495
	10000	41698	47565	47173	47173
	20000	46603	54502	55388	55388
	30000	48953	57164	58333	58333
	40000	50465	58849	60168	60168
	50000	51608	60116	61541	61541
	100000	53972	62918	64660	64660

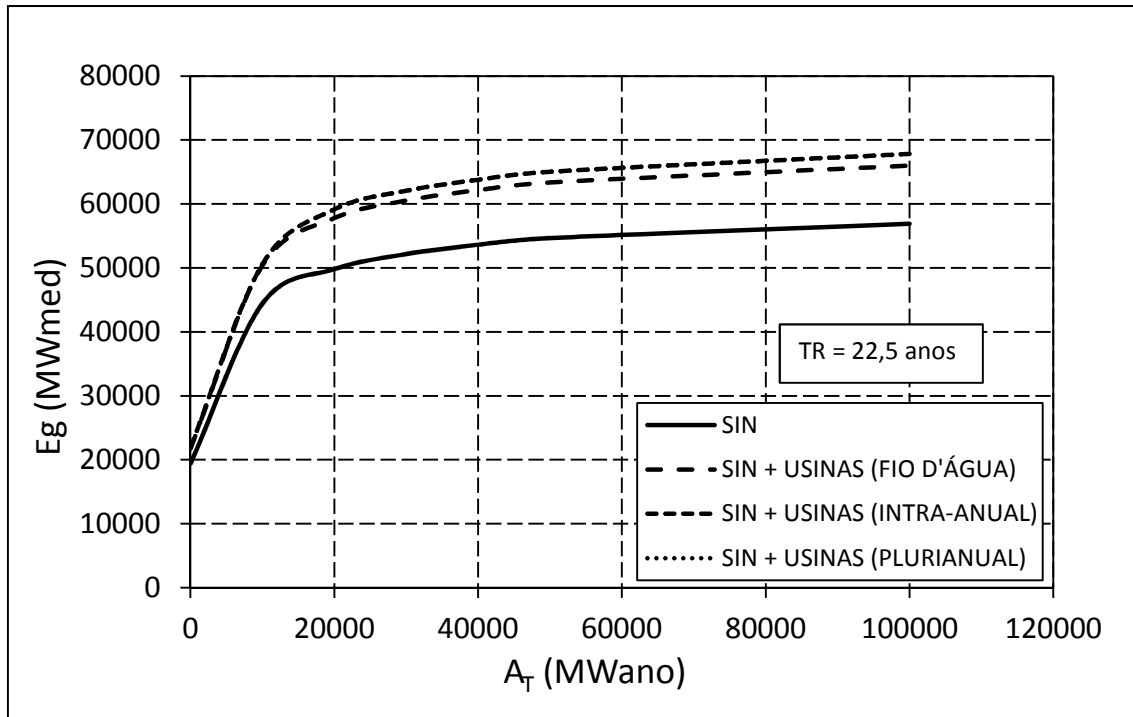


FIGURA 30 – Curva de Regularização para TR = 22,5 anos – SIN.

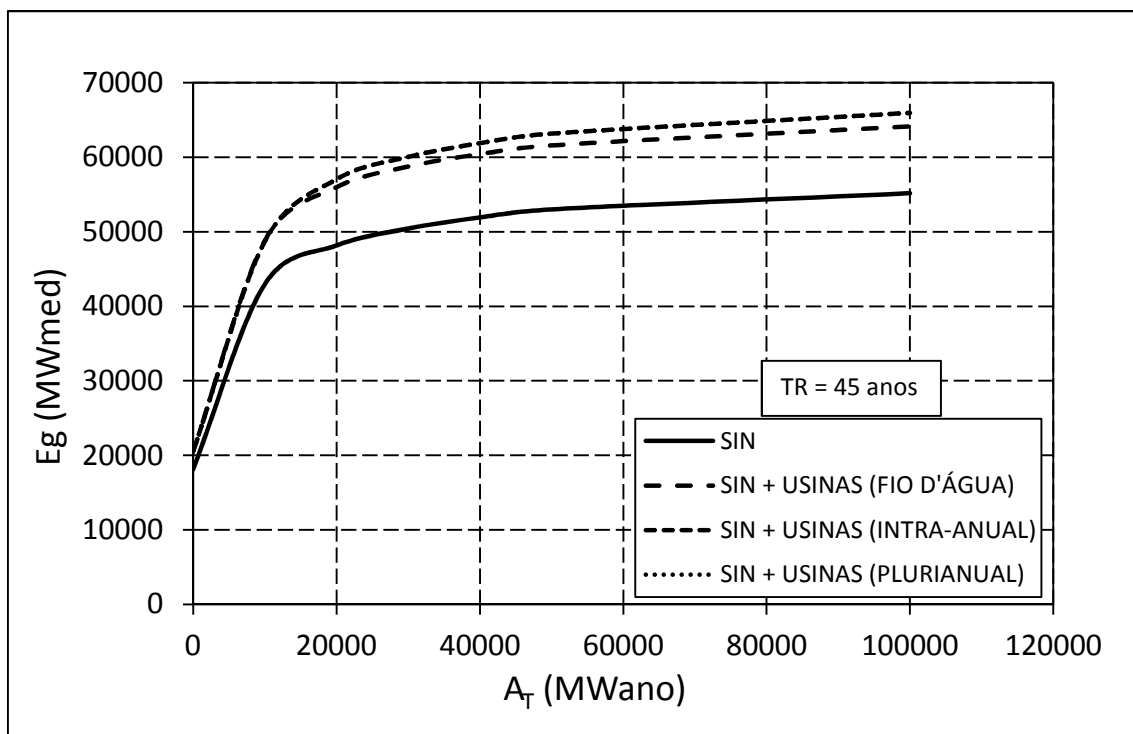


FIGURA 31 – Curva de Regularização para TR = 45 anos – SIN.

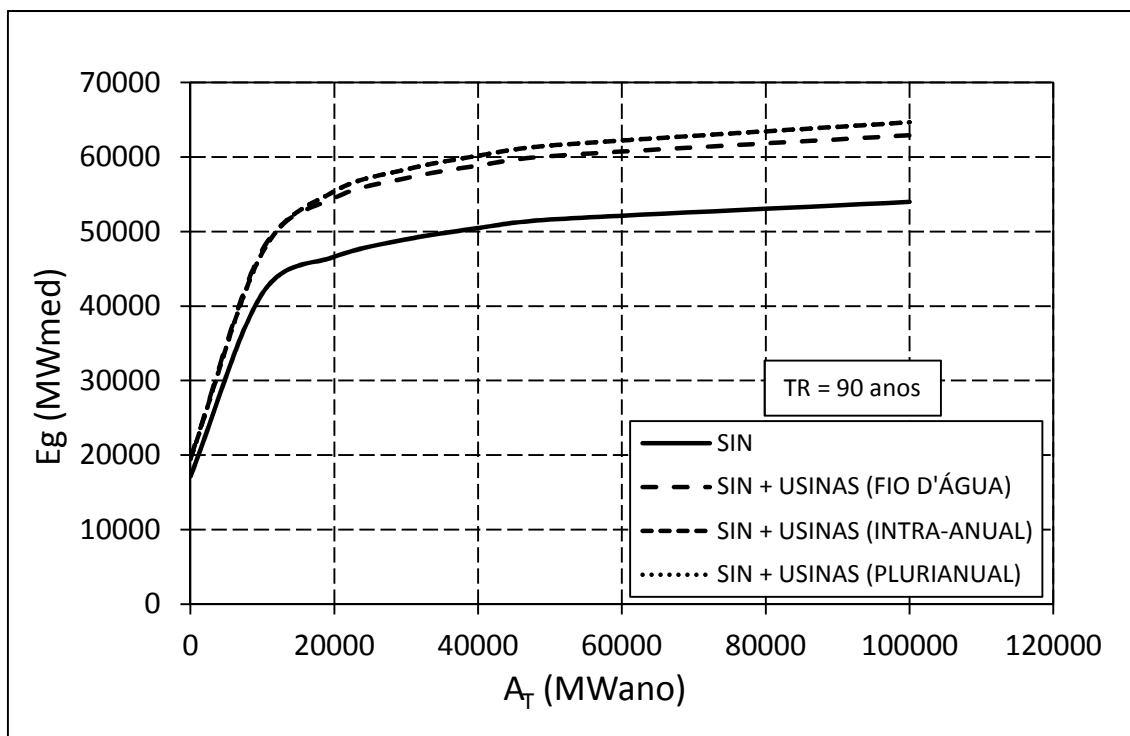


FIGURA 32 – Curva de Regularização para TR = 90 anos – SIN.

TABELA 30 – Curva de Regularização – Método de Monte Carlo – S/SE

TR (anos)	ARMAZENAMENTO (MWano)	SISTEMA / ENERGIA GARANTIDA (MWmed)			
		BASE	FIO D'ÁGUA	INTRA-ANUAL	PLURIANUAL
22,5	0	15176	17765	17724	17724
	10000	35002	42439	43249	43249
	20000	38092	46643	48021	48021
	30000	39676	48305	49964	49964
	40000	40533	49393	51133	51133
	50000	41150	50036	51819	51819
	100000	41791	50872	52787	52787
45	0	14251	16773	16490	16490
	10000	33660	41108	41768	41768
	20000	36826	45143	46464	46464
	30000	38448	47028	48540	48540
	40000	39386	48168	49777	49777
	50000	39997	48877	50552	50552
	100000	40708	49722	51581	51581
90	0	13489	15849	15636	15636
	10000	32688	39904	40446	40446
	20000	35806	43948	45116	45116
	30000	37401	45885	47244	47244
	40000	38463	47073	48556	48556
	50000	39105	47852	49496	49496
	100000	39854	48848	50683	50683

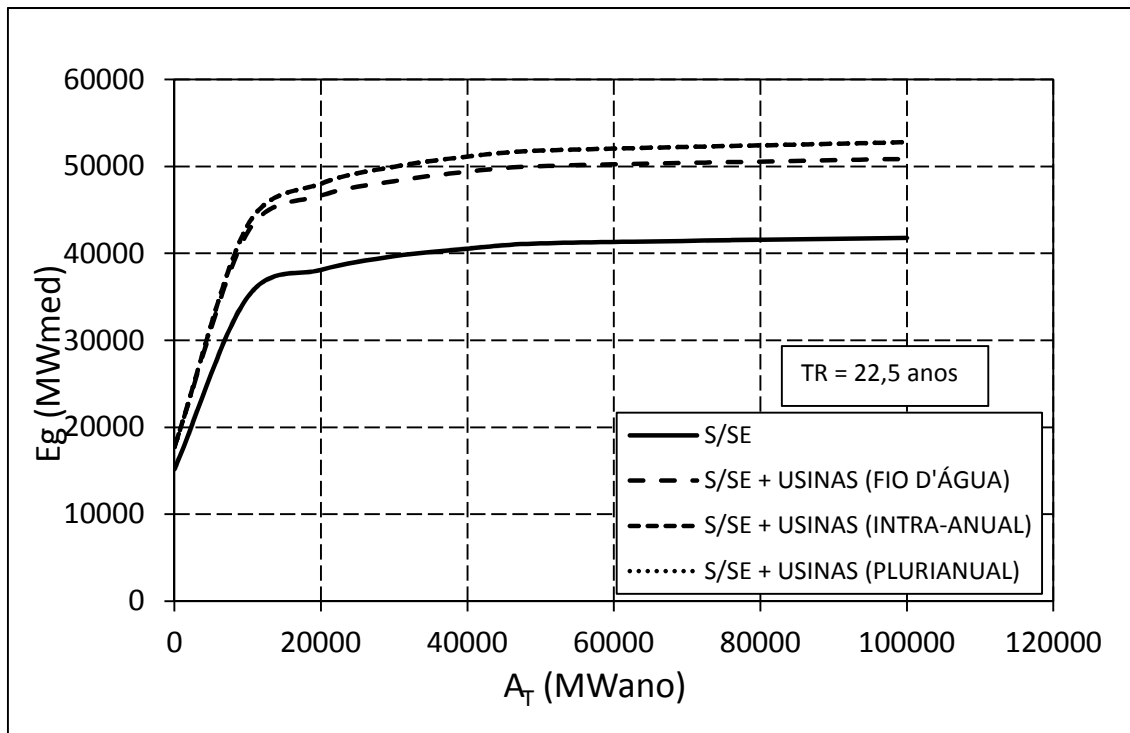


FIGURA 33 – Curva de Regularização para TR = 22,5 anos – S/SE.

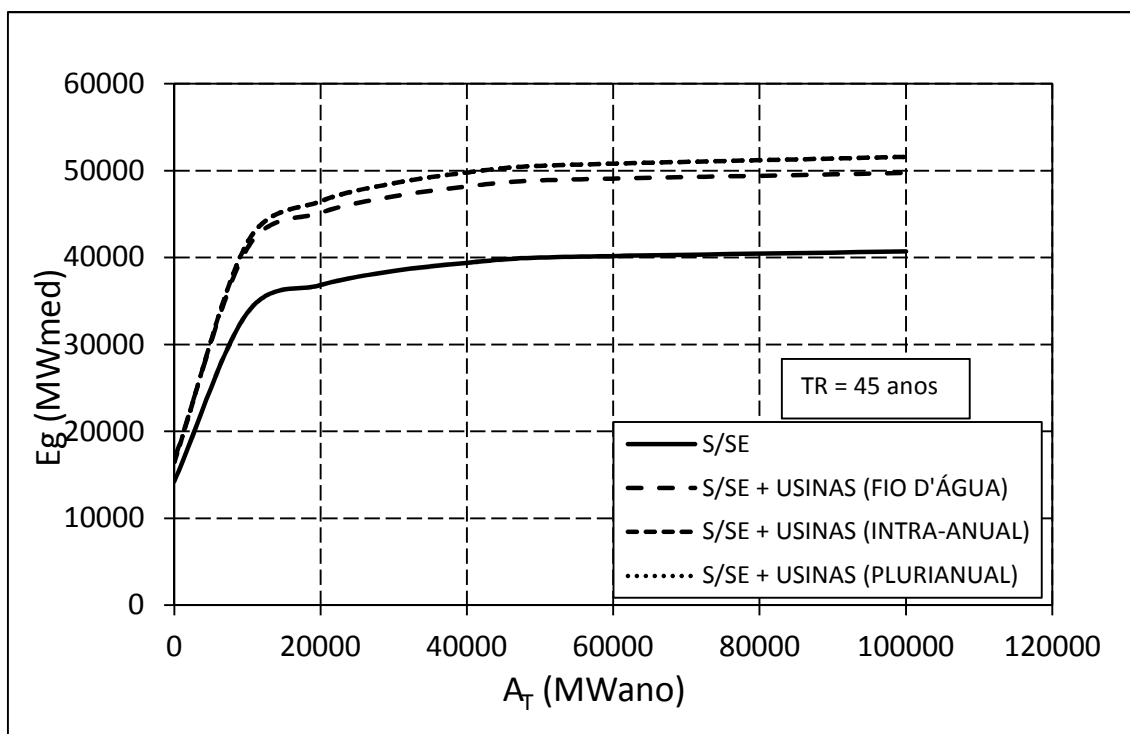


FIGURA 34 – Curva de Regularização para TR = 45 anos – S/SE.

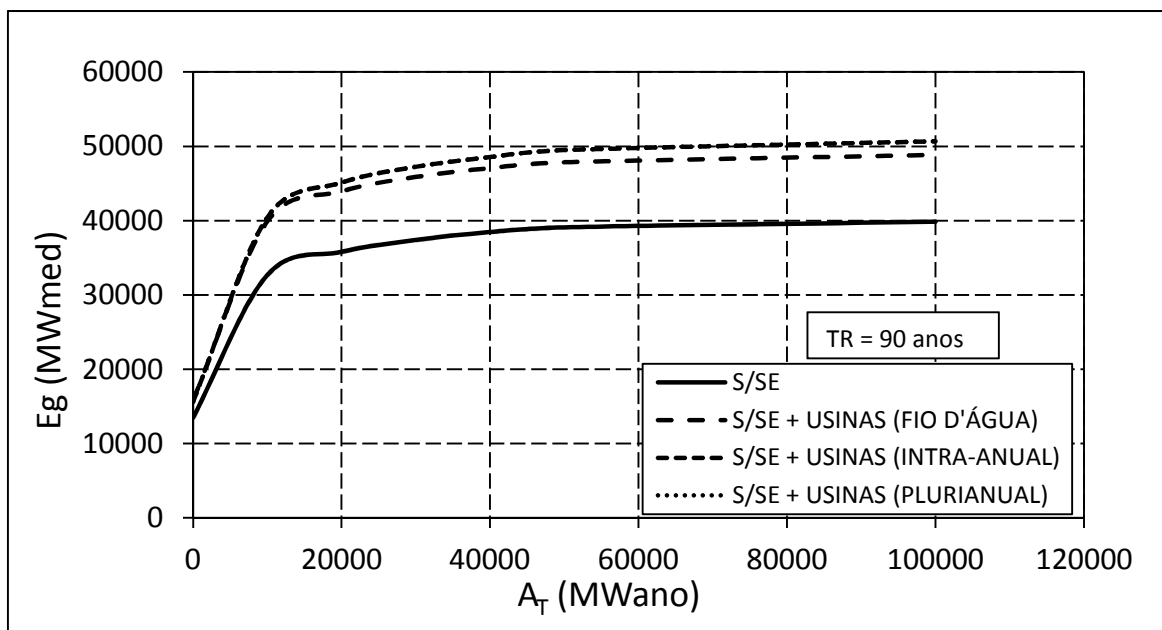


FIGURA 35 – Curva de Regularização para TR = 90 anos – S/S

Para a determinação dos ganhos de energia garantida entre os cenários de expansão, as séries sintéticas geradas foram simuladas para cada armazenamento associado ao respectivo caso de expansão.

As Figuras 36 e 37 apresentam o ajuste resultante para as energias garantidas resultantes destas simulações para respectivamente SIN e S/SE. A Tabela 31 apresenta os resultados obtidos através do Método de Monte Carlo para os sistemas em questão. Verifica-se um ganho de energia incremental considerável através da expansão com regularização intra-anual e comparação com a expansão através de regularização plurianual.

TABELA 31 – Resultados – Método de Monte Carlo – SIN e S/SE.

TR (anos)	EXPANSÃO	SIN				S/SE			
		Eg (MWmed)	Δ Eg (MWmed)	Δ Eg (%)	Δ Eg Inc. (%)	Eg (MWmed)	Δ Eg (MWmed)	Δ Eg (%)	Δ Eg Inc. (%)
22,5	BASE	50605	-	-	-	37621	-	-	-
	FIO D'ÁGUA	58851	8246	16,3%	-	45978	8357	22,2%	-
	INTRA-ANUAL	60992	10387	20,5%	26,0%	48063	10442	27,8%	24,9%
	PLURIANUAL	61437	10832	21,4%	4,3%	48455	10834	28,8%	3,8%
45	BASE	49005	-	-	-	36302	-	-	-
	FIO D'ÁGUA	56966	7961	16,2%	-	44537	8235	22,7%	-
	INTRA-ANUAL	58890	9885	20,2%	24,2%	46487	10185	28,1%	23,7%
	PLURIANUAL	59461	10456	21,3%	5,8%	46887	10585	29,2%	3,9%
90	BASE	47472	-	-	-	35317	-	-	-
	FIO D'ÁGUA	55553	8081	17,0%	-	43279	7962	22,5%	-
	INTRA-ANUAL	57191	9719	20,5%	20,3%	45146	9829	27,8%	23,4%
	PLURIANUAL	57747	10275	21,6%	5,7%	45551	10234	29,0%	4,1%

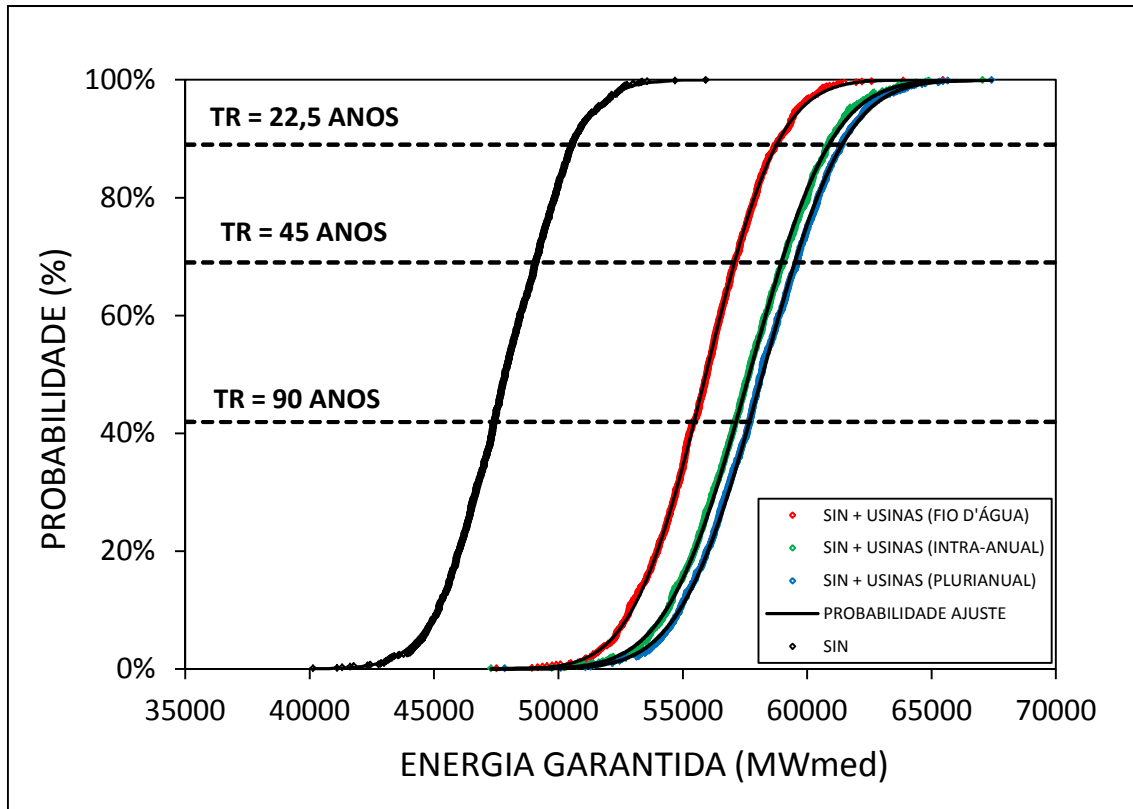


FIGURA 36 – Energia Garantida – Series Sintéticas – SIN.

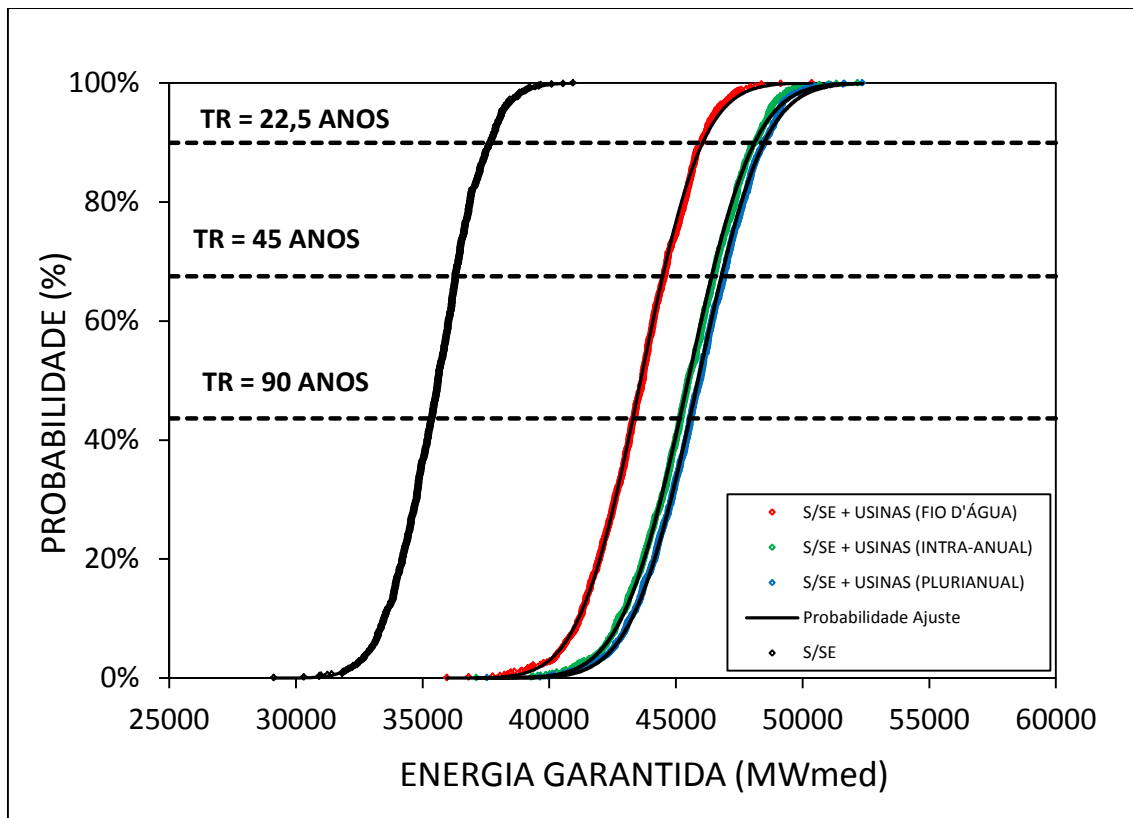


FIGURA 37 – Energia Garantida – Series Sintéticas – S/SE.

4.4. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Com o intuito de estabelecer uma comparação entre os métodos utilizados neste estudo, a Tabela 32 apresenta para os cenários vinculados ao SIN um resumo dos resultados finais obtidos através da análise determinística (série histórica), bem como através dos três métodos estocásticos utilizados para determinação da energia garantida associada aos tempos de recorrência selecionados (22,5; 45; 90 anos).

As Figuras 38 a 40 apresentam um comparativo entre os ganhos de energia garantida (ΔE_g) obtidos pelos diferentes cenários de expansão e tempos de recorrência nos diferentes métodos, e ainda faz um comparativo com a energia firme. Como observado, a diferença entre os métodos Monte Carlo e teoria estocástica clássica não é relevante em termos práticos, porém observa-se que o Método de Fill de maneira geral apresenta valores maiores, presumivelmente devido as aproximações que este método considera.

De maneira análoga ao apresentado para o SIN, a Tabela 33 sintetiza os resultados para o S/SE também obtidos através dos métodos utilizados neste estudo. As Figuras 41 a 43 apresentam os ganhos de energia garantida (ΔE_g) onde verifica-se novamente que os métodos empregados não deferem substancialmente entre si, com leve tendência do Método de Fill elevar os resultados, devido principalmente às aproximações que este método considera.

Por último, a Tabela 34 apresenta para o SIN uma comparação percentual entre as diferenças do ganho de energia garantida ($\Delta E_g \%$) entre os métodos aplicados. A Tabela 35 apresenta as mesmas comparações para o sistema S/SE.

TABELA 32 – Comparação dos Resultados – Resultados Finais - SIN.

SISTEMA	HISTÓRICO			
	Ef (MWmed)	Δ Ef (MWmed)	Δ Ef (%)	Δ Ef Inc. (%)
SIN	46337	-	-	-
SIN + USINAS (FIO D'ÁGUA)	55000	8663	18,7%	-
SIN + USINAS (INTRA-ANUAL)	57145	10808	23,3%	24,8%
SIN + USINAS (PLURIANUAL)	57502	11165	24,1%	3,3%

TR (anos)	SISTEMA	TEORIA ESTOCÁSTICA DOS RESERVATÓRIOS			
		Eg (MWmed)	Δ Eg (MWmed)	Δ Eg (%)	Δ Eg Inc. (%)
22,5	SIN	49939	-	-	-
	SIN + USINAS (FIO D'ÁGUA)	58075	8135	16,3%	-
	SIN + USINAS (INTRA-ANUAL)	60066	10127	20,3%	24,5%
	SIN + USINAS (PLURIANUAL)	60578	10639	21,3%	5,1%
45	SIN	48015	-	-	-
	SIN + USINAS (FIO D'ÁGUA)	55999	7983	16,6%	-
	SIN + USINAS (INTRA-ANUAL)	58124	10108	21,1%	26,6%
	SIN + USINAS (PLURIANUAL)	58592	10576	22,0%	4,6%
90	SIN	46370	-	-	-
	SIN + USINAS (FIO D'ÁGUA)	54096	7726	16,7%	-
	SIN + USINAS (INTRA-ANUAL)	56225	9856	21,3%	27,6%
	SIN + USINAS (PLURIANUAL)	56870	10500	22,6%	6,5%

TR (anos)	SISTEMA	MÉTODO FILL			
		Eg (MWmed)	Δ Eg (MWmed)	Δ Eg (%)	Δ Eg Inc. (%)
22,5	SIN	49939	-	-	-
	SIN + USINAS (FIO D'ÁGUA)	58211	8271	16,6%	-
	SIN + USINAS (INTRA-ANUAL)	60571	10631	21,3%	28,5%
	SIN + USINAS (PLURIANUAL)	61176	11237	22,5%	5,7%
45	SIN	48015	-	-	-
	SIN + USINAS (FIO D'ÁGUA)	56181	8166	17,0%	-
	SIN + USINAS (INTRA-ANUAL)	58580	10564	22,0%	29,4%
	SIN + USINAS (PLURIANUAL)	59248	11233	23,4%	6,3%
90	SIN	46370	-	-	-
	SIN + USINAS (FIO D'ÁGUA)	54455	8086	17,4%	-
	SIN + USINAS (INTRA-ANUAL)	56876	10507	22,7%	29,9%
	SIN + USINAS (PLURIANUAL)	57588	11219	24,2%	6,8%

TR (anos)	SISTEMA	MÉTODO MONTE CARLO			
		Eg (MWmed)	Δ Eg (MWmed)	Δ Eg (%)	Δ Eg Inc. (%)
22,5	SIN	50605	-	-	-
	SIN + USINAS (FIO D'ÁGUA)	58851	8246	16,3%	-
	SIN + USINAS (INTRA-ANUAL)	60992	10387	20,5%	26,0%
	SIN + USINAS (PLURIANUAL)	61437	10832	21,4%	4,3%
45	SIN	49005	-	-	-
	SIN + USINAS (FIO D'ÁGUA)	56966	7961	16,2%	-
	SIN + USINAS (INTRA-ANUAL)	58890	9885	20,2%	24,2%
	SIN + USINAS (PLURIANUAL)	59461	10456	21,3%	5,8%
90	SIN	47472	-	-	-
	SIN + USINAS (FIO D'ÁGUA)	55553	8081	17,0%	-
	SIN + USINAS (INTRA-ANUAL)	57191	9719	20,5%	20,3%
	SIN + USINAS (PLURIANUAL)	57747	10275	21,6%	5,7%

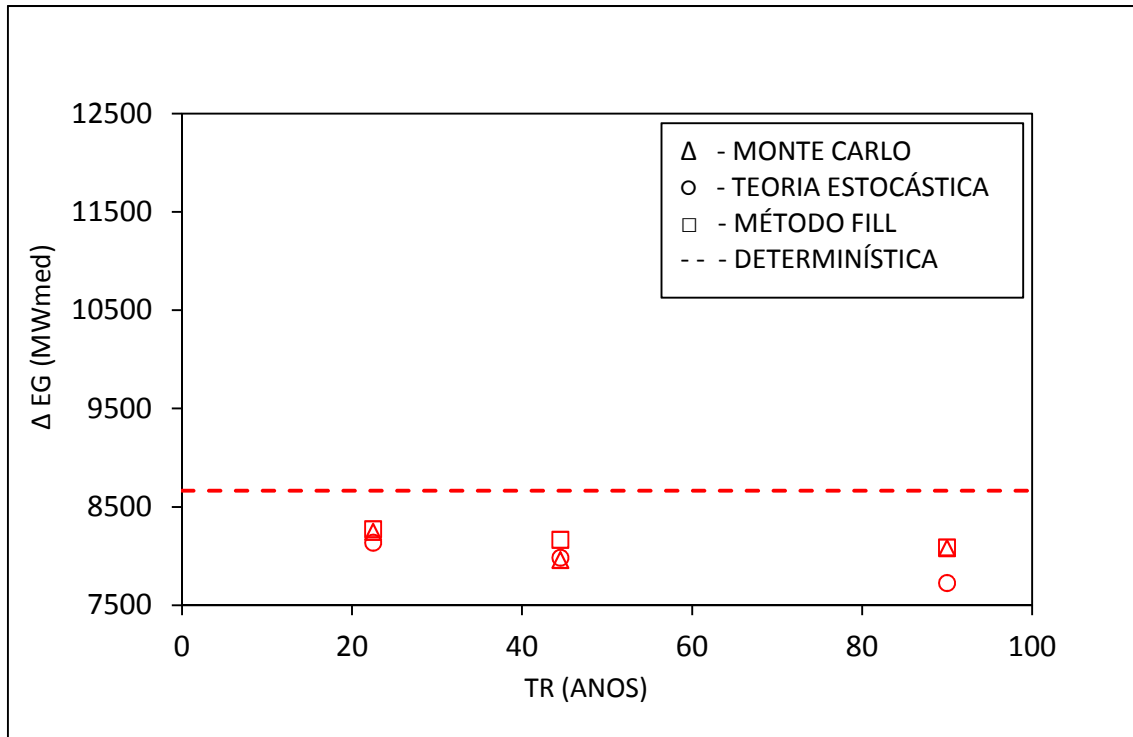


FIGURA 38 – Comparação dos Resultados – SIN + USINAS (FIO D'ÁGUA).

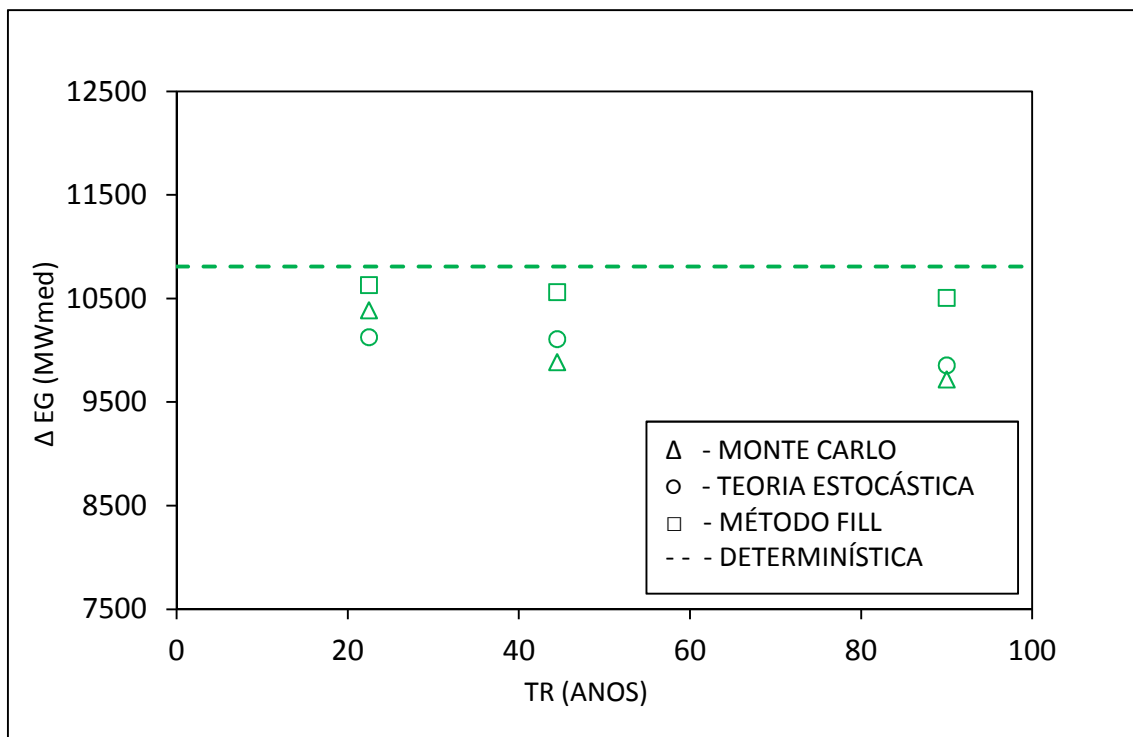


FIGURA 39 – Comparação dos Resultados – SIN + USINAS (INTRA-ANUAL).

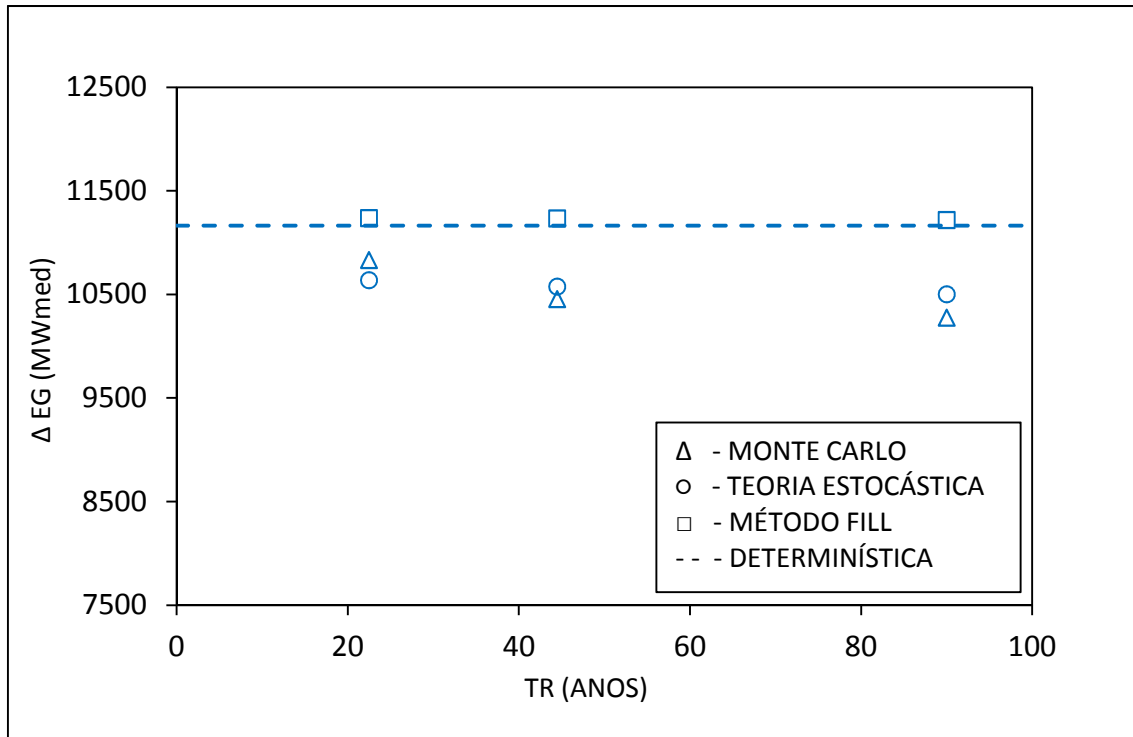


FIGURA 40 – Comparação dos Resultados – SIN + USINAS (PLURIANUAL).

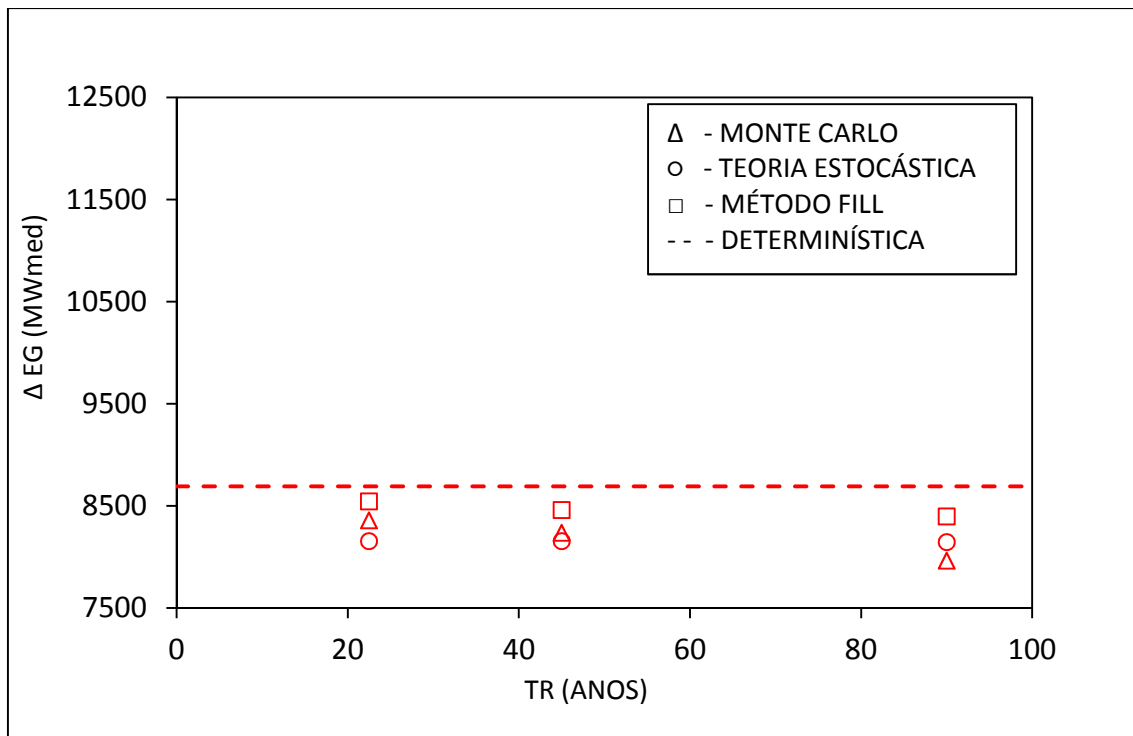


FIGURA 41 – Comparação dos Resultados – S/SE + USINAS (FIO D'ÁGUA).

TABELA 33 – Comparação dos Resultados – Resultados Finais – S/SE.

SISTEMA	HISTÓRICO			
	EF (MWmed)	Δ EF (MWmed)	Δ EF (%)	Δ EF Inc. (%)
S/SE	35113	-	-	-
S/SE + USINAS (FIO D'ÁGUA)	43804	8691	24,8%	-
S/SE + USINAS (INTRA-ANUAL)	45548	10435	29,7%	20,1%
S/SE + USINAS (PLURIANUAL)	45964	10851	30,9%	4,0%

TR (anos)	SISTEMA	TEORIA ESTOCÁSTICA DOS RESERVATÓRIOS			
		Eg (MWmed)	Δ Eg (MWmed)	Δ Eg (%)	Δ Eg Inc. (%)
22,5	S/SE	37217	-	-	-
	S/SE + USINAS (FIO D'ÁGUA)	45372	8155	21,9%	-
	S/SE + USINAS (INTRA-ANUAL)	47457	10240	27,5%	25,6%
	S/SE + USINAS (PLURIANUAL)	47945	10728	28,8%	4,8%
45	S/SE	35717	-	-	-
	S/SE + USINAS (FIO D'ÁGUA)	43872	8155	22,8%	-
	S/SE + USINAS (INTRA-ANUAL)	45967	10250	28,7%	25,7%
	S/SE + USINAS (PLURIANUAL)	46422	10705	30,0%	4,4%
90	S/SE	34339	-	-	-
	S/SE + USINAS (FIO D'ÁGUA)	42483	8145	23,7%	-
	S/SE + USINAS (INTRA-ANUAL)	44604	10265	29,9%	26,0%
	S/SE + USINAS (PLURIANUAL)	45005	10666	31,1%	3,9%

TR (anos)	SISTEMA	MÉTODO FILL			
		Eg (MWmed)	Δ Eg (MWmed)	Δ Eg (%)	Δ Eg Inc. (%)
22,5	S/SE	37217	-	-	-
	S/SE + USINAS (FIO D'ÁGUA)	45759	8542	23,0%	-
	S/SE + USINAS (INTRA-ANUAL)	48137	10920	29,3%	27,8%
	S/SE + USINAS (PLURIANUAL)	48654	11437	30,7%	4,7%
45	S/SE	35717	-	-	-
	S/SE + USINAS (FIO D'ÁGUA)	44174	8457	23,7%	-
	S/SE + USINAS (INTRA-ANUAL)	46636	10919	30,6%	29,1%
	S/SE + USINAS (PLURIANUAL)	47233	11516	32,2%	5,5%
90	S/SE	34339	-	-	-
	S/SE + USINAS (FIO D'ÁGUA)	42735	8396	24,5%	-
	S/SE + USINAS (INTRA-ANUAL)	45253	10914	31,8%	30,0%
	S/SE + USINAS (PLURIANUAL)	45904	11565	33,7%	6,0%

TR (anos)	SISTEMA	MÉTODO MONTE CARLO			
		Eg (MWmed)	Δ Eg (MWmed)	Δ Eg (%)	Δ Eg Inc. (%)
22,5	S/SE	37621	-	-	-
	S/SE + USINAS (FIO D'ÁGUA)	45978	8357	22,2%	-
	S/SE + USINAS (INTRA-ANUAL)	48063	10442	27,8%	24,9%
	S/SE + USINAS (PLURIANUAL)	48455	10834	28,8%	3,8%
45	S/SE	36302	-	-	-
	S/SE + USINAS (FIO D'ÁGUA)	44537	8235	22,7%	-
	S/SE + USINAS (INTRA-ANUAL)	46487	10185	28,1%	23,7%
	S/SE + USINAS (PLURIANUAL)	46887	10585	29,2%	3,9%
90	S/SE	35317	-	-	-
	S/SE + USINAS (FIO D'ÁGUA)	43279	7962	22,5%	-
	S/SE + USINAS (INTRA-ANUAL)	45146	9829	27,8%	23,4%
	S/SE + USINAS (PLURIANUAL)	45551	10234	29,0%	4,1%

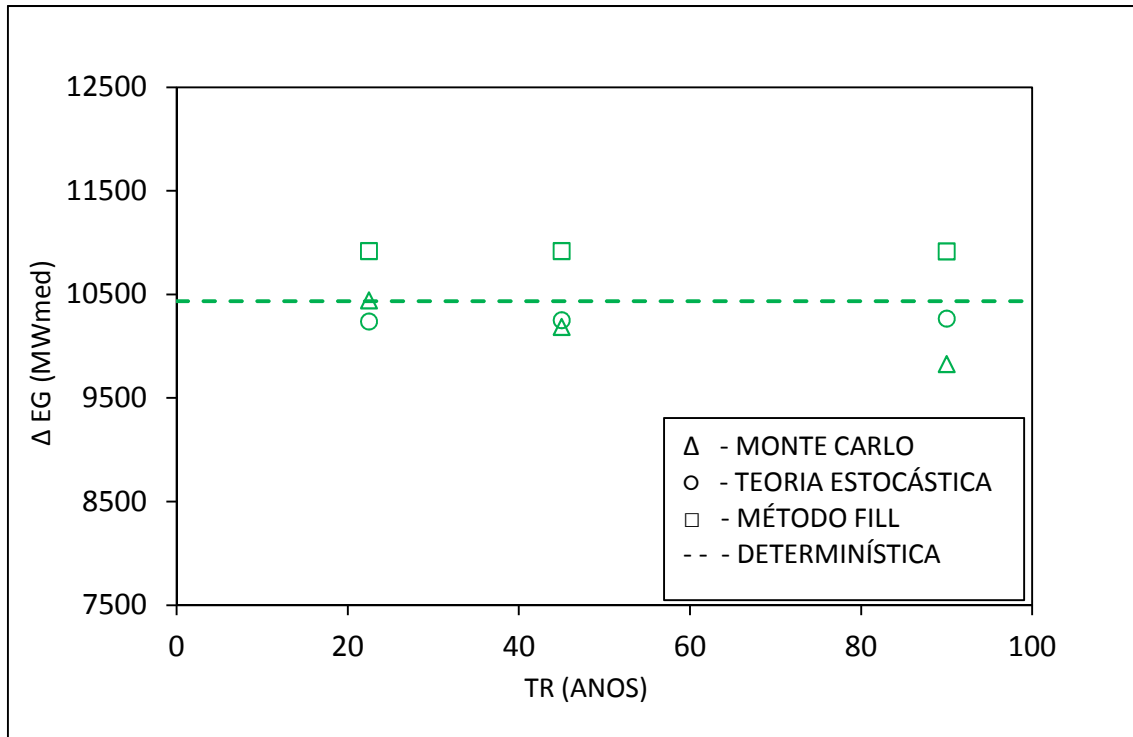


FIGURA 42 – Comparação dos Resultados – S/SE + USINAS (INTRA-ANUAL).

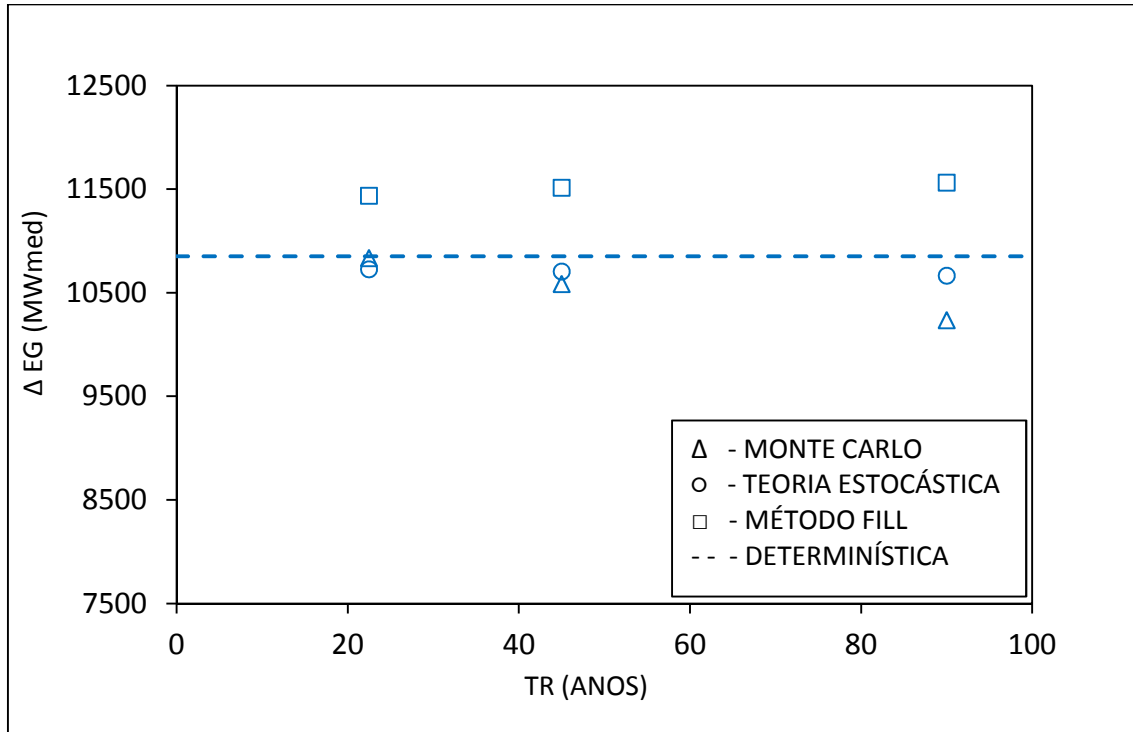


FIGURA 43 – Comparação dos Resultados – S/SE + USINAS (PLURIANUAL).

TABELA 34 – Comparação dos Resultados – Ganho de Energia Garantida (ΔEg) – SIN.

TR (ANOS)	EXPANSÃO	MÉT. FILL / T. ESTOC.	MÉT. FILL / M. CARLO	M. CARLO / T. ESTOC.	MÉT. FILL / HISTÓRICO	T. ESTOC. / HISTÓRICO	M. CARLO / HISTÓRICO
22,5	FIO D'ÁGUA	1,67%	0,31%	1,36%	-4,52%	-6,09%	-4,81%
	INTRA-ANUAL	4,98%	2,35%	2,57%	-1,63%	-6,30%	-3,90%
	PLURIANUAL	5,62%	3,74%	1,82%	0,64%	-4,71%	-2,98%
45	FIO D'ÁGUA	2,28%	2,57%	-0,28%	-5,74%	-7,85%	-8,10%
	INTRA-ANUAL	4,51%	6,87%	-2,21%	-2,25%	-6,47%	-8,54%
	PLURIANUAL	6,21%	7,43%	-1,14%	0,61%	-5,27%	-6,35%
90	FIO D'ÁGUA	4,66%	0,06%	4,60%	-6,66%	-10,82%	-6,72%
	INTRA-ANUAL	6,60%	8,11%	-1,39%	-2,79%	-8,81%	-10,08%
	PLURIANUAL	6,84%	9,18%	-2,15%	0,48%	-5,95%	-7,97%

TABELA 35 – Comparação dos Resultados – Ganho de Energia Garantida (ΔEg) – S/SE.

TR (ANOS)	EXPANSÃO	MÉT. FILL / T. ESTOC.	MÉT. FILL / M. CARLO	M. CARLO / T. ESTOC.	MÉT. FILL / HISTÓRICO	T. ESTOC. / HISTÓRICO	M. CARLO / HISTÓRICO
22,5	FIO D'ÁGUA	4,75%	2,21%	2,48%	-1,71%	-6,17%	-3,84%
	INTRA-ANUAL	6,64%	4,58%	1,97%	4,65%	-1,87%	0,07%
	PLURIANUAL	6,61%	5,56%	0,99%	5,40%	-1,13%	-0,16%
45	FIO D'ÁGUA	3,71%	2,70%	0,98%	-2,69%	-6,17%	-5,25%
	INTRA-ANUAL	6,52%	7,21%	-0,64%	4,64%	-1,77%	-2,40%
	PLURIANUAL	7,58%	8,80%	-1,12%	6,13%	-1,35%	-2,45%
90	FIO D'ÁGUA	3,09%	5,45%	-2,24%	-3,39%	-6,29%	-8,39%
	INTRA-ANUAL	6,33%	11,04%	-4,25%	4,59%	-1,63%	-5,81%
	PLURIANUAL	8,43%	13,01%	-4,05%	6,58%	-1,70%	-5,69%

As diferenças entre o método de Monte Carlo e a teoria estocástica clássica são inferiores a 5% em todos os casos e portanto os métodos são considerados equivalentes. Por outro lado, o método de Fill, exceto no caso de usinas a fio d'água tende a apresentar ganhos ligeiramente superiores aos outros dois métodos probabilísticos.

Também a comparação da energia garantida incremental de todos os três métodos probabilísticos com a energia firme incremental histórica mostra que esta é sistematicamente maior que aquela (exceto um caso onde é praticamente igual).

Finalmente, cumpre observar que as energias garantidas incrementais dependem pouco do tempo de retorno como pode ser visto nas Figuras 38 a 40.

No caso do sistema S/SE as diferenças entre os vários métodos são via de regra maiores superando em dois casos os 10%. Também aqui o método de Fill apresenta os maiores valores superando nos casos com regularização inclusive a energia firme incremental.

Os métodos da teoria estocástica clássica e do método de Monte Carlo produzem resultados equivalentes com diferenças inferiores a 5%. As maiores diferenças entre os diversos métodos tendem a ocorrer para o cenário de expansão com regularização plurianual. Também no caso do sistema S/SE os ganhos de energia garantida pouco dependem do tempo de retorno adotado.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. CONCLUSÕES

A importância dos reservatórios de regularização nos sistemas hidrelétricos tem sido abordada com frequência em reuniões entre hidrólogos em congressos e seminários de recursos hídricos. Essas discussões tem sido bastante polêmicas pois se de um lado ambientalistas tem combatido sistematicamente a construção de reservatórios, por outro é claro que os reservatórios contribuem significativamente para aumentar a energia firme ou garantida e reduzir o risco de déficit do sistema.

Este trabalho procura quantificar a contribuição dos reservatórios nos ganhos de energia utilizando para tanto um estudo de caso, abordando três grandes aproveitamentos hidrelétricos na região amazônica, atualmente em construção.

A partir deste estudo de caso algumas conclusões importantes podem ser inferidas e que são listadas a seguir.

- No caso específico analisado os ganhos de energia garantida proporcionados por reservatórios concentram-se majoritariamente na regularização sazonal e poucos são os ganhos adicionais proporcionados pela regularização plurianual. Acredita-se que isso se deve principalmente à forte sazonalidade das vazões na Amazônia onde nos trimestres mais chuvosos as vazões são cerca de 4 a 5 vezes as aflúncias no período seco.
- Na avaliação probabilística os vários métodos de análise (teoria estocástica clássica, método de Fill e simulação Monte Carlo) conduzem a resultados similares dentro de discrepâncias menores do que os erros inerentes aos dados disponíveis.
- A energia firme avaliada a partir da série histórica de energias afluentes corresponde a tempos de retorno da ordem de 87 anos para o SIN e 57 anos para o S/SE. Essa diferença mostra que a energia firme histórica tem riscos distintos para diferentes sistemas.

- Adoção de racionamento preventivo antes da depleção total do reservatório equivalente conduz a tempos de retorno significativamente menores. No caso de se iniciar o racionamento com o reservatório equivalente a 25% do máximo o tempo de retorno se reduz a aproximadamente a metade.
- Uma análise de sensibilidade dos resultados probabilísticos para diferentes valores de assimetria e autocorrelação mostra que a elevação da autocorrelação reduz o tempo de retorno enquanto que a elevação da assimetria tem o efeito inverso, eleva o tempo de retorno.

5.2. RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho pode ser complementado por outros estudos futuros, generalizando as suas conclusões (neste pesquisa os resultados numéricos evidentemente só se aplicam ao estudo de caso particular) e aplicáveis a outras alternativas de expansão de um sistema hidrelétrico. Entre estes estudos cumpre destacar como recomendações específicas os seguintes:

- Considerar nas simulações Monte Carlo as limitações de intercâmbio entre os subsistemas que certamente reduzem a energia garantida/firme do SIN.
- Simular o período histórico para diferentes cenários de expansão com uma representação do sistema a usinas individualizadas e considerando a contribuição de usinas térmicas
- Avaliar a possibilidade da introdução de coeficientes corretores nos métodos baseados na teoria estocástica dos reservatórios para corrigir as aproximações do método da energia natural.
- Analisar o efeito de usinas eólicas sobre a capacidade de regularização do sistema hidrelétrico se esta for utilizada para suprir energia em períodos de pouco vento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAS, R. L.; ITURBE-RODRÍGUEZ, I.. **Random functions and hydrology**. Addison-Wesley, Reading, 1985.

CANAMBRA ENGINEERING CONSULTANTS. **Power study of South Brazil**. App XVII. Curitiba, 1969.

CANAMBRA ENGINEERING CONSULTANTS. **Power Study of South Central Brazil**. App. XV, Rio de Janeiro, 1966.

CENTRO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA PROF. PARIGOT DE SOUZA - CEHPAR. **Modelos de risco baseados em teoria estocástica dos reservatórios – Abordagem do MSARC para o cálculo do índice de risco. Projeto HG-65** - Consultoria em estudos energéticos e PCH. Curitiba, 1991.

CENTRO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA PROF. PARIGOT DE SOUZA – CEHPAR – **Modelo simplificado de avaliação de risco – MSAR. Comparação com um modelo de simulação com séries sintéticas a subsistemas equivalentes (MSSSE). Projeto HG-60** – Consultoria em estudos energéticos e PCH. Apêndices (Vol. 2 de 2). Curitiba, 1987.

CENTRO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA PROF. PARIGOT DE SOUZA – CEHPAR – **Revisão e extensão de séries fluviométricas de estações de interesse energético da região Sul do Brasil. Projeto HG-38** – Consultoria em estudos energéticos e PCH. Relatório Final. Curitiba, 1979.

DAVORE, J. L. **Probability and statistics for engineering and the sciences**. California: Brooks / Cole, 1991.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Estudos para Licitação da Expansão de Energia. AHE Santo Antônio**, Avaliação Técnica, Apresentação Geral da Otimização do Empreendimento. Ministério de Minas e Energia. Brasília, DF, 2007.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Estudos para Licitação da Expansão de Energia. AHE Jirau**, Avaliação Técnica, Apresentação Geral da

Otimização do Empreendimento. Ministério de Minas e Energia. Brasília, DF, 2008.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Estudos para Licitação da Expansão de Energia. AHE Belo Monte**, Avaliação Técnica, Apresentação Geral da Otimização do Empreendimento. Ministério de Minas e Energia. Brasília, DF, 2009.

FELLER, W. The asymptotic distribution of the range of sums of independent random variables. **Annals Mathematics Statistics**, v. 22, p. 427-432, 1951.

FILL, H. D. **Avaliação analítica da energia garantida incremental de uma usina hidrelétrica**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 8., Foz do Iguaçu, PR. Anais. Foz do Iguaçu: ABRH, 1989.

FILL, H. D. **O Método da energia natural como técnica de simulação em estudos energéticos**. Revista Técnica do Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, v. 20, p. 38-44. 1980.

FILL, H. D.; CHELLA, M. R.; MINE; M. R. M.; KAVISKI, E.; FREITAS, C.. **Metodologia para avaliação da contribuição energética de Pequenas Centrais Hidrelétricas a fio d'água – relatório final**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC. Curitiba, 2003.

FILL, H. D.; CHELLA, M. R.; MINE; M. R. M.; KAVISKI, E.; FREITAS, C.. **Avaliação de dois critérios de cálculo da energia assegurada de uma PCH**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 2005.

FILL, H. D.; **Notas de aula**, Engenharia de Recursos Hídricos, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 2005.

FILL, H. D.; PÉRICO, G. **Avaliação do risco associado à energia firme de um sistema hidrelétrico**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - ABRH, Bento Gonçalves, RS, 2013.

FILL, H. D.; PÉRICO, G. **Importância dos reservatórios de regularização em sistemas hidrelétricos**. Revista Técnica do Instituto de Engenharia do Paraná - IEP, v. 4, pp. 33-37, Curitiba, PR, 2012.

FORTUNATO, L. A. M.; ARARIPE NETO, T. A.; ALBUQUERQUE, J. C. R.; PEREIRA, M. A. F. **Introdução ao planejamento da expansão e operação de sistemas de produção de energia elétrica**. Rio de Janeiro: Editora Universitária – Universidade Federal Fluminense, 1990.

GOMIDE, F. L. S. **Contribuição ao estudo de períodos de estiagem**, Congresso Latino-americano de Hidráulica, Anais, Oaxtepec Morelos, IAHR, 1970.

GOMIDE, F. L. S. **Introdução à teoria estocástica dos reservatórios**. Curso de Engenharia Hidrológica II: Hidrologia Operacional. Capítulo J. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Águas e Energia Elétrica, Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1983.

GOMIDE, F. L. S. **Range and deficit analysis using Markov chains**, Hydrology Papers, v. 4, n. 79, Colorado State University, Fort Collins, CO, 1975.

GOMIDE, F. L. S. **Sobre reservatórios e segurança hídrica**. GMD – Organização Industrial e Engenharia, Curitiba, Abril de 2012.

GOMIDE, F. L. S. **Teoria estocástica dos reservatórios aplicada ao planejamento energético de sistemas hidrelétricos**. Curitiba, 1986. Paginação irregular. Tese (Titular), Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná.

GOMIDE, F. L. S., **Entrevista ao Instituto de Engenharia do Paraná – IEP**, Revista Técnica do IEP, n.3, 2011.

GOMIDE, F. L. S., **Markovian inputs and the Hurst Phenomenon**, Journal of Hydrology, n. 37, p. 23-45, 1978.

GOMIDE, F. L. S.; CUNHA, L. M. **Dimensionamento de reservatórios para regularização de vazões**. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (4. : 1981 : Fortaleza) Anais. São Paulo : ABRH, 1981. v. 4, p. 551-568.

GROSZEWICZ, R. C.; KAVISKI, E.; ILLICH, I.; MACHADO, J. F. P. **Avaliação de três métodos de desagregação de afluências**. In: Simpósio Brasileiro de

recursos Hídricos. 9., Rio de Janeiro, RJ. Anais. Rio de Janeiro: ABRH, 1991. p. 437-446.

HAZEN, A. Storage to be provide in impounding reservoirs for Municipal water supply. **Transactions American Society of Civil Engineers**, v. 77, p. 1539-1640, 1914.

HURST, H. E. **Long-term storage capacity of reservoirs**. Trans. Am. Soc. Civ. Engrs., v. 116, p. 770-779, 1951.

KELMAN, J., **Geração de séries sintéticas de vazões**. Curso de Engenharia Hidrológica II: Hidrologia Operacional. Capítulo P. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Águas e Energia Elétrica, Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1983.

KELMAN, J., **Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos**, Cap IV: Modelos Estocásticos, NOBEL, São Paulo, 1987.

KELMAN, J., OLIVEIRA, G. C., PEREIRA, M. V. F., **Geração de séries sintéticas pelo método de desagregação**. Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Recife, 1979.

KELMAN, J.; KELMAN, R.; PEREIRA, M. V. F.. **Energia Firme de Sistemas Hidrelétricos e Usos Múltiplos dos Recursos Hídricos**. Revista da Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

LLOYD, E. H. What is, and what is not, a Markov chain? *Journal of Hydrology*, v. 22, p. 1-28, 1974.

LLOYD, E. H.; ODOOM, S. Probability theory of reservoirs with seasonal inputs. *Journal of Hydrology*, v. 2, p. 1-10, 1964.

LOUCKS, D. P.; STEDINGER, J. R., HAITH, D. A. **Water resource systems planning and analysis**. New Jersey: Prentice-Hall, 1981.

MIYAMOTO, A., VENTURA FILHO, A. **Modelos Computacionais utilizados no planejamento de geração de energia elétrica no Brasil**. Eletrobrás, Rio de Janeiro, 1982.

MORAN, P. A. P. **A probability theory of dams and storage systems.** Australian Journal of Application Science, v. 5, p. 116-124, 1964.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística.** CPRM, Belo Horizonte, 2007.

NEIRA, K. L. **Curvas de regularização para reservatórios parcialmente cheios e confiabilidade constante.** Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

PAPOULIS, A. **Probability, Random Variables, and Stochastic Processes,** McGraw-Hill, New York, 1991.

PEGRAM, G. G. S.; SALAS J. D.; BOES, D. C.; YEVJEVICH, V. Stochastic properties of water storage. **Hydrology papers**, v.4, n. 100, Colorado State University, Fort Collins, 1980.

PEREIRA, M. V. F., OLIVEIRA, G. C. C., COSTA, G. C. G., KELMAN, J., **Stochastic Streamflow Models for Hydroelectric Systems**, Water Resources Research, v. 20, n. 3, 1984.

PINTO, N. L. S., HOLTZ, A. C. T., MARTINS, J. A, GOMIDE, F. L. S., **Hidrologia Básica**, Edgard Blucher, 1976.

RIPPL, W. The capacity of storage reservoir for water supply. **Proceedings Institution of Civil Engineers**, v. 71, p. 270-278, 1883.

RIPPL, W. The capacity of storage reservoir for water supply. **Proceedings Institution of Civil Engineers**, v. 71, p. 270-278, 1883.

SILVA, E. L., **Formação de Preços em Mercados de Energia Elétrica**, Sagra-Luzzatto, 2001.

STEDINGER, J. R.; VOGEL, R. M.; FOUFOULA-GEORGIU, E. Frequency analysis of extreme events. In: **Handbook of Hydrology**, New York: McGraw-Hill, v. 1, p. 18.1- 18.49, 1993.

SUDLER, C. E. **Storage required for the regulation of streamflow.** Transactions American Society of Civil Engineers, v.91, p. 622-660, 1927.

YEVJEVICH, V. M. The application of surplus, déficit and range and hydrology. Hydrology papers, v. 1, n. 10, Colorado State University, Fort Collins, CO, 1965.

ANEXOS

ANEXO 1 – CONFIGURAÇÃO SISTEMAS BASE

S/SE	
USINA	POTÊNCIA (MW)
FUNIL-GRANDE	180
SERRA FAÇAO	213
CAPIM BRANC1	240
CAPIM BRANC2	210
CORUMBA IV	127
PIRAJU	80
ITAIPU	14000
HENRY BORDEN	888
NILO PECANHA	380
BAGUARI	140
RETIRO BAIXO	82
TRES MARIAS	396
QUEIMADO	105
JURU	118
GUAPORE	120
CORUMBA III	96
SLT VERDINHO	93
OURINHOS	44
SERRA MESA	1275
CANA BRAVA	450
SAO SALVADOR	243
PEIXE ANGIC	499
LAJEADO	903
SALTO	116
RONDON II	74
PONTE PEDRA	176
ESPORA	32
ITIQUEIRA I	61
ITIQUEIRA II	97
DARDANELOS	261
CACU	65
B. COQUEIROS	90
FOZ R. CLARO	68
JAGUARI	28
PARAIBUNA	85
SANTA BRANCA	56
FUNIL	222
LAJES	60
PICADA	50
SOBRAGI	60
ILHA POMBOS	187169
P. PASSOS	100
SALTO GRANDE	102
P. ESTRELA	112
CANDONGA	140
AIMORES	330
MASCARENHAS	198
GUILMAN-AMOR	140
SA CARVALHO	78
ROSAL	55
SAMUEL	217
IRAPE	360
STA CLARA MG	60
CAMARGOS	46
ITUTINGA	52
FURNAS	1312
M. DE MORAES	478

SIN	
USINA	POTÊNCIA (MW)
FUNIL-GRANDE	180
SERRA FAÇAO	213
CAPIM BRANC1	240
CAPIM BRANC2	210
CORUMBA IV	127
PIRAJU	80
ITAIPU	14000
HENRY BORDEN	888
NILO PECANHA	380
BAGUARI	140
RETIRO BAIXO	82
TRES MARIAS	396
QUEIMADO	105
JURU	118
GUAPORE	120
CORUMBA III	96
SLT VERDINHO	93
OURINHOS	44
SERRA MESA	1275
CANA BRAVA	450
SAO SALVADOR	243
PEIXE ANGIC	499
LAJEADO	903
SALTO	116
RONDON II	74
PONTE PEDRA	176
ESPORA	32
ITIQUEIRA I	61
ITIQUEIRA II	97
DARDANELOS	261
CACU	65
B. COQUEIROS	90
FOZ R. CLARO	68
JAGUARI	28
PARAIBUNA	85
SANTA BRANCA	56
FUNIL	222
LAJES	60
PICADA	50
SOBRAGI	60
ILHA POMBOS	187169
P. PASSOS	100
SALTO GRANDE	102
P. ESTRELA	112
CANDONGA	140
AIMORES	330
MASCARENHAS	198
GUILMAN-AMOR	140
SA CARVALHO	78
ROSAL	55
SAMUEL	217
IRAPE	360
STA CLARA MG	60
CAMARGOS	46
ITUTINGA	52
FURNAS	1312
M. DE MORAES	478

ESTREITO	1104
JAGUARA	424
IGARAPAVA	210
VOLTA GRANDE	380
P. COLOMBIA	328
CACONDE	80
E. DA CUNHA	109
A.S.OLIVEIRA	32
MARIMBONDO	1488
A. VERMELHA	1396
EMBORCACAO	1192
NOVA PONTE	510
MIRANDA	408
CORUMBA I	375
ITUMBIARA	2280
CACH.DOURLADA	658
SAO SIMAO	1710
BARRA BONITA	140
A.S. LIMA	144
IBITINGA	131
PROMISSAO	264
NAVANHANDAVA	347
BILLINGS	0
I. SOLT. EQV	4251
JUPIA	1551
P. PRIMAVERA	1540
MANSO	210
A.A. LAYDNER	98
CHAVANTES	414
L.N. GARCEZ	74
CANOAS II	72
CANOAS I	83
CAPIVARA	640
TAQUARUCU	554
ROSANA	372
STA CLARA PR	120
FUNDAO	120
G.B. MUNHOZ	1676
BARRA GRANDE	698
CAMPOS NOVOS	880
MACHADINHO	1140
ITA	1450
PASSO FUNDO	226
MONJOLINHO	74
QUEBRA QUEIX	120
SAO JOSE	51
PASSO S JOAO	77
FOZ CHAPECO	855
CASTRO ALVES	130
MONTE CLARO	130
14 DE JULHO	100
ERNESTINA	0
PASSO REAL	158
JACUI	180
ITAUBA	500
D. FRANCISCA	125
G.P. SOUZA	260
SALTO PILAO	192
SEGREDO	1260

ESTREITO	1104
JAGUARA	424
IGARAPAVA	210
VOLTA GRANDE	380
P. COLOMBIA	328
CACONDE	80
E. DA CUNHA	109
A.S.OLIVEIRA	32
MARIMBONDO	1488
A. VERMELHA	1396
EMBORCACAO	1192
NOVA PONTE	510
MIRANDA	408
CORUMBA I	375
ITUMBIARA	2280
CACH.DOURLADA	658
SAO SIMAO	1710
BARRA BONITA	140
A.S. LIMA	144
IBITINGA	131
PROMISSAO	264
NAVANHANDAVA	347
BILLINGS	0
I. SOLT. EQV	4251
JUPIA	1551
P. PRIMAVERA	1540
MANSO	210
A.A. LAYDNER	98
CHAVANTES	414
L.N. GARCEZ	74
CANOAS II	72
CANOAS I	83
CAPIVARA	640
TAQUARUCU	554
ROSANA	372
STA CLARA PR	120
FUNDAO	120
G.B. MUNHOZ	1676
BARRA GRANDE	698
CAMPOS NOVOS	880
MACHADINHO	1140
ITA	1450
PASSO FUNDO	226
MONJOLINHO	74
QUEBRA QUEIX	120
SAO JOSE	51
PASSO S JOAO	77
FOZ CHAPECO	855
CASTRO ALVES	130
MONTE CLARO	130
14 DE JULHO	100
ERNESTINA	0
PASSO REAL	158
JACUI	180
ITAUBA	500
D. FRANCISCA	125
G.P. SOUZA	260
SALTO PILAO	192
SEGREDO	1260

SLT.SANTIAGO	1420
SALTO OSORIO	1078
SALTO CAXIAS	1240

SLT.SANTIAGO	1420
SALTO OSORIO	1078
SALTO CAXIAS	1240
SOBRADINHO	1050
ITAPARICA	1500
COMP PAF-MOX	4282
XINGO	3162
ITAPEBI	450
TUCURUI	8370
CANA BRAVA	450
SAO SALVADOR	243
SERRA MESA	1275
PEIXE ANGIC	499
CURUA-UNA	30
LAJEADO	903

ANEXO 2 – SÉRIES DE ENERGIAS NATURAIS – SISTEMAS BASE (1931-2010)

SIN (MWmed)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1931	87123	114227	128597	105997	82049	59615	46995	33328	43453	37048	39415	54341	69349
1932	80061	93758	80807	72150	52469	46016	35203	27894	31806	39520	38770	71518	55831
1933	91084	82115	64232	56157	40040	29331	25451	22982	23240	32924	31713	53689	46080
1934	77678	68406	59723	49473	38366	26337	20997	19388	21346	23722	20898	48199	39544
1935	80561	105555	96881	88392	60597	43429	37426	39517	39868	74367	41922	55239	63646
1936	63409	51924	83561	60971	46156	50445	29990	33339	33140	31365	32451	50788	47295
1937	87895	73995	70095	62058	46101	34181	26977	25037	23448	36917	56317	79190	51851
1938	89109	81261	67369	55044	50748	46215	43711	26373	23460	27072	32947	56758	50006
1939	84101	89925	66985	49903	46282	35095	29186	22298	25964	25302	45142	66430	48884
1940	81520	110989	112201	76609	51778	35639	29385	27266	21367	26632	43425	59390	56350
1941	78457	73790	67756	67882	51773	37381	30449	36826	30755	35137	47466	62652	51694
1942	72679	88936	104352	78736	55832	47054	37798	29415	27215	32655	39461	70013	57012
1943	121712	127442	116618	77216	49985	46411	35268	35368	30887	37452	47611	67471	66120
1944	70055	77406	84624	58125	38130	28729	23770	18843	17421	17880	33852	48479	43110
1945	75496	112306	105021	102256	74129	48894	42867	29354	25275	30122	47811	88164	65141
1946	121851	124505	107079	77578	53887	47239	51627	31395	26093	35101	36475	51460	63691
1947	73569	93470	129718	101024	61302	45432	37331	34685	46410	44082	43672	71307	65167
1948	85138	87828	94517	72033	49364	37273	31833	38958	23707	27639	36494	74819	54967
1949	87529	115039	107125	76357	49213	41305	30387	26066	25360	26247	34753	49147	55711
1950	65015	87890	82788	63809	47381	33157	27847	27076	22042	41504	45374	64038	50660
1951	80153	97891	97098	73193	44509	34001	27937	22189	19033	33917	30665	38407	49916
1952	52176	70534	106419	73572	44009	39008	32384	22449	28298	36278	39904	47223	49355
1953	47303	41576	49627	56981	35091	28459	22307	18728	28876	39886	43146	52914	38741
1954	59988	66673	55330	47631	58534	49809	40508	21641	33535	38325	25938	42925	45070
1955	51845	51577	46784	53657	40574	42838	43027	25298	23844	20754	29944	52750	40241
1956	68022	46331	63528	54568	52894	47607	33092	38332	31994	25429	34072	68006	46990
1957	97263	107403	112360	112641	71177	48130	56756	67051	70553	42406	43688	64325	74479
1958	63203	87515	78828	66905	52260	46709	33137	32480	41037	39494	43566	48842	52831
1959	88349	83358	81422	68047	44678	35061	26842	26148	26829	26036	32789	40498	48338
1960	67304	92344	109552	80087	49537	39718	30563	35473	31688	31793	43113	63294	56206
1961	102992	116506	125665	79870	59071	43924	33313	25641	39620	39225	44516	40813	62596
1962	64004	88244	87958	57832	42001	33163	27160	22594	28519	39793	38777	67256	49775
1963	95359	99116	72520	46617	33715	26079	22015	22918	22483	37555	43928	31476	46148
1964	61064	104389	72232	54001	40960	29335	26947	28097	26639	29079	39572	59801	47676
1965	86677	104563	114413	87835	77511	45930	47939	46669	41846	53589	55341	85077	70616
1966	101978	128469	117505	78148	52874	43389	37282	31839	38937	43482	53028	63908	65903
1967	93704	100412	94202	71392	47282	39508	32952	30955	36878	26746	38716	64228	56415
1968	79062	73614	92149	63733	41113	29357	25739	22310	22715	25863	36642	65187	48124
1969	58074	69383	65546	53370	34736	38820	28532	19982	19746	30109	57909	62851	44922
1970	87383	92088	92786	56252	44947	40890	41229	25510	30257	37190	40344	46805	52973
1971	59170	40292	47378	47283	42381	42196	37496	28642	22466	30036	37888	70600	42152
1972	66234	85356	81018	62926	37656	38657	37704	45720	50174	64358	60926	73112	58653
1973	84825	82188	75663	80994	58158	47323	46182	42771	44888	45170	56753	67975	61074
1974	91174	76006	100724	97405	65658	51905	38297	29451	29935	29102	35668	52301	58136
1975	75765	76869	60863	58793	43511	32373	29004	30084	33089	46578	49592	73137	50805
1976	62991	67578	71275	58124	45248	52971	38022	45808	43303	43738	60865	89324	56604
1977	105762	116337	68674	71229	50499	41054	34120	36003	29659	35063	45088	70151	58637
1978	103702	80298	99441	66369	50480	41399	38203	31174	33324	29108	46807	67193	57292
1979	98664	141960	126144	83108	70554	44164	39466	37369	43400	58232	64219	69810	73091
1980	110968	148374	132036	90292	61710	43862	46032	46174	46590	40314	47014	88794	75180
1981	114271	87517	73379	77582	48445	39372	29971	26361	26100	40279	71057	97889	61019
1982	121054	118951	128131	100958	64014	63337	69525	44263	34997	58691	77111	83512	80379
1983	127213	167010	153045	121563	113602	118434	124562	68959	67447	72734	78583	102129	109607
1984	96729	70397	62046	74232	61211	50322	39868	53108	40616	38800	42435	66573	58028
1985	101984	120559	115126	103282	67643	43536	35714	31808	31150	29407	38285	51338	64153
1986	90600	91971	83252	62457	52378	38682	29735	33879	30914	29686	33904	59397	53071
1987	76804	81340	68947	70061	78213	56321	41939	32613	29495	38280	41266	67353	56886
1988	74667	82325	94113	73797	70307	53602	32478	25129	28119	31198	37325	49457	54376

1989	86269	91923	82698	63726	54954	34514	35246	40820	59343	36777	41032	96649	60329
1990	143357	77019	74806	65753	53398	60349	44245	40752	50133	54948	47506	40285	62713
1991	67954	93997	96253	101720	61386	49161	38177	32318	24505	40154	38441	57357	58452
1992	86548	140901	116101	83356	90588	71315	53295	44727	46099	48507	69545	81780	77730
1993	79882	100642	87839	69703	55905	49161	47449	31612	39294	56350	33313	54782	58828
1994	92577	91021	99802	80326	58374	52867	49679	30920	24339	30811	40949	56367	59003
1995	93094	117059	81193	74454	55622	40704	41459	27427	26448	44181	38014	52874	57711
1996	89183	72211	82775	63894	41119	34976	37358	29729	36971	43425	54367	67615	54469
1997	127364	120986	96030	82473	58464	60326	46957	44869	32850	65118	72109	75756	73609
1998	73992	94244	93472	87192	63460	39712	38311	50120	52050	61032	43490	59066	63012
1999	79572	70651	87016	58755	41125	39327	45848	23697	25294	30088	32351	50758	48707
2000	85224	102620	100498	68131	45001	33859	36285	29809	59675	46547	44495	68804	60079
2001	71025	73924	64772	52970	42659	36794	34991	25628	27831	50857	39149	60329	48411
2002	102674	106177	76781	54315	46843	37315	29312	31185	34317	34625	43857	58717	54677
2003	85014	92147	76362	67810	42552	36367	30738	22058	20614	23675	32912	57711	48997
2004	72077	109237	105995	86241	64290	49423	45828	28156	27373	39540	43482	54403	60504
2005	89032	87101	89390	69227	60915	52491	35949	28678	49335	55451	46316	78406	61858
2006	72547	68391	84430	83888	51832	34485	29105	26893	27726	36221	47219	79536	53523
2007	123588	132157	95700	63015	58763	38002	40079	29369	24869	25904	40383	44162	59666
2008	54639	88051	93809	86566	61408	44430	32253	35098	27092	45281	48831	54645	56009
2009	82333	94255	73566	77352	58276	40988	46612	46866	65199	66673	62443	86687	66771
2010	106657	89837	81717	86985	61940	39625	35815	28082	23416	32040	41579	73501	58433
MÍN	47303	40292	46784	46617	33715	26079	20997	18728	17421	17880	20898	31476	38741
MÉD	85089	92908	89353	72705	54045	43458	37593	32373	33450	38858	44227	63249	57276
MÁX	143357	167010	153045	121563	113602	118434	124562	68959	70553	74367	78583	102129	109607
DESVIO	19435	23819	21773	16224	13248	12191	13032	9781	11598	12051	11223	14527	10668
CV	0,23	0,26	0,24	0,22	0,25	0,28	0,35	0,30	0,35	0,31	0,25	0,23	0,19

S/SE (MWmed)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1931	63484	89247	91427	66028	59365	47676	38154	26150	37387	31194	29973	43438	51960
1932	61235	68928	59198	57202	42738	38479	29301	23426	27863	35191	30294	56051	44159
1933	68155	53929	42606	35922	26310	21323	19283	18045	19312	28517	23121	38016	32878
1934	50118	45137	40316	33928	25092	18822	15594	15013	17491	19403	16398	39023	28028
1935	57361	74202	65007	56122	35512	30586	29000	32963	34605	69103	35071	41932	46789
1936	46644	33038	55993	38431	29920	41792	23780	28445	29149	26922	25555	38603	34856
1937	67751	48161	46575	40991	30808	25766	20778	20304	19922	33128	46777	58610	38298
1938	60936	57555	44112	36497	38659	38305	37920	21719	19512	23252	26983	43626	37423
1939	61518	61804	42296	34084	35420	27951	23529	17454	21886	19651	38910	56984	36791
1940	63757	81360	71940	44835	36732	26199	22467	21534	16777	21648	33786	40262	40108
1941	54319	49252	41701	40516	35114	28524	23756	31100	26444	30242	38541	49040	37379
1942	48957	61050	69824	54295	39971	37492	30805	23788	22556	25593	28476	43503	40526
1943	83189	76470	71820	42756	29388	34440	26042	27834	25089	30838	36482	41709	43838
1944	40514	50740	57258	34725	23609	19765	16872	13245	12876	14093	26169	30690	28380
1945	42649	73655	65252	62388	35469	27847	30950	20184	17956	21583	32560	61839	41028
1946	88455	82018	82321	50185	35723	35133	42766	24308	20327	29401	28477	36793	46326
1947	56946	69071	98853	60339	38149	34075	28856	27685	39841	37994	29829	51544	47765
1948	57615	64773	66159	46916	35852	28228	24608	33193	18879	22606	30554	50309	39974
1949	52570	73091	55832	41921	31089	29458	21761	19151	19699	21023	23925	36129	35471
1950	47243	69286	64075	42883	31833	24728	21405	21685	17673	36466	37275	48299	38571
1951	61400	78017	75910	49242	29827	24824	21524	17128	14843	30077	26869	31773	38453
1952	37414	52848	79554	43182	26028	29883	25789	17327	23873	31944	33887	32727	36205
1953	29663	32171	36072	38170	23870	22290	17648	14861	25498	35389	36620	39710	29330
1954	38592	50065	37158	30489	47455	42434	35422	17783	30536	35655	21885	27937	34618
1955	39302	31526	32821	38370	30395	36834	38572	21727	20852	17969	22211	39380	30830
1956	45568	33041	40606	37197	41142	38908	26649	33405	27850	21644	25513	46156	34807
1957	61758	69619	67176	60826	37830	31432	46167	58916	63944	35357	37466	47618	51509
1958	43672	60401	55626	43253	34219	36097	26143	26229	36295	33498	35538	41018	39332
1959	67597	56801	56556	45705	32304	27342	21028	21616	23070	21989	26025	29446	35790
1960	51101	62722	66607	43704	32959	29405	23572	30196	27405	27905	37991	46930	40041
1961	77774	81017	92669	57866	45565	35230	27084	20617	35510	35694	40214	34529	48647
1962	49897	65102	65557	38568	30468	26362	21930	18365	25024	35434	31571	55363	38637
1963	70738	69602	50725	33950	23354	19711	16989	18661	18928	34441	39950	25769	35235
1964	40790	65257	40244	33034	27934	21960	21701	23741	23251	24772	28890	42158	32811
1965	65318	81210	87114	54798	57636	35669	41040	41146	37285	48051	45111	68078	55205
1966	82604	98727	84590	51407	37595	33772	30470	26228	34179	38567	45650	53236	51419
1967	73442	79646	70841	46404	30872	31141	27026	26176	32845	22906	32241	48610	43513
1968	56605	51118	54172	33410	24977	20331	19215	16858	17717	20834	28951	43598	32316
1969	40659	46702	39892	34822	23849	32116	23320	15704	16095	26334	49520	43577	32716
1970	60359	61216	62215	36430	31045	33381	35478	20780	25978	31129	28141	35200	38446
1971	51004	31550	36133	33270	32632	36801	33275	25160	19142	25564	27786	47532	33321
1972	44810	69131	60379	43773	26387	32297	32759	41286	46420	59310	53615	58015	47349
1973	63995	64081	54060	53560	42774	39178	40183	38025	41143	39788	44166	48874	47486
1974	70291	53771	71807	59933	37949	38761	30694	23569	24849	24004	27368	40697	41974
1975	56799	53306	40986	37775	25803	23925	22505	25299	29220	42312	40553	61522	38334
1976	52301	54397	55587	43266	36190	46732	33685	42159	39480	37476	51723	70245	46937
1977	82873	82662	47714	51870	32364	31535	27823	31338	25535	29661	38551	57665	44966
1978	73845	50221	57681	37057	29562	28610	30448	24504	28027	22930	38577	52240	39475
1979	69585	91128	59271	43418	49501	31662	30157	29563	35607	50154	51718	56405	49847
1980	83403	97573	71064	56466	40949	32136	36575	38395	39745	33073	37784	68846	53001
1981	84531	58343	46949	43450	30828	28979	22344	19918	20292	33257	54789	73452	43094
1982	88115	77282	88719	64128	41495	50293	60399	36910	28330	51670	69889	75622	61071
1983	107595	128736	111288	85513	92392	106893	116102	61564	61517	65266	64956	79598	90118
1984	70512	53179	44892	48651	45726	42432	33992	48131	34996	32951	34982	52354	45233
1985	75946	78808	76738	61990	44053	31963	28133	25634	25544	21977	28063	33175	44335
1986	55702	54261	51280	40526	37594	30329	23484	28352	25758	24338	27584	50524	37478
1987	62197	67725	50178	49606	67001	49995	36911	28535	25659	33917	34920	52036	46557
1988	50709	62354	66655	48755	53901	45660	26935	20191	23597	26523	29715	35404	40867

1989	67060	75175	61424	43327	39942	26945	29509	35975	54958	32075	32459	65935	47065
1990	96252	51727	49577	46925	42364	53608	38540	35982	45340	49733	41048	32263	48613
1991	50953	68897	70485	70816	41961	39366	32001	27104	19814	34519	30231	44119	44189
1992	65516	93000	63437	57260	74199	62168	46700	38987	40357	41256	54123	58868	57989
1993	53119	77105	63981	52051	44218	42186	41941	26645	34786	51066	27365	45622	46674
1994	68603	64281	67981	49554	43152	43980	43016	25801	19545	26714	36283	43074	44332
1995	76101	95801	59118	51190	37011	29922	35374	22615	22758	40007	30533	37782	44851
1996	66759	57156	66382	47113	29287	28512	32661	26147	33797	39521	46785	53988	44009
1997	101577	94759	66160	47914	35713	49083	39656	39129	27942	60132	66284	63042	57616
1998	57873	76948	73599	75225	55859	34765	34244	46836	49008	57858	35603	44913	53561
1999	63585	58355	64576	42322	30226	33752	41696	20393	21883	27002	25203	34788	38648
2000	60091	73962	69715	42165	29568	26582	31060	25126	55459	42599	36627	50824	45315
2001	52852	60173	48612	37446	34287	31108	31017	22356	24756	47194	33215	48342	39280
2002	70301	76245	53364	35264	37545	31742	25104	28029	31738	31415	39331	50747	42569
2003	67016	69965	56214	46382	30858	30128	26308	18534	17572	21149	28466	49917	38542
2004	55490	75386	65498	51832	45814	41050	39668	23533	23386	35503	38332	45766	45105
2005	71708	61367	59243	43654	45067	44505	30450	24502	45459	51657	40776	60456	48237
2006	50833	52519	62616	53019	30688	25475	23489	22379	23615	30759	35652	63582	39552
2007	101551	98000	60771	43763	48243	31536	35506	25283	21771	23218	37358	37127	47011
2008	44988	68242	68009	57857	45527	37447	27604	31377	24176	42182	44737	42904	44588
2009	59973	70594	51759	50618	33879	29263	39948	42261	60793	60848	51246	73553	52061
2010	86461	73891	63386	65158	52323	33873	31772	24873	20505	28512	34426	60360	47962
MÍN	29663	31526	32821	30489	23354	18822	15594	13245	12876	14093	16398	25769	28028
MÉD	62507	66645	61074	47321	38011	34511	31226	27214	29006	33957	36203	48267	42995
MÁX	107595	128736	111288	85513	92392	106893	116102	61564	63944	69103	69889	79598	90118
DESVIO	15924	17267	15288	10642	11577	11689	12593	9390	11308	11744	10250	11941	8793
CV	0,25	0,26	0,25	0,22	0,30	0,34	0,40	0,35	0,39	0,35	0,28	0,25	0,20

**ANEXO 3 – SÉRIES DE VAZÕES MÉDIAS MENSAS E ENERGIAS
NATURAIS – UHE'S (1931-2010)**

UHE BELO MONTE (RIO XINGU) (m³/s)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1931	6720	15603	15024	28377	21385	11156	3204	1615	1063	1531	2414	4409	9375
1932	8288	10831	20099	15360	8821	3947	2854	1707	1348	1353	1737	3461	6651
1933	5586	13325	16684	19387	16123	6687	2589	1242	846	1233	2173	3482	7446
1934	5542	11151	16869	31431	19243	8035	2668	1394	1036	1191	1555	4514	8719
1935	12456	14571	18767	32162	18893	12845	3215	1653	1143	678	1496	4709	10216
1936	11863	18970	14371	18281	10131	4395	1883	1250	1016	761	1428	4175	7377
1937	4365	5908	10586	20528	11789	5276	2947	1763	1392	1272	1633	3254	5893
1938	8511	10827	11769	31154	21481	10025	2645	1475	1177	1254	2444	2511	8773
1939	14508	19005	21863	19728	11199	6848	3631	1789	1276	1201	1966	5070	9007
1940	9770	17682	19653	22773	24638	13201	3582	1575	967	870	1977	2810	9958
1941	6375	8629	15461	22046	12661	5666	2106	1259	995	1565	2010	4004	6898
1942	3098	8614	11771	14644	11300	6263	2674	1312	775	696	2750	4161	5672
1943	12879	22803	42442	12371	10528	4674	2589	1559	834	888	1835	3518	9743
1944	4887	11255	14595	22642	18829	7809	2744	1317	896	1343	2367	3793	7706
1945	6312	14656	14112	35764	26952	14061	2694	1358	894	1171	1846	3370	10266
1946	4117	11114	19633	13384	11693	4171	4358	2484	1524	690	1744	2454	6447
1947	8182	14766	17296	35119	23249	11207	2547	1221	872	1709	1968	4532	10222
1948	8610	16725	26205	22290	13647	5698	2765	1444	1073	914	1193	3463	8669
1949	15085	19731	23408	12747	11413	4727	3122	1729	1262	997	1793	3179	8266
1950	5744	13217	15070	29324	24549	11974	2430	1182	683	859	1386	3292	9143
1951	7424	9566	14444	9564	8404	4309	3368	1666	1218	1006	1583	3401	5496
1952	5002	10942	10867	29924	21274	8043	2930	1634	1239	1399	1564	2309	8094
1953	6801	15791	15205	31488	23729	12380	2914	1469	967	1886	2973	5430	10086
1954	5693	10079	18760	18050	15361	6820	2777	1672	895	655	1353	2594	7059
1955	7872	14756	15835	25487	27575	14775	2884	1268	778	1047	2377	3378	9836
1956	7411	16212	16102	25055	17812	6734	4153	2316	1756	1784	1995	2944	8690
1957	15483	18112	23328	29031	17053	11594	2722	1399	967	584	1290	4058	10468
1958	4644	9676	16982	40610	19158	8236	2486	1547	1213	1044	1520	3850	9247
1959	8384	13447	22444	22341	17334	7857	3218	1612	1129	614	1174	3778	8611
1960	3253	8734	12361	22708	17523	9711	2561	1257	742	791	3127	4732	7292
1961	7448	20711	28301	11301	8721	4833	2889	1417	837	482	1906	2884	7644
1962	4882	7737	13485	23178	12269	4470	2030	1964	1007	921	1930	4178	6504
1963	8472	10916	16482	13775	12105	6207	2683	1327	970	716	1127	2422	6434
1964	17033	21543	25668	35135	19944	12195	2863	1411	1007	1091	1785	4604	12023
1965	6208	14334	16126	27236	16080	6931	2764	1705	1450	1084	1544	3875	8278
1966	3345	7978	9989	20185	16786	6962	3059	1468	999	1280	2255	3614	6493
1967	6377	8354	9610	41621	23626	14447	2518	1240	885	798	1307	3370	9513
1968	4570	6993	12623	25799	13656	4976	2183	1050	684	698	1033	4028	6524
1969	7112	10120	14059	15284	12068	5015	1854	915	425	380	560	1176	5747
1970	3774	9204	18001	14636	13213	4561	2063	1176	698	496	1213	1764	5900
1971	2522	6337	9585	14133	11270	6045	2682	1315	752	693	2650	4144	5177
1972	5532	11920	16523	16925	14544	5837	2689	1290	850	641	1093	1810	6638
1973	4338	6938	14297	19675	17302	7434	3667	2209	1144	1422	2841	5631	7242
1974	7474	15200	21604	27573	25985	13431	4446	2061	1448	1352	1418	4054	10504
1975	7372	15322	19342	20860	18047	8518	3845	1870	1046	735	1148	2817	8410
1976	6406	10941	15398	14931	11247	5523	2475	1193	795	988	2224	5082	6434
1977	9206	15586	18518	17358	19405	10062	4498	1977	1175	1503	3303	4850	8953
1978	15681	16107	25621	22801	17479	9427	4180	2360	1437	1465	1962	3935	10205
1979	8666	18303	24556	18009	11234	5105	2416	1451	1394	1455	1986	3348	8160
1980	8258	15542	30200	21559	10510	4372	2271	1413	1072	1119	1576	4126	8502
1981	10348	15479	12535	16897	9676	4062	2105	1398	1100	965	1754	5296	6801
1982	10087	23290	28311	21711	17471	7184	3378	1843	1317	1854	1989	2725	10097
1983	6258	15094	16609	16910	7538	3707	2037	1355	1068	1189	2343	3938	6504
1984	6847	9563	13533	19397	19100	7517	3087	1581	1303	1375	2562	3386	7438
1985	9688	22569	24857	22859	23251	9520	4061	2132	1333	1348	2673	6761	10921
1986	16328	18760	22578	20716	14760	6667	3309	1844	1426	2146	4047	4294	9740
1987	7062	8633	17126	17850	10593	4587	2264	1354	1035	1167	1450	2985	6342
1988	7200	10431	19275	20819	16692	7321	3284	1645	1114	1156	2142	7120	8183

1989	13358	14113	20126	21904	13296	8748	4448	2287	1530	1408	3006	9778	9500
1990	17948	13564	22254	18137	10799	5292	2757	1874	1250	1357	1878	2861	8331
1991	7597	15933	16984	23195	18062	9119	3692	1861	1185	1231	1878	3543	8690
1992	6751	14080	17538	19152	11683	4874	2352	1451	1193	1501	2069	5364	7334
1993	9233	11123	19537	16090	11027	4930	2372	1419	1312	1348	1814	2994	6933
1994	11106	18103	23477	22538	15418	7193	4402	2111	1458	1357	1512	3598	9356
1995	12016	17631	20361	21050	21479	12182	4723	2260	1366	1201	1509	4312	10008
1996	10460	12357	16231	18060	16710	6697	2940	1629	1150	1128	1965	3600	7744
1997	7373	15086	16017	22807	16755	6131	2873	1603	1176	1183	1280	1952	7853
1998	3731	5668	9887	9843	6605	2880	1421	911	710	717	1383	3653	3951
1999	6886	8013	13396	12449	11303	5610	2231	1104	781	904	1378	3057	5593
2000	10644	15970	22007	22075	13606	5428	2838	1674	1177	1533	2664	6322	8828
2001	11305	13377	17037	18497	10850	6421	3051	1503	1038	1003	1588	4234	7492
2002	11562	12412	12067	13079	7567	4375	1835	1161	810	879	1396	1986	5761
2003	1132	3960	13079	19204	10503	3703	2361	2284	1133	1144	2320	5188	5501
2004	7981	13031	28219	27700	14720	6698	3306	1894	1368	1313	2446	3699	9365
2005	6774	12311	20619	22893	14483	5852	2705	1413	1015	1104	1394	4184	7896
2006	11102	13229	19592	25123	24596	11794	4113	2048	1172	1238	2660	3889	10046
2007	6026	13276	20884	17281	9933	4876	2269	1444	959	871	1053	2259	6761
2008	5110	12076	21338	26880	17548	7203	3034	1662	1149	1090	1344	4946	8615
2009	8374	13074	19208	19073	23271	13555	4746	2191	1493	1534	2485	4889	9491
2010	9216	13091	14023	17683	10433	4976	2264	1345	914	784	1356	3040	6594
2011	7603	14187	21881	20497	16969	6892	3149	1573	1025	1002	3349	6021	8679
MÍN	1132	3960	9585	9564	6605	2880	1421	911	425	380	560	1176	3217
MÉD	8107	13287	18180	21582	15629	7426	2947	1591	1088	1115	1904	3879	8061
MÁX	17948	23290	42442	41621	27575	14775	4746	2484	1756	2146	4047	9778	16051

UHE JIRAU (RIO MADEIRA) (m³/s)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1931	29326	40733	45237	39335	30907	22488	15890	11862	7232	7960	12672	19561	23600
1932	31038	36830	43480	41773	35592	26942	20024	11258	6207	6814	17454	26499	25326
1933	34154	42637	45846	48882	36985	22832	11551	5971	4533	8537	8435	15313	23806
1934	23002	35904	39094	39484	29748	21964	17055	8595	3322	4197	10672	32125	22097
1935	39193	45354	44636	41091	23921	17607	12097	9448	6306	7159	9884	15368	22672
1936	23846	28989	28199	24954	22502	20081	11755	6666	5428	5554	6182	15328	16624
1937	31962	37828	47092	42726	26023	15169	11288	6489	5528	7030	9046	10879	20922
1938	19011	28623	29431	26200	19364	10740	8254	4006	2623	3891	6389	9061	13966
1939	15288	21513	27153	30424	19834	8360	3751	2316	1386	4274	6803	16249	13113
1940	26087	30479	36684	33317	26040	21670	18041	17409	15586	8920	13083	19787	22259
1941	20167	30508	47187	43407	35769	23731	14953	12113	10675	13412	16392	22326	24220
1942	25589	38194	38374	38051	34320	30359	20100	12560	11600	12407	13452	13178	24015
1943	17477	26695	34648	33414	28069	19891	12756	7710	5535	6836	15524	21212	19147
1944	25894	34042	41773	37637	23331	15897	10714	7209	5662	6918	16284	17845	20267
1945	23973	34370	38467	39416	28330	13790	6256	5389	6044	7996	13152	19557	19728
1946	24498	29519	36432	36963	25558	20931	16152	11067	8306	9285	11096	21551	20947
1947	29267	31923	34338	27730	20693	12594	7871	5640	4897	5672	12684	14935	17354
1948	18062	23446	28343	30640	25716	19000	12577	7823	4722	4378	7051	13888	16304
1949	20036	26950	32133	32500	26092	18724	12496	7889	4732	5199	9192	14286	17519
1950	21771	28688	34782	34008	26884	18820	11352	6124	4076	5363	9884	15063	18068
1951	21095	28186	32375	30710	24317	16992	10944	6587	5438	6709	10765	16184	17525
1952	21909	29741	33585	31366	24915	17790	11495	7417	4792	5848	9045	14670	17714
1953	20580	26012	29059	29065	23608	16797	10507	6011	3821	4948	8945	16334	16307
1954	23460	29812	35884	35328	27362	18362	11053	5828	3337	3579	6486	11495	17666
1955	16190	24247	30172	31537	25391	17409	10616	6181	3676	3694	6799	12393	15692
1956	21425	29321	31034	28381	22287	15236	9807	6213	5035	6853	9927	15701	16768
1957	20318	25506	29322	29619	24754	17573	11382	8127	6325	7905	11695	18125	17554
1958	25775	30927	33250	32864	25441	17204	10420	6392	4067	6100	10617	17191	18354
1959	25913	32980	35413	35001	27218	17959	10682	5857	3969	5114	8687	14627	18618
1960	21858	28247	31492	31430	26612	18845	11401	6575	4682	5992	10172	15229	17711
1961	18979	22680	26059	27311	24265	18058	11595	6455	3779	3974	8557	16335	15671
1962	23669	29448	31249	30045	23725	16221	9434	5338	3486	4754	6671	11137	16265
1963	18947	26123	30813	30546	23987	16477	10324	5712	3216	3647	5410	9009	15351
1964	16427	22469	29428	32156	26989	18950	11742	6655	5007	8534	12759	17663	17398
1965	24559	29644	31398	30542	23785	15642	9477	6030	3981	5291	8674	14349	16948
1966	19716	24212	26289	26973	21701	17360	13039	8628	5536	6493	9349	12845	16012
1967	18141	23325	28804	29552	16665	11883	6705	5093	3755	3993	7607	9802	13777
1968	13415	23906	32259	25419	13567	6969	4789	3676	4882	4842	7225	11681	12719
1969	22277	25162	25193	24251	15313	11986	7661	4885	4325	11015	6491	13452	14334
1970	16456	22107	27832	27811	23355	17026	9681	5458	4809	4799	6115	9531	14582
1971	18589	28774	32248	26233	17203	10126	7718	4702	4256	6466	8992	14684	14999
1972	19619	26996	33975	33777	22676	16286	8826	7555	9751	10320	9593	19489	18239
1973	23972	32787	37114	35877	27317	20430	13012	8773	6668	6781	12598	20257	20466
1974	28916	34319	40427	34728	27833	18869	11788	7497	5338	5928	10501	13359	19959
1975	21225	30310	35823	33337	24306	16678	12807	6769	4883	7586	8422	17591	18311
1976	26351	34658	37836	34469	26229	17763	9413	5280	4498	4796	8116	12537	18496
1977	24499	28490	38735	34913	28199	18950	12018	7496	5801	7450	12730	19166	19871
1978	26394	32291	38857	33121	24724	17602	12525	5926	3746	4552	8120	20137	19000
1979	29386	34938	36931	39989	32890	21229	11638	6378	5143	5258	6805	10959	20129
1980	20112	25772	33619	34458	27471	22431	13419	8124	7192	8172	9040	12258	18506
1981	17920	28108	35066	35036	28537	23383	11965	6097	4598	7028	12611	19532	19157
1982	29562	36175	41549	44958	37602	26976	19291	10769	6751	12102	18141	22451	25527
1983	25114	30287	34262	30555	29825	24011	20829	12930	6684	5638	8526	13067	20144
1984	24814	33359	40526	46367	38887	26350	16236	8066	5377	5641	15031	20942	23466
1985	28778	33523	34294	34921	32937	23344	14511	10430	7393	8681	12355	16260	21452
1986	25096	34801	41274	43329	33916	26249	17230	11071	9136	10172	8845	17428	23212
1987	25989	31021	27908	23720	22086	14044	8392	5804	4171	5203	10649	20722	16642
1988	25599	31936	34514	39549	30861	21736	12984	6211	3835	4168	5723	9935	18921

1989	21461	28340	31730	30860	23944	15379	10565	6095	5788	5104	6432	10188	16324
1990	20927	27746	28610	24427	22273	18617	12642	6645	5356	6650	14903	19379	17348
1991	27013	33652	35591	33686	25638	19589	12083	7898	6006	7081	10827	15900	19580
1992	24946	26498	37480	35998	31866	24210	20007	10258	12420	15224	16504	22548	23163
1993	30286	38659	42090	42923	32392	20016	11149	7597	6976	6820	12370	19096	22531
1994	24803	32127	33266	33430	25445	15013	8858	5934	3597	5436	13398	20888	18516
1995	25539	28515	35872	34335	24164	14794	8769	6995	3706	3723	5382	13587	17115
1996	18816	27998	29308	31100	20538	14033	8527	4615	4650	6069	13732	17032	16368
1997	24428	32103	42525	43548	33378	22958	13956	7966	4924	6712	9609	16922	21586
1998	21412	23879	32941	33678	21324	12048	7199	4623	4334	6035	13734	20904	16843
1999	26209	33427	33787	32679	22329	14295	10195	5250	3682	4211	5818	13480	17114
2000	19154	25267	30542	27141	18824	13693	8725	5555	6246	4491	9648	15603	15407
2001	23671	32339	40324	34961	25244	17868	10447	6510	4402	5445	11322	16725	19105
2002	22723	27488	35191	29459	22662	16744	9074	5637	4637	5789	8554	15008	16914
2003	21570	28690	32190	32446	21623	15100	8130	5019	3867	5920	7627	13885	16339
2004	27615	30255	27686	27242	21486	13685	9032	6396	4297	4705	9085	15678	16430
2005	22423	25315	29778	26491	16631	12886	7050	3568	2586	4092	8910	15810	14628
2006	26195	35697	37069	36732	23834	14468	8832	5032	3512	5741	12292	18447	18988
2007	25441	29106	36366	38108	31909	20852	10663	6662	3706	5008	12313	20684	20068
2008	29025	37367	39996	41514	33536	22505	12119	7840	5715	6538	9456	11462	21423
2009	23057	26399	34902	36817	31093	22759	16538	10778	7049	7985	11577	20700	20805
2010	27798	32955	36232	32570	24457	12766	6442	4267	3280	3259	5436	9817	16606
2011	18743	29357	37183	40832	28922	15488	8176	5632	3554	5120	5348	10833	17432
MÍN	13415	21513	25193	23720	13567	6969	3751	2316	1386	3259	5348	9009	10787
MÉD	23530	30235	34813	33854	26024	18056	11500	7127	5331	6407	10104	16137	18593
MÁX	39193	45354	47187	48882	38887	30359	20829	17409	15586	15224	18141	32125	30765

UHE SANTO ANTÔNIO (RIO MADEIRA) (m³/s)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1931	29770	41350	45922	39931	31375	22829	16131	12042	7342	8081	12864	19857	23958
1932	31508	37388	44138	42406	36131	27350	20327	11428	6301	6917	17718	26900	25709
1933	34671	43283	46540	49622	37545	23178	11726	6061	4602	8666	8563	15545	24167
1934	23350	36448	39686	40082	30198	22297	17313	8725	3372	4261	10834	32611	22431
1935	39787	46041	45312	41713	24283	17874	12280	9591	6401	7267	10034	15601	23015
1936	24207	29428	28626	25332	22843	20385	11933	6767	5510	5638	6276	15560	16875
1937	32446	38401	47805	43373	26417	15399	11459	6587	5612	7136	9183	11044	21239
1938	19299	29056	29877	26597	19657	10903	8379	4067	2663	3950	6486	9198	14178
1939	15520	21839	27564	30885	20134	8487	3808	2351	1407	4339	6906	16495	13311
1940	26482	30941	37240	33822	26434	21998	18314	17673	15822	9055	13281	20087	22596
1941	20472	30970	47902	44064	36311	24090	15179	12296	10837	13615	16640	22664	24587
1942	25976	38772	38955	38627	34840	30819	20404	12750	11776	12595	13656	13378	24379
1943	17742	27099	35173	33920	28494	20192	12949	7827	5619	6940	15759	21533	19437
1944	26286	34557	42406	38207	23684	16138	10876	7318	5748	7023	16531	18115	20574
1945	24336	34890	39049	40013	28759	13999	6351	5471	6136	8117	13351	19853	20027
1946	24869	29966	36984	37523	25945	21248	16397	11235	8432	9426	11264	21877	21264
1947	29710	32406	34858	28150	21006	12785	7990	5725	4971	5758	12876	15161	17616
1948	18336	23801	28772	31104	26105	19288	12767	7941	4793	4444	7158	14098	16551
1949	20339	27358	32620	32992	26487	19008	12685	8008	4804	5278	9331	14502	17784
1950	22101	29122	35309	34523	27291	19105	11524	6217	4138	5444	10034	15291	18342
1951	21414	28613	32865	31175	24685	17249	11110	6687	5520	6811	10928	16429	17791
1952	22241	30191	34094	31841	25292	18059	11669	7529	4865	5937	9182	14892	17983
1953	20892	26406	29499	29505	23966	17051	10666	6102	3879	5023	9080	16581	16554
1954	23815	30263	36427	35863	27776	18640	11220	5916	3388	3633	6584	11669	17933
1955	16435	24614	30629	32015	25776	17673	10777	6275	3732	3750	6902	12581	15930
1956	21749	29765	31504	28811	22625	15467	9956	6307	5111	6957	10077	15939	17022
1957	20626	25892	29766	30068	25129	17839	11554	8250	6421	8025	11872	18399	17820
1958	26165	31395	33754	33362	25826	17465	10578	6489	4129	6192	10778	17451	18632
1959	26305	33479	35949	35531	27630	18231	10844	5946	4029	5191	8819	14848	18900
1960	22189	28675	31969	31906	27015	19130	11574	6675	4753	6083	10326	15460	17980
1961	19266	23023	26454	27725	24632	18331	11771	6553	3836	4034	8687	16582	15908
1962	24027	29894	31722	30500	24084	16467	9577	5419	3539	4826	6772	11306	16511
1963	19234	26519	31280	31009	24350	16727	10480	5799	3265	3702	5492	9145	15584
1964	16676	22809	29874	32643	27398	19237	11920	6756	5083	8663	12952	17930	17662
1965	24931	30093	31873	31004	24145	15879	9621	6121	4041	5371	8805	14566	17204
1966	20015	24579	26687	27381	22030	17623	13236	8759	5620	6591	9491	13040	16254
1967	18416	23678	29240	29999	16917	12063	6807	5170	3812	4053	7722	9950	13986
1968	13618	24268	32747	25804	13772	7075	4862	3732	4956	4915	7334	11858	12912
1969	22614	25543	25575	24618	15545	12167	7777	4959	4391	11182	6589	13656	14551
1970	16705	22442	28253	28232	23709	17284	9828	5541	4882	4872	6208	9675	14803
1971	18871	29210	32736	26630	17464	10279	7835	4773	4320	6564	9128	14906	15226
1972	19916	27405	34489	34288	23019	16533	8960	7669	9899	10476	9738	19784	18515
1973	24335	33283	37676	36420	27731	20739	13209	8906	6769	6884	12789	20564	20775
1974	29354	34839	41039	35254	28254	19155	11967	7611	5419	6018	10660	13561	20261
1975	21546	30769	36365	33842	24674	16931	13001	6871	4957	7701	8550	17857	18589
1976	26750	35183	38409	34991	26626	18032	9556	5360	4566	4869	8239	12727	18776
1977	24870	28921	39322	35442	28626	19237	12200	7610	5889	7563	12923	19456	20172
1978	26794	32780	39445	33623	25098	17869	12715	6016	3803	4621	8243	20442	19287
1979	29831	35467	37490	40595	33388	21550	11814	6475	5221	5338	6908	11125	20434
1980	20417	26162	34128	34980	27887	22771	13622	8247	7301	8296	9177	12444	18786
1981	18191	28534	35597	35567	28969	23737	12146	6189	4668	7134	12802	19828	19447
1982	30010	36723	42178	45639	38171	27384	19583	10932	6853	12285	18416	22791	25914
1983	25494	30746	34781	31018	30277	24375	21144	13126	6785	5723	8655	13265	20449
1984	25190	33864	41140	47069	39476	26749	16482	8188	5458	5726	15259	21259	23822
1985	29214	34031	34813	35450	33436	23698	14731	10588	7505	8812	12542	16506	21777
1986	25476	35328	41899	43985	34430	26646	17491	11239	9274	10326	8979	17692	23564
1987	26383	31491	28331	24079	22420	14257	8519	5892	4234	5282	10810	21036	16895
1988	25987	32420	35037	40148	31328	22065	13181	6305	3893	4231	5810	10085	19208

1989	21786	28769	32210	31327	24307	15612	10725	6187	5876	5181	6529	10342	16571
1990	21244	28166	29043	24797	22610	18899	12833	6746	5437	6751	15129	19672	17611
1991	27422	34162	36130	34196	26026	19886	12266	8018	6097	7188	10991	16141	19877
1992	25324	26899	38048	36543	32349	24577	20310	10413	12608	15455	16754	22889	23514
1993	30745	39244	42727	43573	32883	20319	11318	7712	7082	6923	12557	19385	22872
1994	25179	32614	33770	33936	25830	15240	8992	6024	3651	5518	13601	21204	18797
1995	25926	28947	36415	34855	24530	15018	8902	7101	3762	3779	5464	13793	17374
1996	19101	28422	29752	31571	20849	14245	8656	4685	4720	6161	13940	17290	16616
1997	24798	32589	43169	44207	33883	23306	14167	8087	4999	6814	9755	17178	21913
1998	21736	24241	33440	34188	21647	12230	7308	4693	4400	6126	13942	21221	17098
1999	26606	33933	34299	33174	22667	14511	10349	5329	3738	4275	5906	13684	17373
2000	19444	25650	31004	27552	19109	13900	8857	5639	6341	4559	9794	15839	15641
2001	24029	32829	40935	35490	25626	18139	10605	6609	4469	5527	11493	16978	19394
2002	23067	27904	35724	29905	23005	16998	9211	5722	4707	5877	8684	15235	17170
2003	21897	29124	32677	32937	21950	15329	8253	5095	3926	6010	7743	14095	16586
2004	28034	30713	28105	27655	21811	13893	9169	6493	4362	4776	9223	15915	16679
2005	22763	25698	30229	26892	16883	13081	7156	3622	2625	4154	9044	16050	14850
2006	26592	36237	37630	37288	24194	14687	8966	5109	3565	5828	12478	18726	19275
2007	25826	29547	36916	38685	32392	21168	10825	6762	3762	5083	12499	20997	20372
2008	29461	37929	40597	42137	34040	22843	12301	7958	5801	6636	9598	11634	21744
2009	23396	26633	35419	37375	31558	23216	16783	10945	7152	8087	11758	21009	21111
2010	28256	33497	36828	33106	24860	12976	6548	4337	3334	3313	5525	9979	16880
2011	19027	29801	37747	41451	29360	15722	8300	5717	3608	5198	5429	10997	17696
MÍN	13618	21839	25575	24079	13772	7075	3808	2351	1407	3313	5429	9145	10951
MÉD	23887	30691	35341	34367	26418	18331	11674	7235	5412	6504	10257	16382	18875
MÁX	39787	46041	47902	49622	39476	30819	21144	17673	15822	15455	18416	32611	31231

UHE BELO MONTE (RIO XINGU) (MWmed)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1931	5005	11622	11191	21137	15929	8310	2387	1203	792	1140	1798	3284	6983
1932	6173	8068	14971	11441	6570	2940	2126	1271	1004	1008	1294	2578	4954
1933	4161	9925	12427	14440	12009	4981	1928	925	630	918	1619	2594	5546
1934	4128	8306	12565	23411	14333	5985	1987	1038	772	887	1158	3362	6494
1935	9278	10853	13979	23956	14073	9568	2395	1231	851	505	1114	3508	7609
1936	8836	14130	10704	13617	7546	3274	1403	931	757	567	1064	3110	5495
1937	3251	4401	7885	15290	8781	3930	2195	1313	1037	947	1216	2424	4389
1938	6339	8065	8766	23205	16000	7467	1970	1099	877	934	1820	1870	6534
1939	10806	14156	16285	14694	8342	5101	2705	1333	950	895	1464	3776	6709
1940	7277	13170	14639	16963	18352	9833	2668	1173	720	648	1473	2093	7417
1941	4748	6427	11516	16421	9431	4220	1569	938	741	1166	1497	2982	5138
1942	2308	6416	8768	10908	8417	4665	1992	977	577	518	2048	3099	4224
1943	9593	16985	31613	9215	7842	3481	1928	1161	621	661	1367	2620	7257
1944	3640	8383	10871	16865	14025	5817	2044	981	667	1000	1763	2825	5740
1945	4702	10917	10511	26639	20075	10473	2007	1012	666	872	1375	2510	7647
1946	3067	8278	14624	9969	8710	3107	3246	1850	1135	514	1299	1828	4802
1947	6094	10999	12883	26158	17317	8348	1897	909	650	1273	1466	3376	7614
1948	6413	12458	19519	16603	10165	4244	2060	1076	799	681	889	2579	6457
1949	11236	14697	17436	9495	8501	3521	2325	1288	940	743	1336	2368	6157
1950	4278	9845	11225	21842	18285	8919	1810	880	509	640	1032	2452	6810
1951	5530	7125	10759	7124	6260	3210	2509	1241	907	749	1179	2533	4094
1952	3726	8150	8094	22289	15846	5991	2182	1217	923	1042	1165	1720	6029
1953	5066	11762	11325	23454	17675	9221	2171	1094	720	1405	2214	4045	7513
1954	4240	7507	13973	13445	11442	5080	2068	1245	667	488	1008	1932	5258
1955	5863	10991	11795	18984	20539	11005	2148	944	579	780	1771	2516	7326
1956	5520	12076	11994	18662	13267	5016	3093	1725	1308	1329	1486	2193	6472
1957	11533	13491	17376	21624	12702	8636	2027	1042	720	435	961	3023	7797
1958	3459	7207	12649	30248	14270	6135	1852	1152	904	778	1132	2868	6888
1959	6245	10016	16717	16641	12911	5852	2397	1201	841	457	874	2814	6414
1960	2423	6506	9207	16914	13052	7233	1908	936	553	589	2329	3525	5431
1961	5548	15427	21080	8418	6496	3600	2152	1055	623	359	1420	2148	5694
1962	3636	5763	10044	17264	9139	3329	1512	1463	750	686	1438	3112	4845
1963	6310	8131	12277	10260	9016	4623	1998	988	723	533	839	1804	4792
1964	12687	16046	19119	26170	14855	9083	2133	1051	750	813	1330	3429	8956
1965	4624	10677	12012	20287	11977	5163	2059	1270	1080	807	1150	2886	6166
1966	2492	5942	7440	15035	12503	5186	2279	1093	744	953	1680	2692	4837
1967	4750	6223	7158	31002	17598	10761	1876	924	659	594	974	2510	7086
1968	3404	5209	9402	19216	10172	3706	1626	782	509	520	769	3000	4860
1969	5297	7538	10472	11384	8989	3735	1381	682	317	283	417	876	4281
1970	2811	6856	13408	10902	9842	3397	1537	876	520	369	904	1314	4395
1971	1879	4720	7139	10527	8394	4503	1998	979	560	516	1974	3087	3856
1972	4121	8879	12307	12607	10833	4348	2003	961	633	477	814	1348	4944
1973	3231	5168	10649	14655	12887	5537	2731	1645	852	1059	2116	4194	5394
1974	5567	11322	16092	20538	19355	10004	3312	1535	1079	1007	1056	3020	7824
1975	5491	11413	14407	15538	13442	6345	2864	1393	779	547	855	2098	6264
1976	4772	8149	11469	11121	8377	4114	1844	889	592	736	1657	3785	4792
1977	6857	11609	13793	12929	14454	7495	3350	1473	875	1120	2460	3613	6669
1978	11680	11997	19084	16983	13019	7022	3113	1758	1070	1091	1461	2931	7601
1979	6455	13633	18291	13414	8368	3802	1800	1081	1038	1084	1479	2494	6078
1980	6151	11577	22495	16058	7828	3256	1692	1052	798	833	1174	3073	6332
1981	7708	11530	9337	12586	7207	3026	1568	1041	819	719	1306	3945	5066
1982	7513	17348	21088	16172	13013	5351	2516	1373	981	1381	1482	2030	7521
1983	4661	11243	12371	12595	5615	2761	1517	1009	796	886	1745	2933	4844
1984	5100	7123	10080	14448	14227	5599	2299	1178	971	1024	1908	2522	5540
1985	7216	16811	18515	17027	17319	7091	3025	1588	993	1004	1991	5036	8135
1986	12162	13973	16817	15430	10994	4966	2465	1374	1062	1598	3014	3198	7255
1987	5260	6430	12756	13296	7890	3417	1686	1009	771	869	1080	2223	4724
1988	5363	7770	14357	15507	12433	5453	2446	1225	830	861	1595	5303	6095
1989	9950	10512	14991	16315	9904	6516	3313	1703	1140	1049	2239	7283	7076

1990	13369	10103	16576	13509	8044	3942	2054	1396	931	1011	1399	2131	6205
1991	5659	11868	12651	17277	13454	6792	2750	1386	883	917	1399	2639	6473
1992	5029	10488	13063	14265	8702	3630	1752	1081	889	1118	1541	3995	5463
1993	6877	8285	14552	11985	8213	3672	1767	1057	977	1004	1351	2230	5164
1994	8272	13484	17487	16788	11484	5358	3279	1572	1086	1011	1126	2680	6969
1995	8950	13133	15166	15679	15999	9074	3518	1683	1017	895	1124	3212	7454
1996	7791	9204	12090	13452	12446	4988	2190	1213	857	840	1464	2681	5768
1997	5492	11237	11930	16988	12480	4567	2140	1194	876	881	953	1454	5849
1998	2779	4222	7364	7332	4920	2145	1058	679	529	534	1030	2721	2943
1999	5129	5969	9978	9273	8419	4179	1662	822	582	673	1026	2277	4166
2000	7928	11895	16392	16443	10134	4043	2114	1247	877	1142	1984	4709	6576
2001	8421	9964	12690	13778	8082	4783	2273	1120	773	747	1183	3154	5580
2002	8612	9245	8988	9742	5636	3259	1367	865	603	655	1040	1479	4291
2003	843	2950	9742	14304	7823	2758	1759	1701	844	852	1728	3864	4097
2004	5945	9706	21019	20632	10964	4989	2462	1411	1019	978	1822	2755	6975
2005	5046	9170	15358	17052	10788	4359	2015	1052	756	822	1038	3116	5881
2006	8269	9854	14593	18713	18320	8785	3064	1525	873	922	1981	2897	7483
2007	4488	9889	15556	12872	7399	3632	1690	1076	714	649	784	1683	5036
2008	3806	8995	15894	20022	13071	5365	2260	1238	856	812	1001	3684	6417
2009	6237	9738	14307	14207	17334	10097	3535	1632	1112	1143	1851	3641	7070
2010	6865	9751	10445	13171	7771	3706	1686	1002	681	584	1010	2264	4911
MÍN	843	2950	7139	7124	4920	2145	1058	679	317	283	417	876	2943
MÉD	6043	9889	13507	16085	11629	5536	2194	1185	811	832	1405	2870	5999
MÁX	13369	17348	31613	31002	20539	11005	3535	1850	1308	1598	3014	7283	8956
DESVIO	2628	3140	4121	4993	3838	2257	550	264	184	262	454	957	1214
CV	0,43	0,32	0,31	0,31	0,33	0,41	0,25	0,22	0,23	0,32	0,32	0,33	0,20

UHE JIRAU (RIO MADEIRA) (MWmed)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1931	3786	5259	5841	5079	3991	2904	2052	1532	934	1028	1636	2526	3047
1932	4007	4755	5614	5393	4595	3479	2585	1454	801	880	2254	3421	3270
1933	4410	5505	5919	6311	4775	2948	1491	771	585	1102	1089	1977	3074
1934	2970	4636	5048	5098	3841	2836	2202	1110	429	542	1378	4148	2853
1935	5060	5856	5763	5305	3089	2273	1562	1220	814	924	1276	1984	2927
1936	3079	3743	3641	3222	2905	2593	1518	861	701	717	798	1979	2146
1937	4127	4884	6080	5516	3360	1959	1457	838	714	908	1168	1405	2701
1938	2455	3696	3800	3383	2500	1387	1066	517	339	502	825	1170	1803
1939	1974	2778	3506	3928	2561	1079	484	299	179	552	878	2098	1693
1940	3368	3935	4736	4302	3362	2798	2329	2248	2012	1152	1689	2555	2874
1941	2604	3939	6092	5604	4618	3064	1931	1564	1378	1732	2116	2883	3127
1942	3304	4931	4955	4913	4431	3920	2595	1622	1498	1602	1737	1701	3101
1943	2257	3447	4474	4314	3624	2568	1647	995	715	883	2004	2739	2472
1944	3343	4395	5393	4859	3012	2053	1383	931	731	893	2102	2304	2617
1945	3095	4438	4967	5089	3658	1780	808	696	780	1032	1698	2525	2547
1946	3163	3811	4704	4772	3300	2702	2085	1429	1072	1199	1433	2783	2704
1947	3779	4122	4433	3580	2672	1626	1016	728	632	732	1638	1928	2241
1948	2332	3027	3659	3956	3320	2453	1624	1010	610	565	910	1793	2105
1949	2587	3480	4149	4196	3369	2418	1613	1019	611	671	1187	1845	2262
1950	2811	3704	4491	4391	3471	2430	1466	791	526	692	1276	1945	2333
1951	2724	3639	4180	3965	3140	2194	1413	850	702	866	1390	2090	2263
1952	2829	3840	4336	4050	3217	2297	1484	958	619	755	1168	1894	2287
1953	2657	3358	3752	3753	3048	2169	1357	776	493	639	1155	2109	2105
1954	3029	3849	4633	4561	3533	2371	1427	752	431	462	837	1484	2281
1955	2090	3131	3896	4072	3278	2248	1371	798	475	477	878	1600	2026
1956	2766	3786	4007	3664	2878	1967	1266	802	650	885	1282	2027	2165
1957	2623	3293	3786	3824	3196	2269	1470	1049	817	1021	1510	2340	2266
1958	3328	3993	4293	4243	3285	2221	1345	825	525	788	1371	2220	2370
1959	3346	4258	4572	4519	3514	2319	1379	756	512	660	1122	1889	2404
1960	2822	3647	4066	4058	3436	2433	1472	849	605	774	1313	1966	2287
1961	2450	2928	3365	3526	3133	2332	1497	833	488	513	1105	2109	2023
1962	3056	3802	4035	3879	3063	2094	1218	689	450	614	861	1438	2100
1963	2446	3373	3978	3944	3097	2127	1333	737	415	471	699	1163	1982
1964	2121	2901	3800	4152	3485	2447	1516	859	646	1102	1647	2281	2246
1965	3171	3827	4054	3943	3071	2020	1224	779	514	683	1120	1853	2188
1966	2546	3126	3394	3483	2802	2241	1684	1114	715	838	1207	1658	2067
1967	2342	3012	3719	3816	2152	1534	866	658	485	516	982	1266	1779
1968	1732	3087	4165	3282	1752	900	618	475	630	625	933	1508	1642
1969	2876	3249	3253	3131	1977	1548	989	631	558	1422	838	1737	1851
1970	2125	2854	3593	3591	3015	2198	1250	705	621	620	790	1231	1883
1971	2400	3715	4164	3387	2221	1307	996	607	550	835	1161	1896	1937
1972	2533	3486	4387	4361	2928	2103	1140	975	1259	1332	1239	2516	2355
1973	3095	4233	4792	4632	3527	2638	1680	1133	861	876	1627	2615	2642
1974	3733	4431	5220	4484	3594	2436	1522	968	689	765	1356	1725	2577
1975	2740	3913	4625	4304	3138	2153	1654	874	630	979	1087	2271	2364
1976	3402	4475	4885	4450	3387	2293	1215	682	581	619	1048	1619	2388
1977	3163	3678	5001	4508	3641	2447	1552	968	749	962	1644	2475	2566
1978	3408	4169	5017	4276	3192	2273	1617	765	484	588	1048	2600	2453
1979	3794	4511	4768	5163	4247	2741	1503	823	664	679	879	1415	2599
1980	2597	3328	4341	4449	3547	2896	1733	1049	929	1055	1167	1583	2389
1981	2314	3629	4527	4524	3685	3019	1545	787	594	907	1628	2522	2473
1982	3817	4671	5365	5805	4855	3483	2491	1390	872	1563	2342	2899	3296
1983	3243	3910	4424	3945	3851	3100	2689	1669	863	728	1101	1687	2601
1984	3204	4307	5232	5987	5021	3402	2096	1041	694	728	1941	2704	3030
1985	3716	4328	4428	4509	4253	3014	1874	1347	955	1121	1595	2099	2770
1986	3240	4493	5329	5594	4379	3389	2225	1429	1180	1313	1142	2250	2997
1987	3356	4005	3603	3063	2852	1813	1084	749	539	672	1375	2675	2149
1988	3305	4123	4456	5106	3985	2806	1676	802	495	538	739	1283	2443

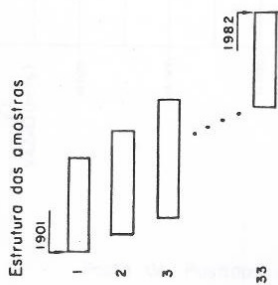
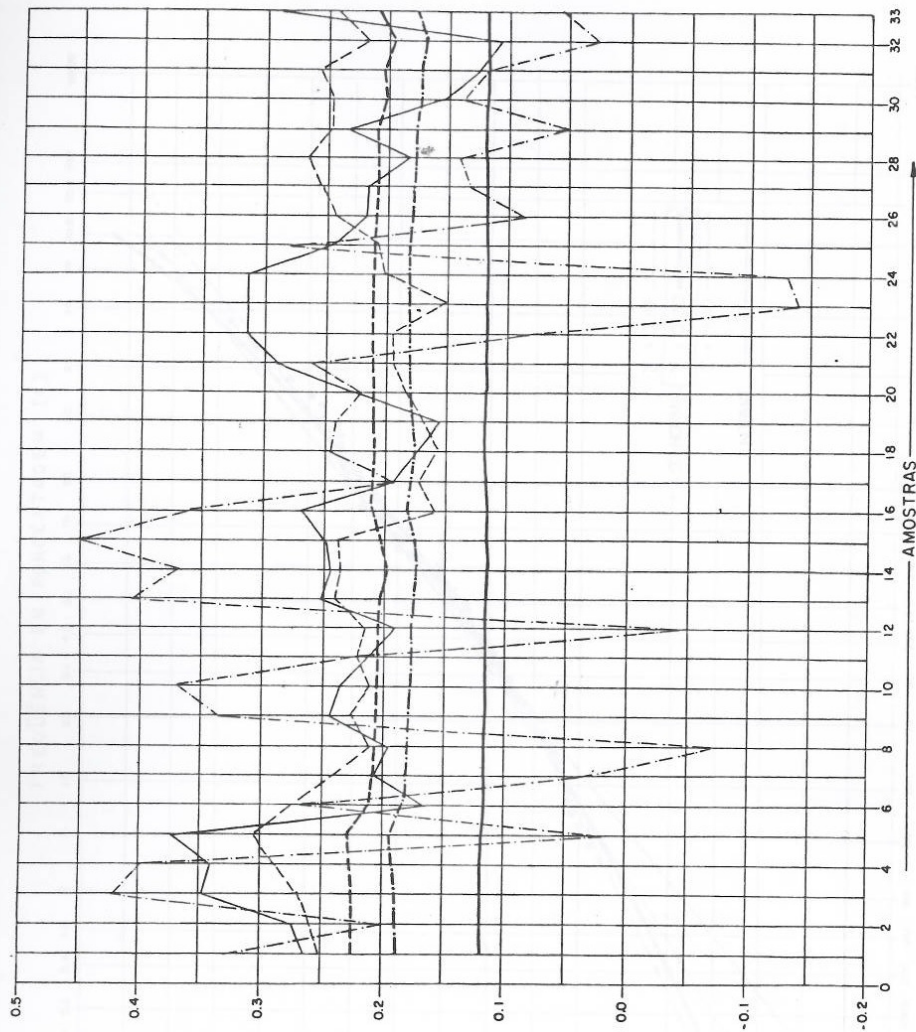
1989	2771	3659	4097	3984	3091	1986	1364	787	747	659	830	1315	2108
1990	2702	3582	3694	3154	2876	2404	1632	858	692	859	1924	2502	2240
1991	3488	4345	4595	4349	3310	2529	1560	1020	775	914	1398	2053	2528
1992	3221	3421	4839	4648	4114	3126	2583	1324	1604	1966	2131	2911	2991
1993	3910	4991	5434	5542	4182	2584	1439	981	901	881	1597	2466	2909
1994	3202	4148	4295	4316	3285	1938	1144	766	464	702	1730	2697	2391
1995	3297	3682	4632	4433	3120	1910	1132	903	478	481	695	1754	2210
1996	2429	3615	3784	4015	2652	1812	1101	596	600	784	1773	2199	2113
1997	3154	4145	5491	5623	4310	2964	1802	1029	636	867	1241	2185	2787
1998	2765	3083	4253	4348	2753	1556	929	597	560	779	1773	2699	2175
1999	3384	4316	4362	4219	2883	1846	1316	678	475	544	751	1740	2210
2000	2473	3262	3943	3504	2430	1768	1127	717	806	580	1246	2015	1989
2001	3056	4175	5206	4514	3259	2307	1349	841	568	703	1462	2159	2467
2002	2934	3549	4544	3804	2926	2162	1172	728	599	747	1104	1938	2184
2003	2785	3704	4156	4189	2792	1950	1050	648	499	764	985	1793	2110
2004	3565	3906	3575	3517	2774	1767	1166	826	555	607	1173	2024	2121
2005	2895	3269	3845	3420	2147	1664	910	461	334	528	1150	2041	1889
2006	3382	4609	4786	4743	3077	1868	1140	650	453	741	1587	2382	2452
2007	3285	3758	4695	4920	4120	2692	1377	860	478	647	1590	2671	2591
2008	3748	4825	5164	5360	4330	2906	1565	1012	738	844	1221	1480	2766
2009	2977	3408	4506	4754	4015	2938	2135	1392	910	1031	1495	2673	2686
2010	3589	4255	4678	4205	3158	1648	832	551	423	421	702	1268	2144
MÍN	1732	2778	3253	3063	1752	900	484	299	179	421	695	1163	1642
MÉD	3046	3905	4491	4360	3355	2335	1490	923	691	829	1312	2092	2403
MÁX	5060	5856	6092	6311	5021	3920	2689	2248	2012	1966	2342	4148	3296

UHE SANTO ANTÔNIO (RIO MADEIRA) (MWmed)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1931	3939	5471	6075	5283	4151	3020	2134	1593	971	1069	1702	2627	3170
1932	4169	4946	5839	5610	4780	3618	2689	1512	834	915	2344	3559	3401
1933	4587	5726	6157	6565	4967	3066	1551	802	609	1147	1133	2057	3197
1934	3089	4822	5250	5303	3995	2950	2291	1154	446	564	1433	4314	2968
1935	5264	6091	5995	5519	3213	2365	1625	1269	847	961	1328	2064	3045
1936	3203	3893	3787	3351	3022	2697	1579	895	729	746	830	2059	2233
1937	4293	5080	6325	5738	3495	2037	1516	871	742	944	1215	1461	2810
1938	2553	3844	3953	3519	2601	1442	1109	538	352	523	858	1217	1876
1939	2053	2889	3647	4086	2664	1123	504	311	186	574	914	2182	1761
1940	3504	4094	4927	4475	3497	2910	2423	2338	2093	1198	1757	2658	2989
1941	2708	4097	6337	5830	4804	3187	2008	1627	1434	1801	2201	2998	3253
1942	3437	5130	5154	5110	4609	4077	2699	1687	1558	1666	1807	1770	3225
1943	2347	3585	4653	4488	3770	2671	1713	1036	743	918	2085	2849	2572
1944	3478	4572	5610	5055	3133	2135	1439	968	760	929	2187	2397	2722
1945	3220	4616	5166	5294	3805	1852	840	724	812	1074	1766	2627	2650
1946	3290	3965	4893	4964	3433	2811	2169	1486	1116	1247	1490	2894	2813
1947	3931	4287	4612	3724	2779	1691	1057	757	658	762	1703	2006	2331
1948	2426	3149	3807	4115	3454	2552	1689	1051	634	588	947	1865	2190
1949	2691	3619	4316	4365	3504	2515	1678	1059	636	698	1234	1919	2353
1950	2924	3853	4671	4567	3611	2528	1525	823	547	720	1328	2023	2427
1951	2833	3786	4348	4124	3266	2282	1470	885	730	901	1446	2174	2354
1952	2942	3994	4511	4213	3346	2389	1544	996	644	785	1215	1970	2379
1953	2764	3494	3903	3904	3171	2256	1411	807	513	665	1201	2194	2190
1954	3151	4004	4819	4745	3675	2466	1484	783	448	481	871	1544	2373
1955	2174	3256	4052	4236	3410	2338	1426	830	494	496	913	1664	2108
1956	2877	3938	4168	3812	2993	2046	1317	834	676	920	1333	2109	2252
1957	2729	3426	3938	3978	3325	2360	1529	1091	850	1062	1571	2434	2358
1958	3462	4154	4466	4414	3417	2311	1399	858	546	819	1426	2309	2465
1959	3480	4429	4756	4701	3655	2412	1435	787	533	687	1167	1964	2500
1960	2936	3794	4230	4221	3574	2531	1531	883	629	805	1366	2045	2379
1961	2549	3046	3500	3668	3259	2425	1557	867	508	534	1149	2194	2105
1962	3179	3955	4197	4035	3186	2179	1267	717	468	638	896	1496	2184
1963	2545	3508	4138	4103	3222	2213	1387	767	432	490	727	1210	2062
1964	2206	3018	3952	4319	3625	2545	1577	894	672	1146	1714	2372	2337
1965	3298	3981	4217	4102	3194	2101	1273	810	535	711	1165	1927	2276
1966	2648	3252	3531	3623	2915	2332	1751	1159	744	872	1256	1725	2150
1967	2436	3133	3868	3969	2238	1596	901	684	504	536	1022	1316	1850
1968	1802	3211	4332	3414	1822	936	643	494	656	650	970	1569	1708
1969	2992	3379	3384	3257	2057	1610	1029	656	581	1479	872	1807	1925
1970	2210	2969	3738	3735	3137	2287	1300	733	646	645	821	1280	1958
1971	2497	3864	4331	3523	2310	1360	1037	631	572	868	1208	1972	2014
1972	2635	3626	4563	4536	3045	2187	1185	1015	1310	1386	1288	2617	2449
1973	3220	4403	4985	4818	3669	2744	1748	1178	896	911	1692	2721	2749
1974	3884	4609	5429	4664	3738	2534	1583	1007	717	796	1410	1794	2681
1975	2851	4071	4811	4477	3264	2240	1720	909	656	1019	1131	2362	2459
1976	3539	4655	5082	4629	3523	2386	1264	709	604	644	1090	1684	2484
1977	3290	3826	5202	4689	3787	2545	1614	1007	779	1001	1710	2574	2669
1978	3545	4337	5219	4448	3320	2364	1682	796	503	611	1091	2704	2552
1979	3947	4692	4960	5371	4417	2851	1563	857	691	706	914	1472	2703
1980	2701	3461	4515	4628	3689	3013	1802	1091	966	1098	1214	1646	2485
1981	2407	3775	4709	4706	3833	3140	1607	819	618	944	1694	2623	2573
1982	3970	4858	5580	6038	5050	3623	2591	1446	907	1625	2436	3015	3428
1983	3373	4068	4602	4104	4006	3225	2797	1737	898	757	1145	1755	2705
1984	3333	4480	5443	6227	5223	3539	2181	1083	722	758	2019	2813	3152
1985	3865	4502	4606	4690	4424	3135	1949	1401	993	1166	1659	2184	2881
1986	3370	4674	5543	5819	4555	3525	2314	1487	1227	1366	1188	2341	3117
1987	3490	4166	3748	3186	2966	1886	1127	780	560	699	1430	2783	2235
1988	3438	4289	4635	5312	4145	2919	1744	834	515	560	769	1334	2541

1989	2882	3806	4261	4145	3216	2065	1419	819	777	685	864	1368	2192
1990	2811	3726	3842	3281	2991	2500	1698	892	719	893	2002	2603	2330
1991	3628	4520	4780	4524	3443	2631	1623	1061	807	951	1454	2135	2630
1992	3350	3559	5034	4835	4280	3252	2687	1378	1668	2045	2217	3028	3111
1993	4068	5192	5653	5765	4350	2688	1497	1020	937	916	1661	2565	3026
1994	3331	4315	4468	4490	3417	2016	1190	797	483	730	1799	2805	2487
1995	3430	3830	4818	4611	3245	1987	1178	939	498	500	723	1825	2299
1996	2527	3760	3936	4177	2758	1885	1145	620	624	815	1844	2287	2198
1997	3281	4312	5711	5849	4483	3083	1874	1070	661	901	1291	2273	2899
1998	2876	3207	4424	4523	2864	1618	967	621	582	810	1845	2808	2262
1999	3520	4489	4538	4389	2999	1920	1369	705	495	566	781	1810	2298
2000	2572	3394	4102	3645	2528	1839	1172	746	839	603	1296	2096	2069
2001	3179	4343	5416	4695	3390	2400	1403	874	591	731	1521	2246	2566
2002	3052	3692	4726	3956	3044	2249	1219	757	623	778	1149	2016	2272
2003	2897	3853	4323	4358	2904	2028	1092	674	519	795	1024	1865	2194
2004	3709	4063	3718	3659	2886	1838	1213	859	577	632	1220	2106	2207
2005	3012	3400	3999	3558	2234	1731	947	479	347	550	1197	2123	1965
2006	3518	4794	4978	4933	3201	1943	1186	676	472	771	1651	2477	2550
2007	3417	3909	4884	5118	4285	2801	1432	895	498	672	1654	2778	2695
2008	3898	5018	5371	5575	4503	3022	1627	1053	767	878	1270	1539	2877
2009	3095	3524	4686	4945	4175	3072	2220	1448	946	1070	1556	2779	2793
2010	3738	4432	4872	4380	3289	1717	866	574	441	438	731	1320	2233
MÍN	1802	2889	3384	3186	1822	936	504	311	186	438	723	1210	1708
MÉD	3168	4062	4672	4535	3490	2430	1550	960	719	863	1365	2176	2499
MÁX	5264	6091	6337	6565	5223	4077	2797	2338	2093	2045	2436	4314	3428
DESVIO	605	650	700	750	700	596	475	331	300	310	414	562	395
CV	0,19	0,16	0,15	0,17	0,20	0,25	0,31	0,34	0,42	0,36	0,30	0,26	0,16

ANEXO 4 – INFLUENCIA DAS AMOSTRAS NOS PARÂMETROS ρ, γ

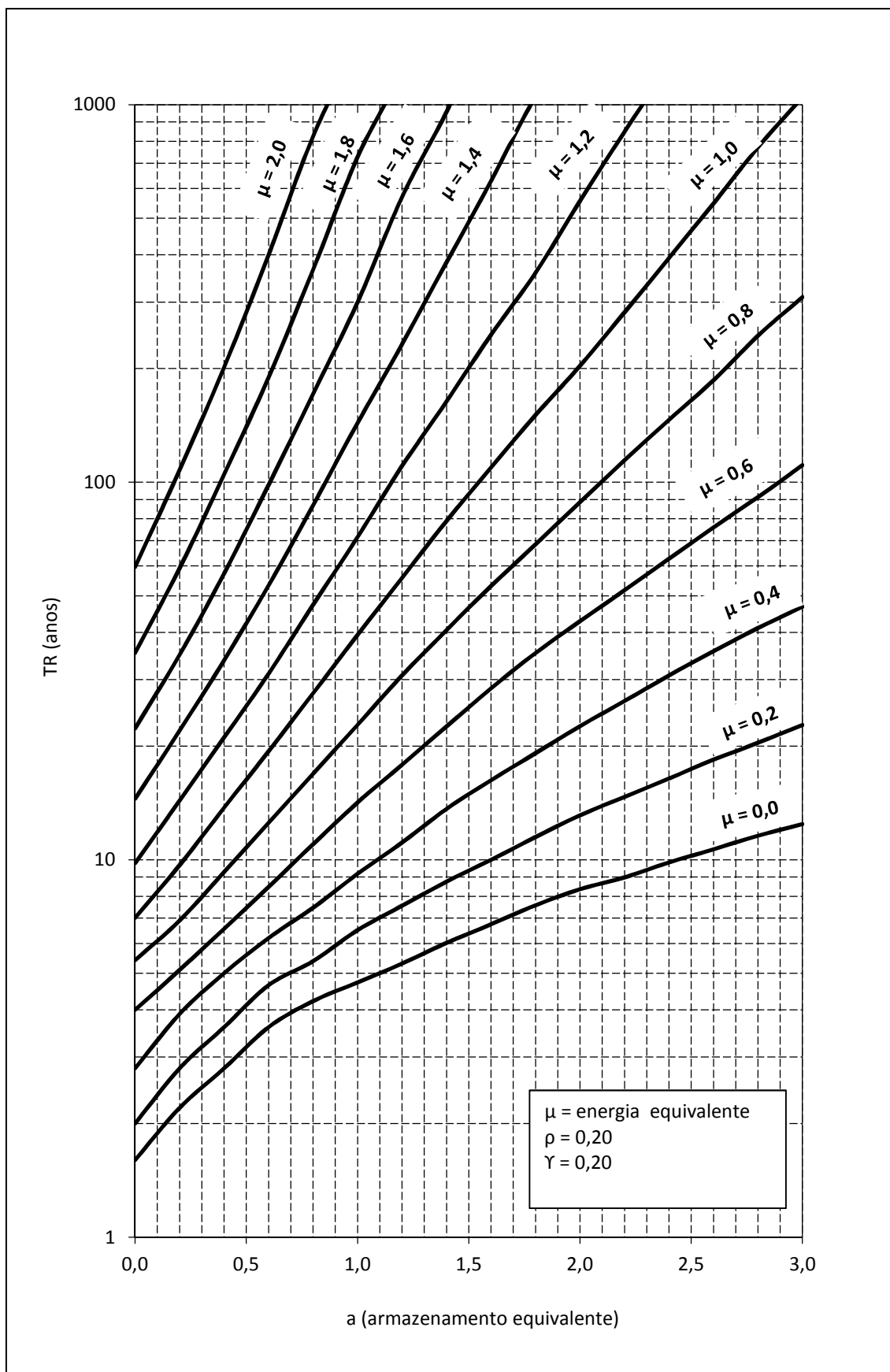


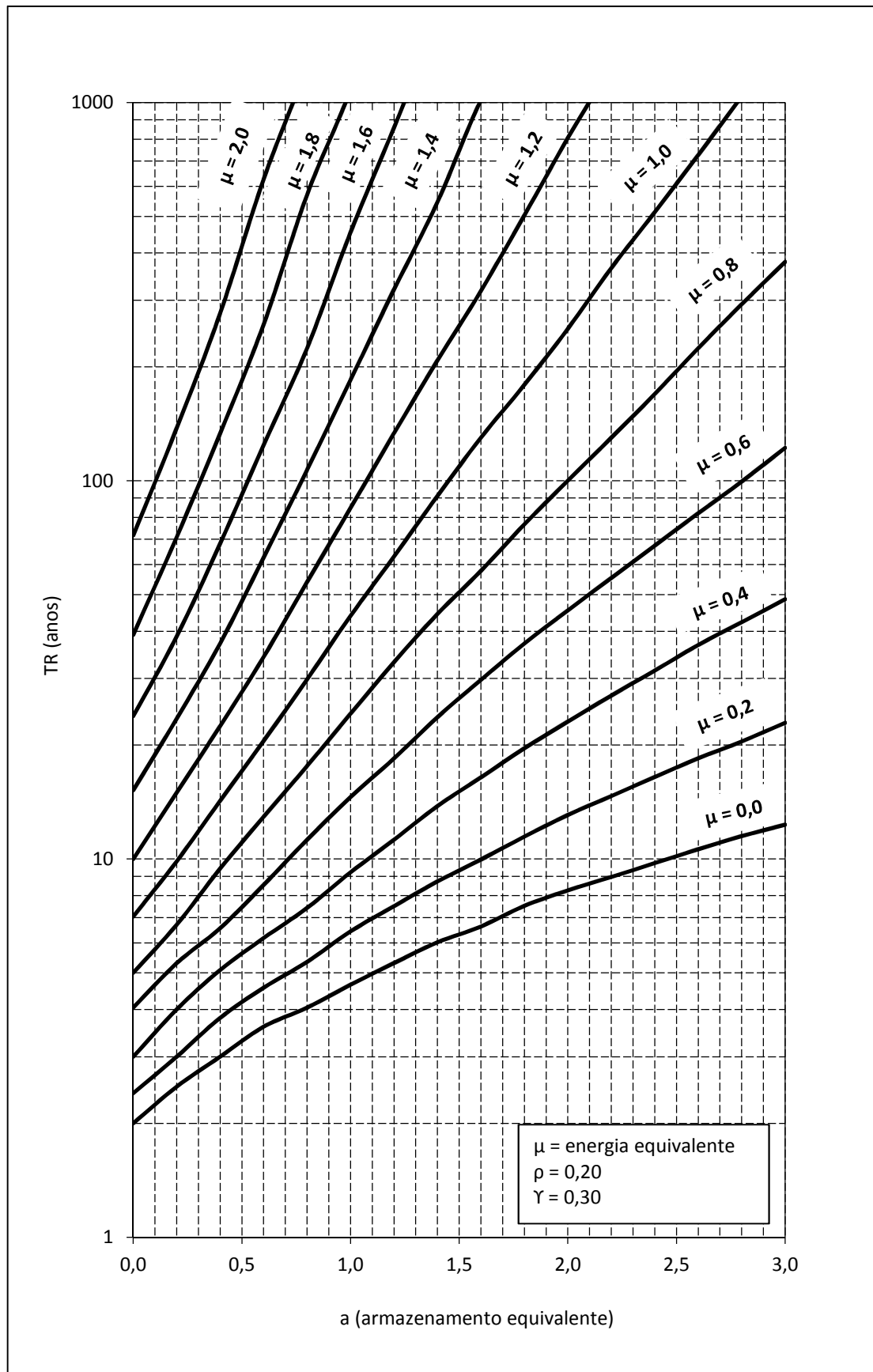
Convenções:

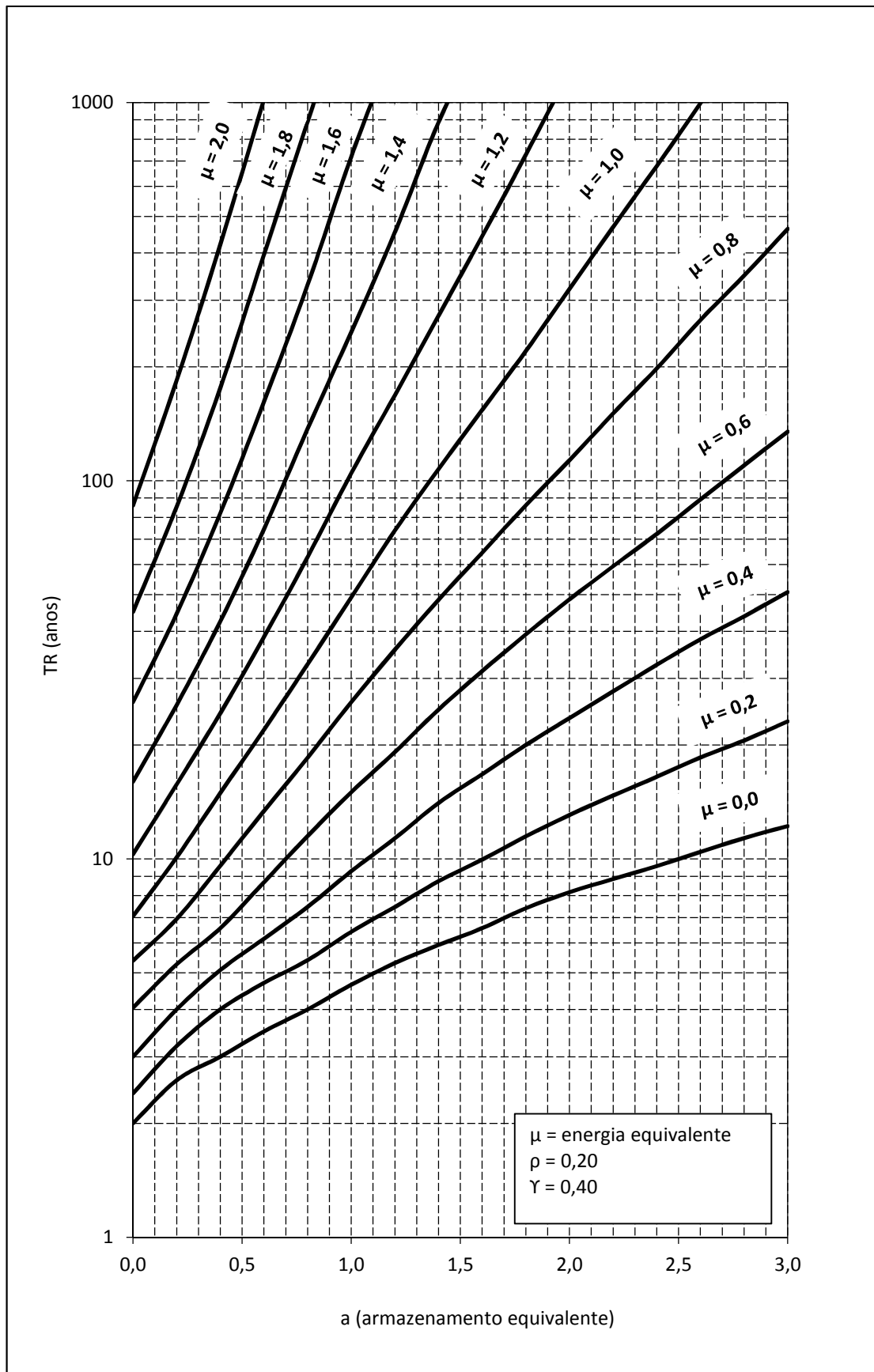
- $\hat{\mu} / 100.000$
- - - $\hat{\sigma} / 10.000$
- · - C_v
- $\hat{\delta}$
- - - $\hat{\rho}_1 (\hat{\mu}_1 \neq \hat{\mu}_2)$
- · - $\hat{\rho}_2 (\hat{\mu}_1 = \hat{\mu}_2)$

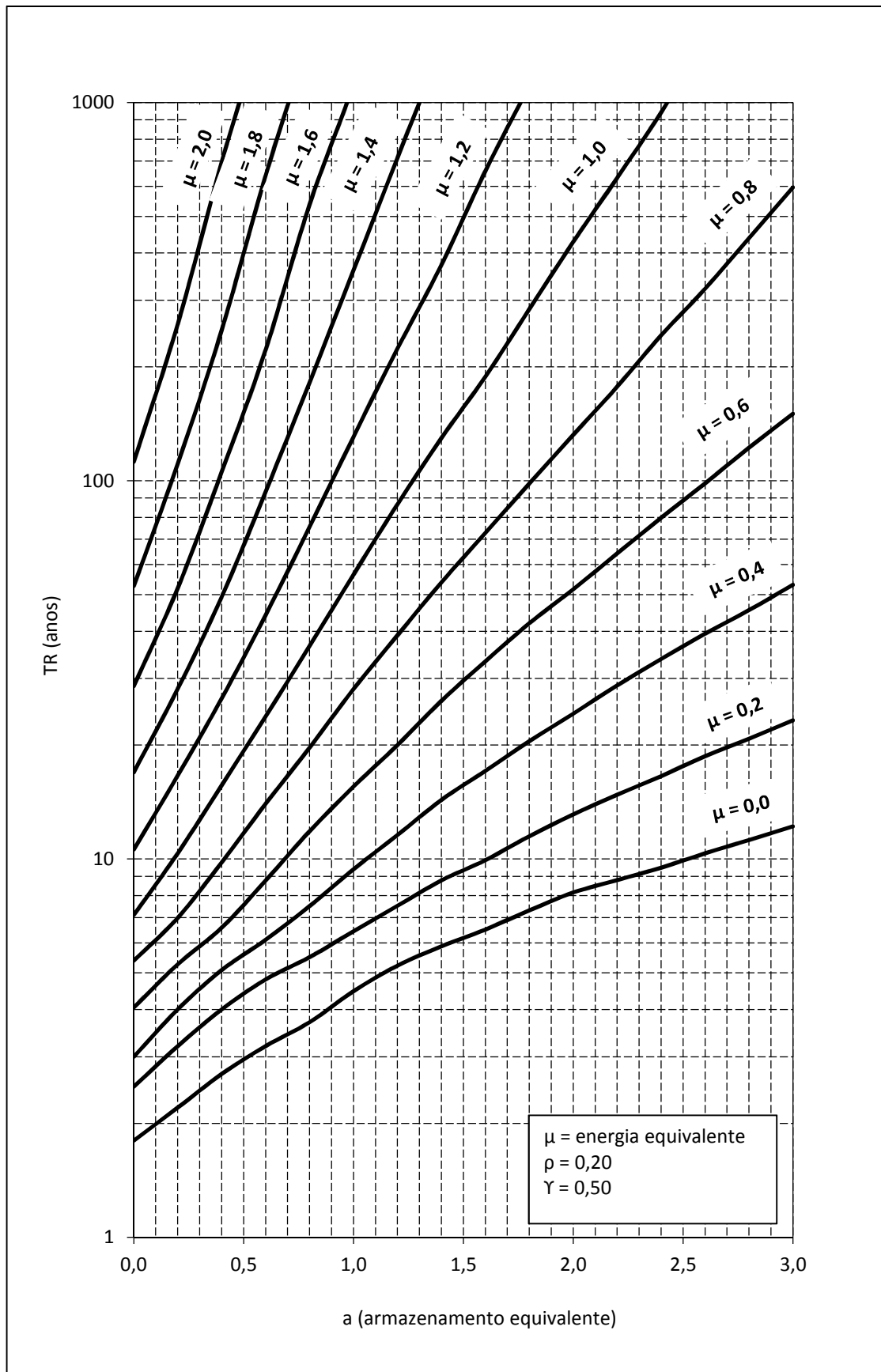
C E H P A R CURITIBA - BRASIL		CONSULTORIA EM ESTUDOS ENERGÉTICOS E PCH. Influência das amostras na estimativa dos parâmetros $\hat{\mu}, \hat{\sigma}, \hat{\delta}$ e $\hat{\rho}$ Amostras de 50 anos com início variável		PROJETO : <i>R/L</i>	
REF : HG-60	F. I-7			DESENHO : henrique luz scremin.	
FOLHA : 01 - 01				DATA : 12 de fevereiro de 1987.	
ARQUIVO :	CLIENTE : D N A E E	NÚMERO : 029	VISTO : <i>[Signature]</i>		
			APROVADO : <i>[Signature]</i>		

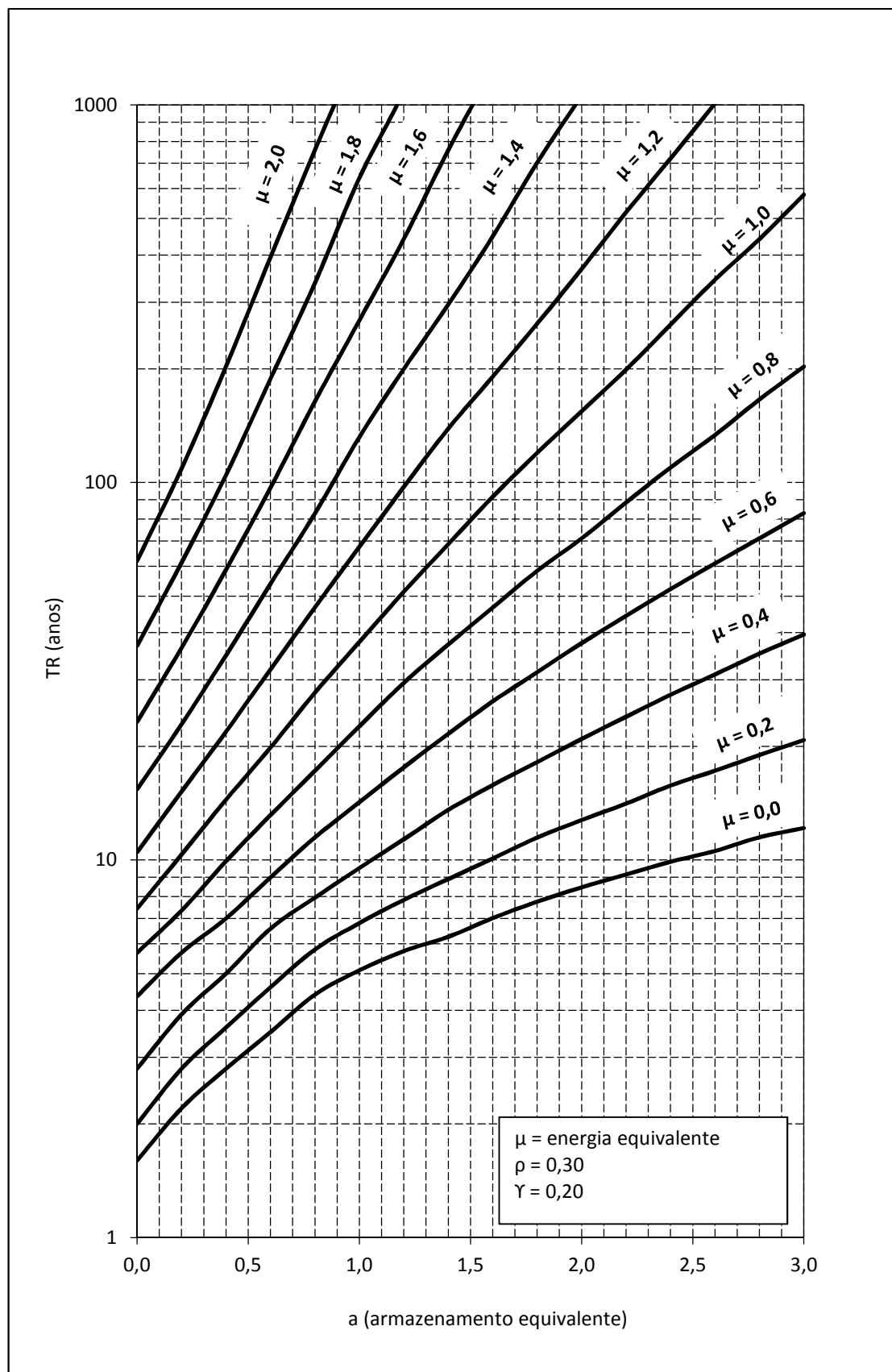
ANEXO 5 – ÁBACOS PARA DIFERENTES VALORES DE ρ E γ

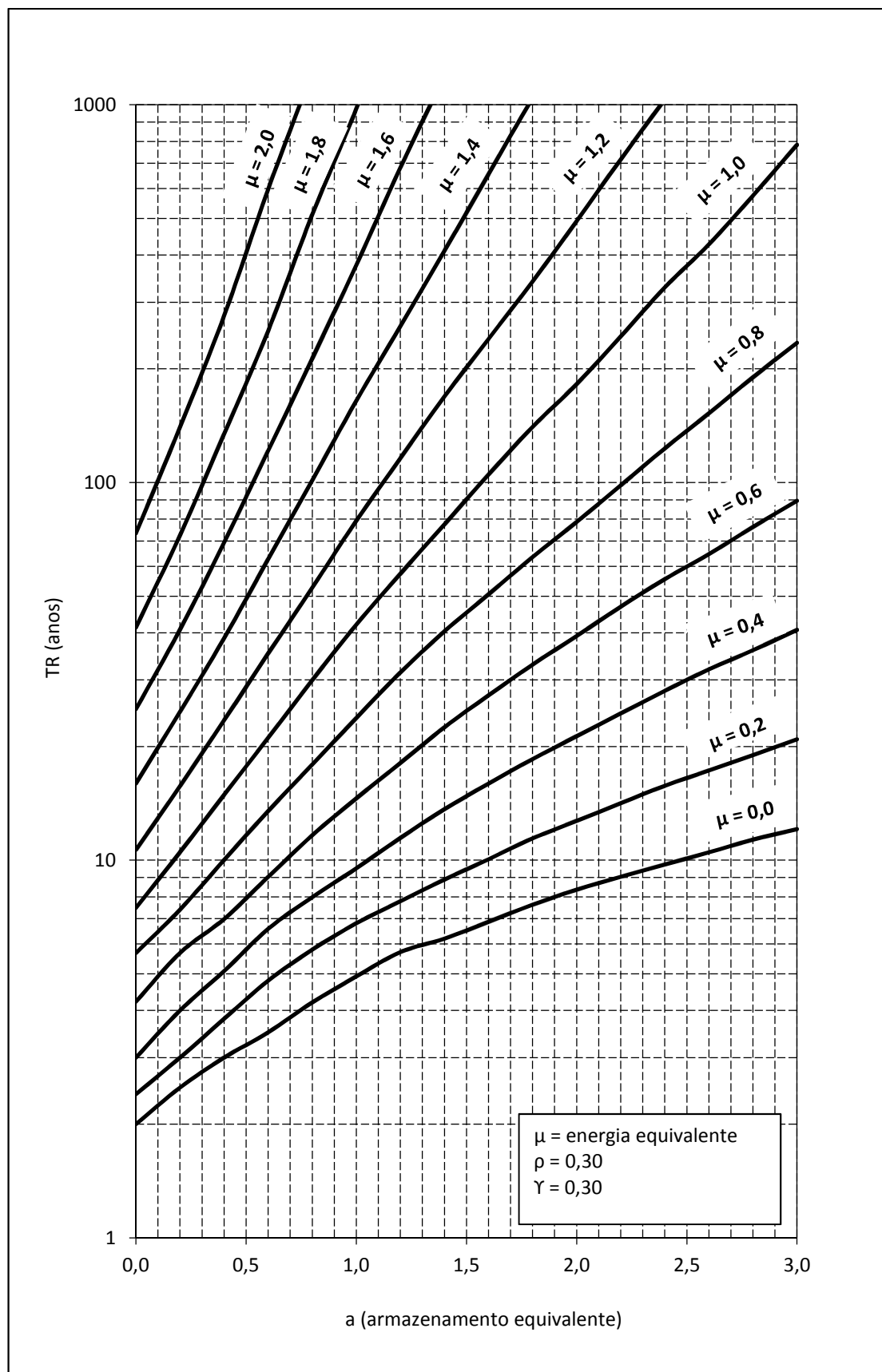


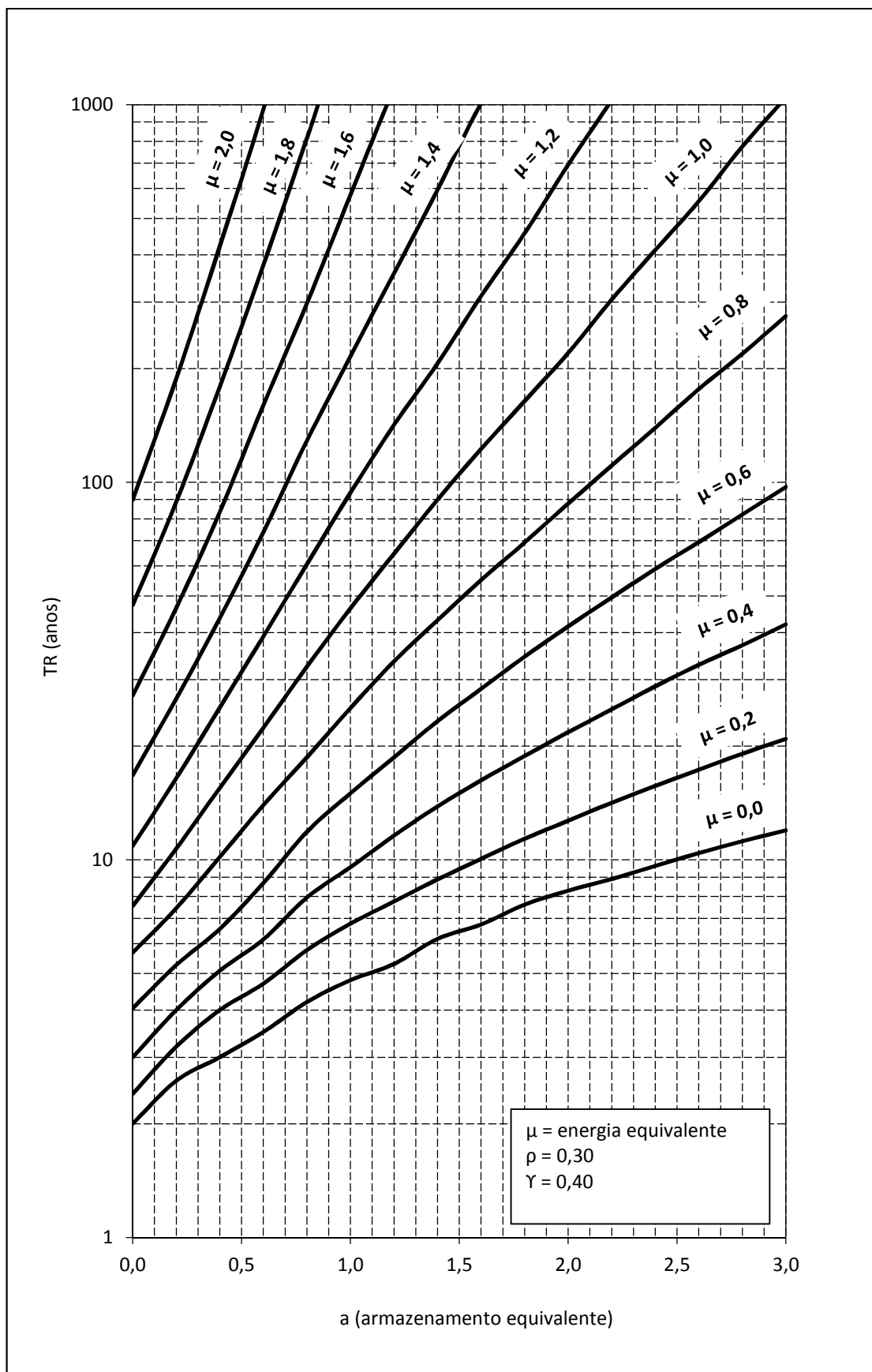


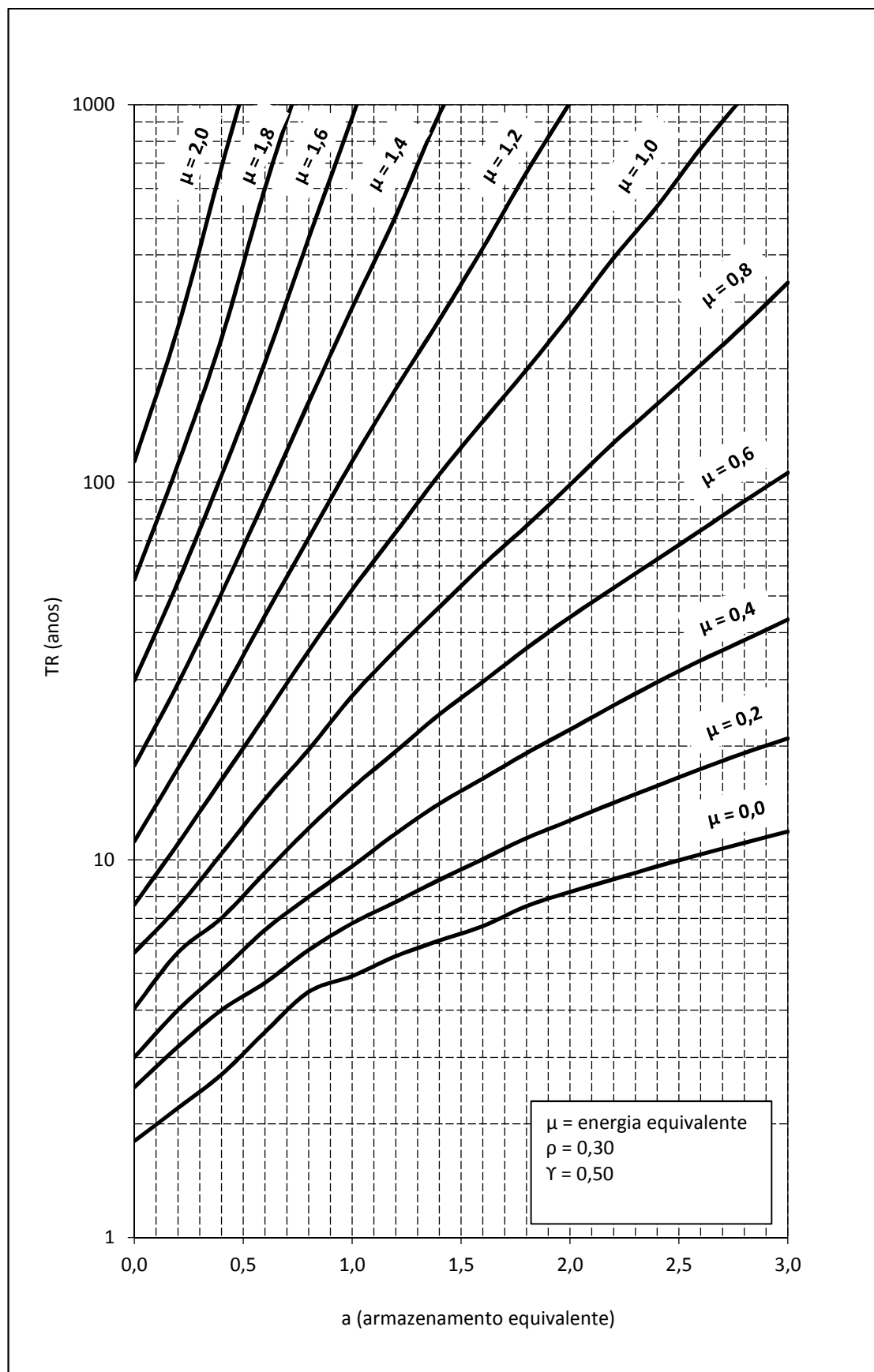


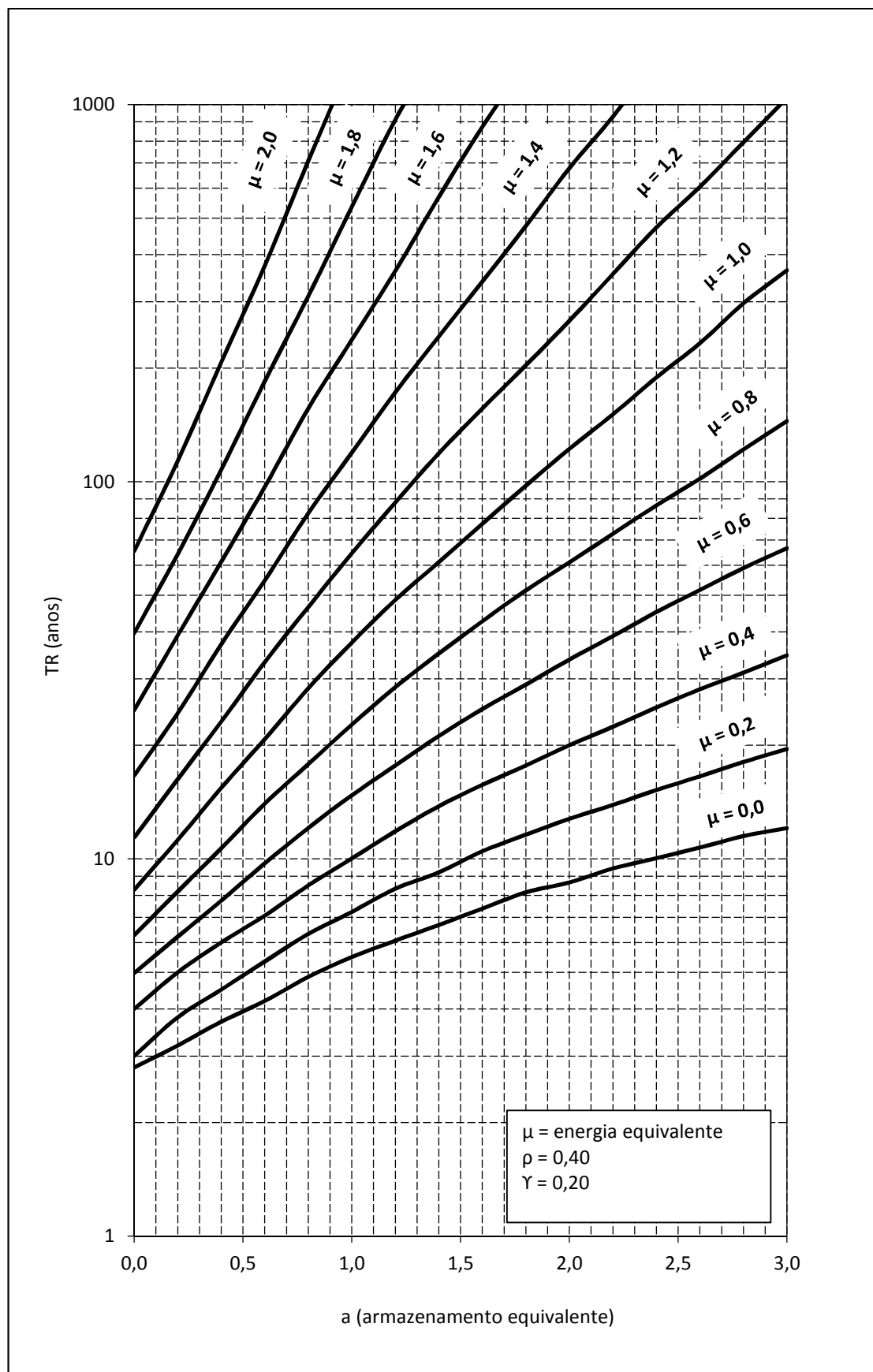


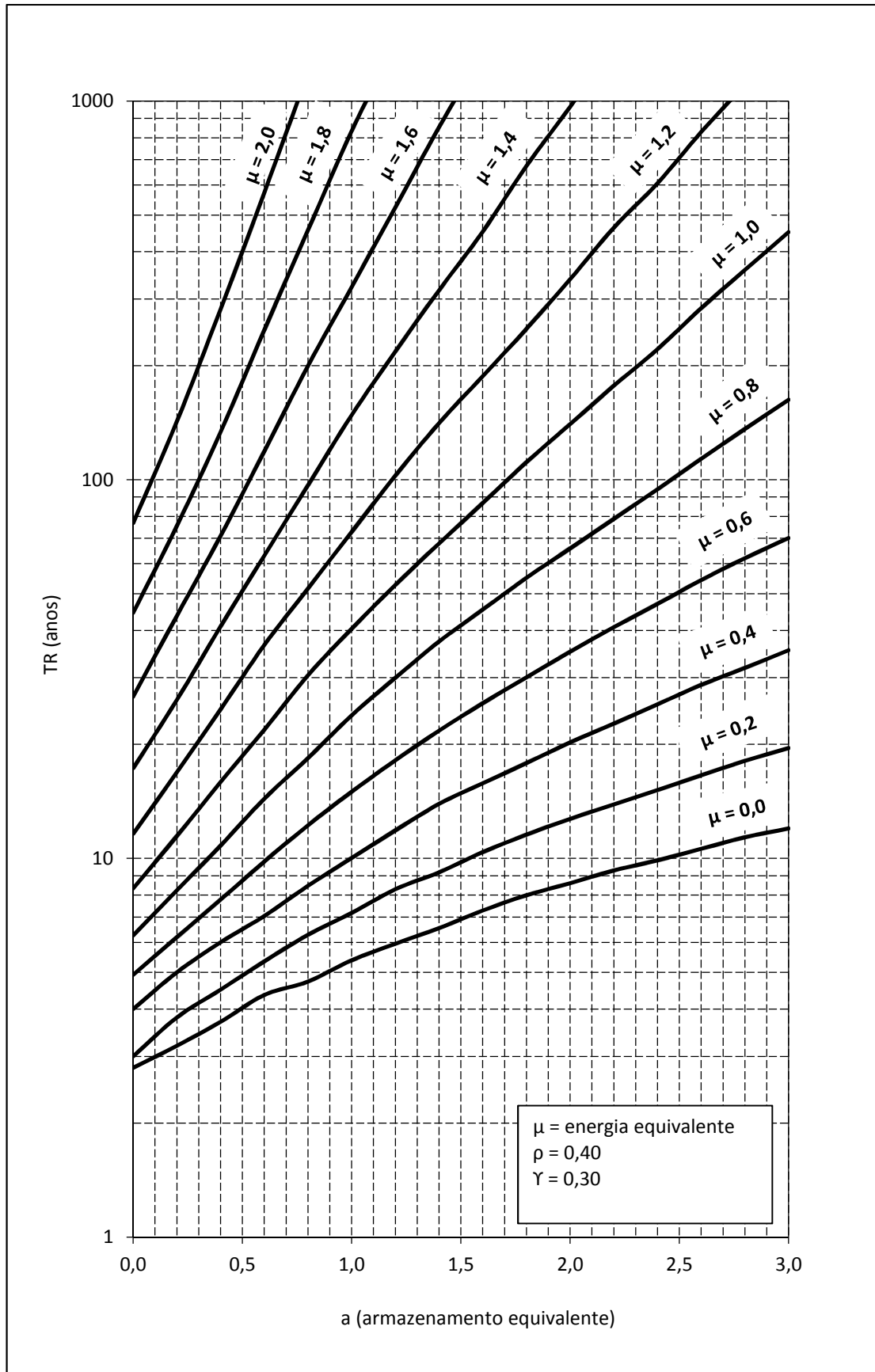


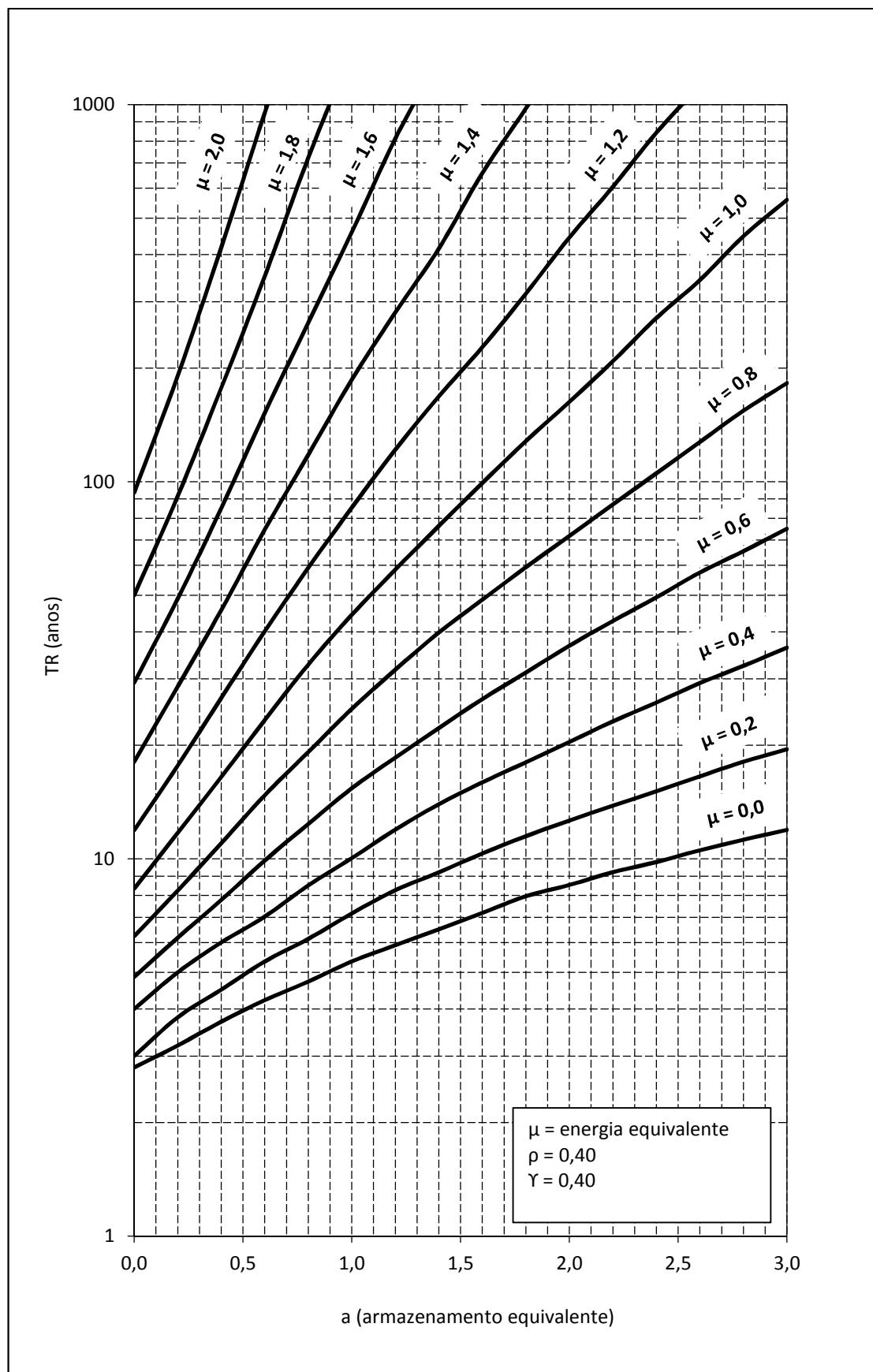


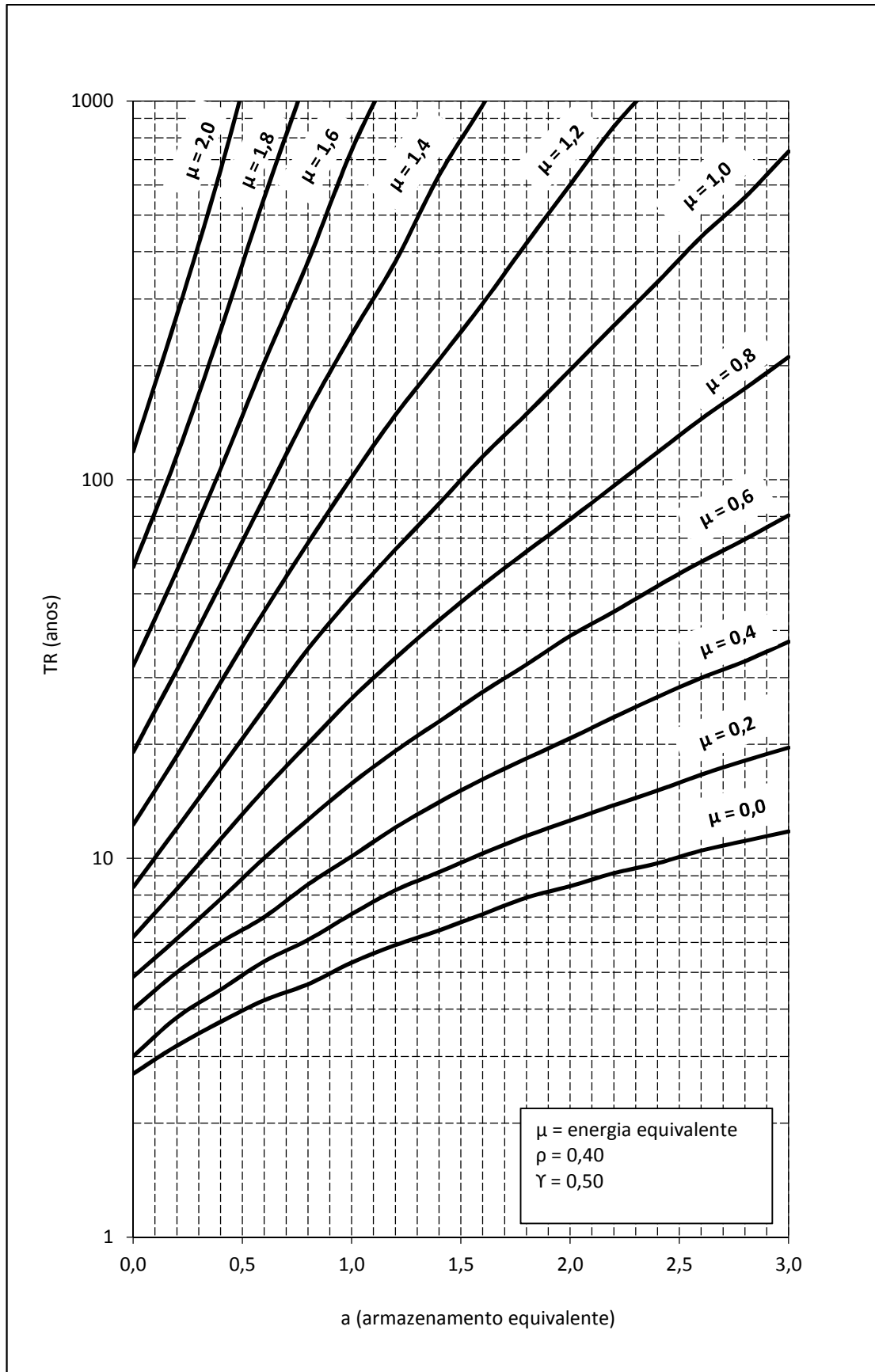


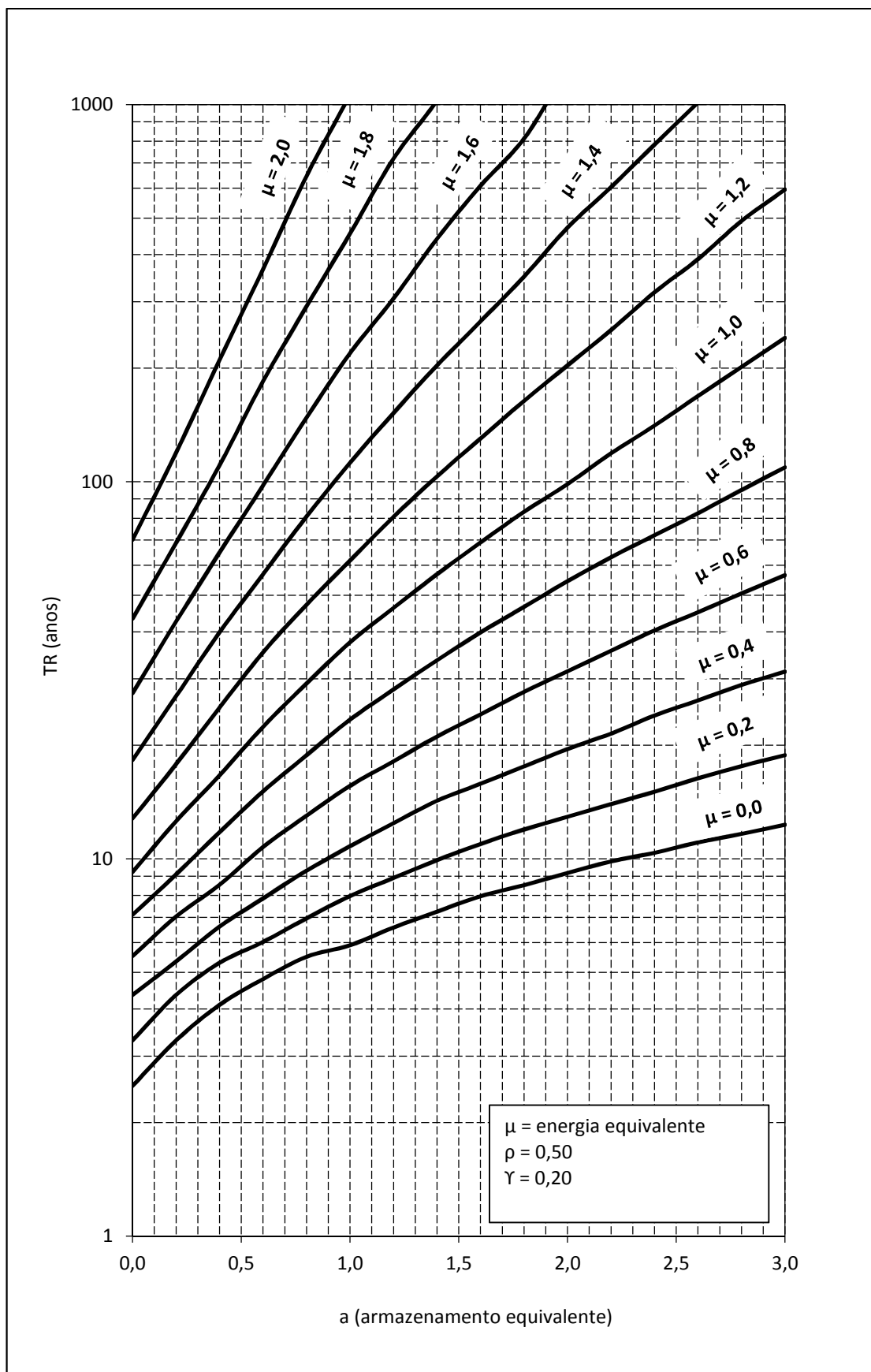


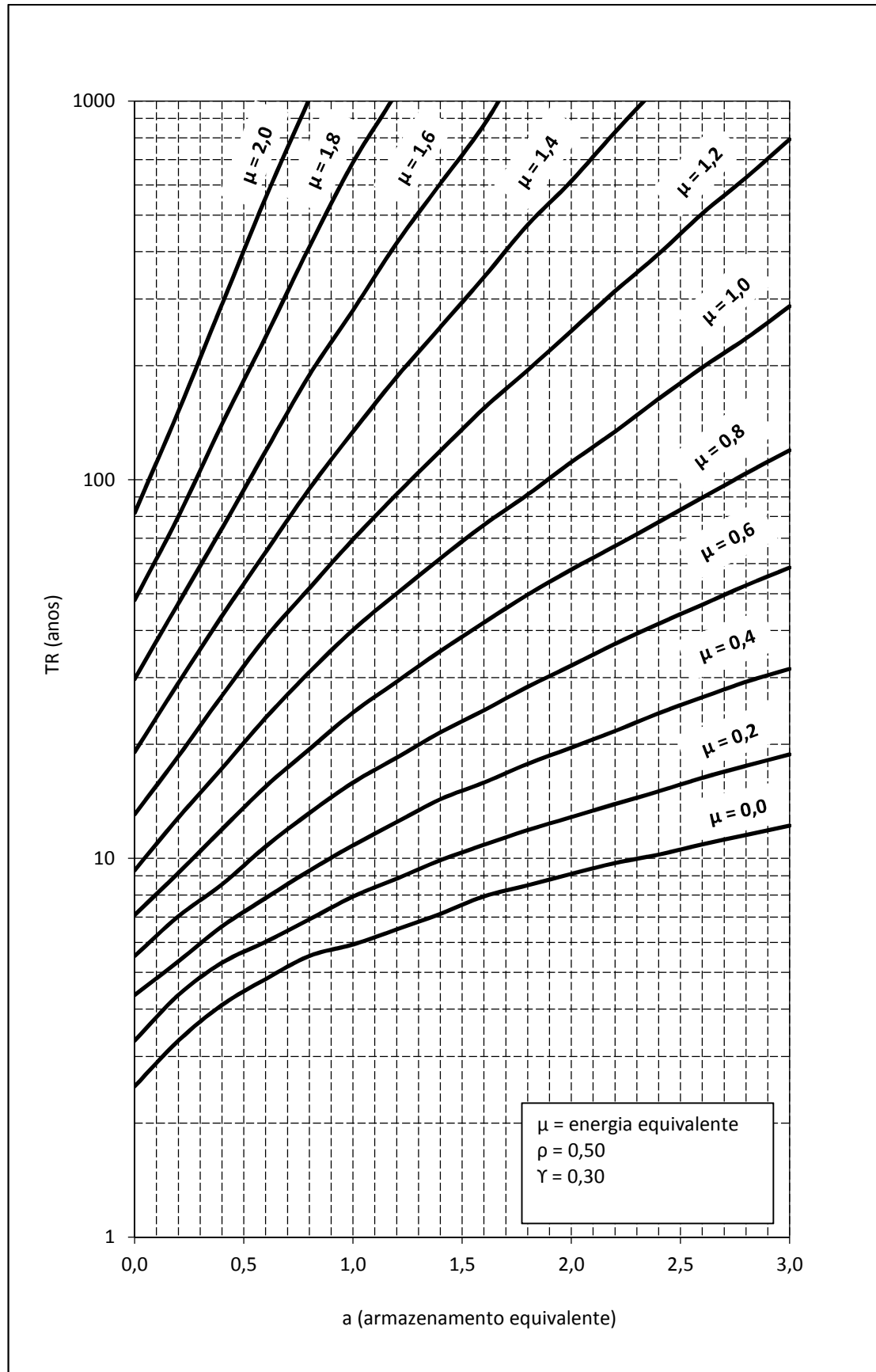


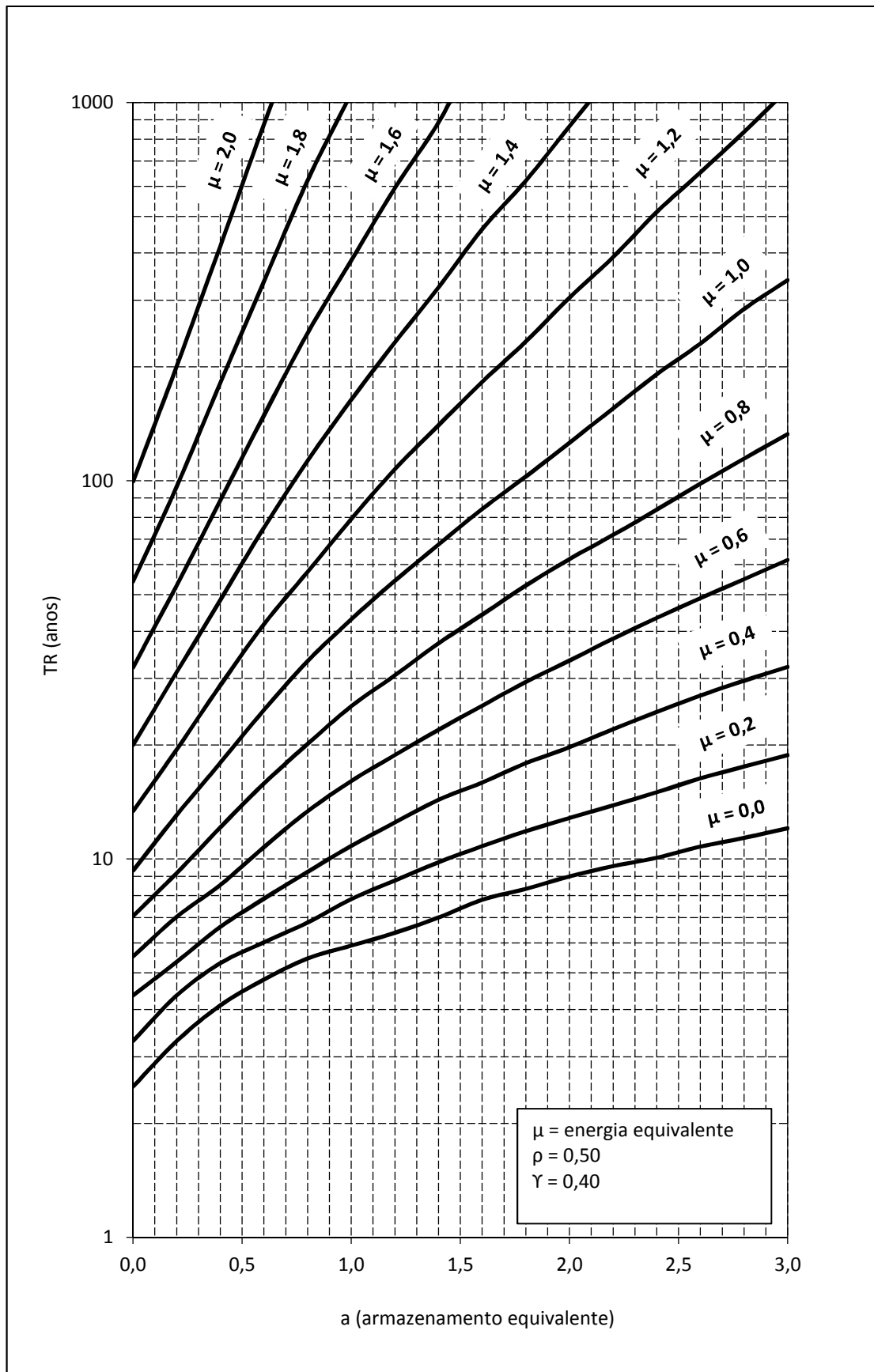


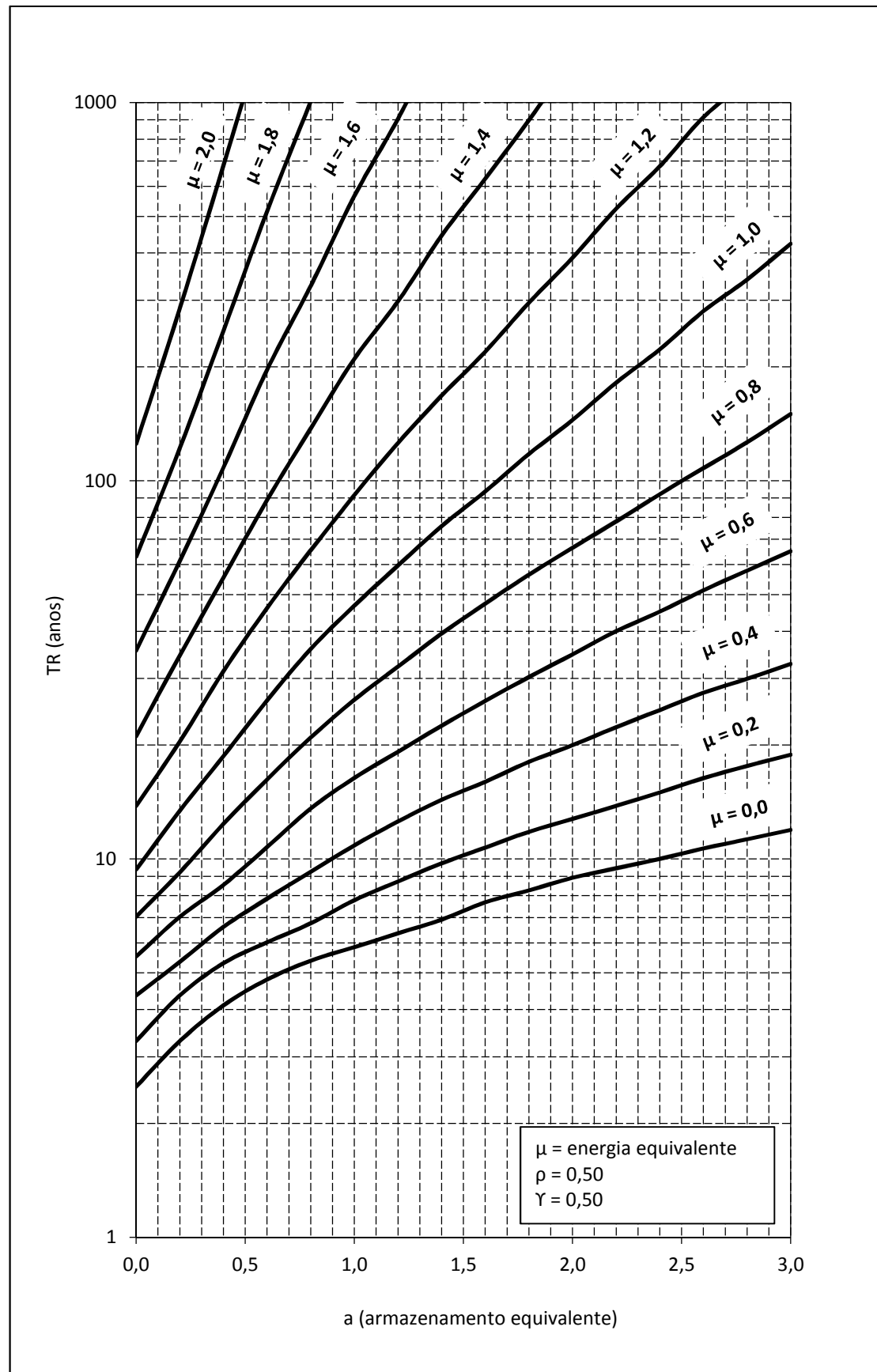












**ANEXO 6 – MÉTODO DE FILL – DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES K_1 ,
 K_2 E K_3 PARA DIFERENTES TEMPOS DE RETORNO – SIN E S/SE**

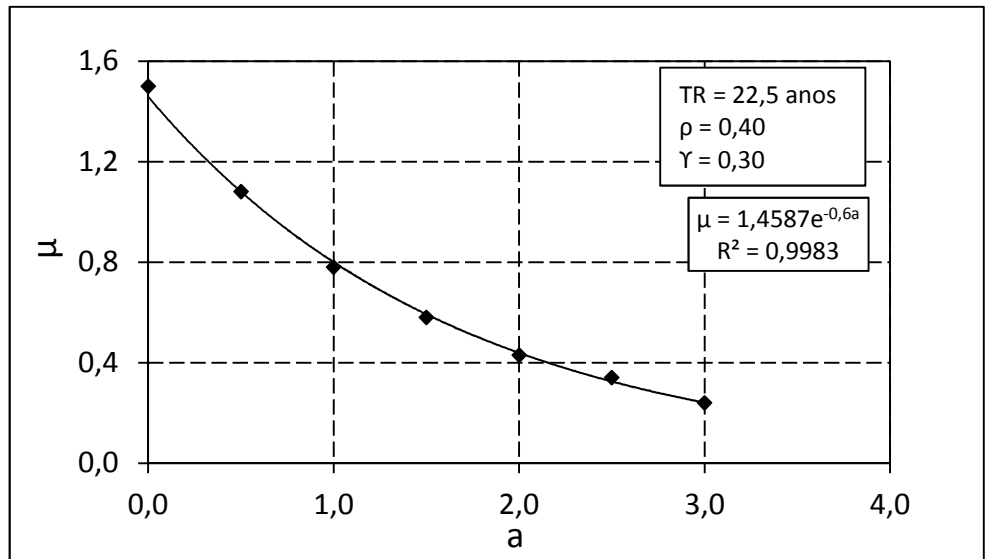
SIN

TR = 22,5 anos

$\rho = 0,40$

$\gamma = 0,30$

a	μ
0,00	1,50
0,50	1,08
1,00	0,78
1,50	0,58
2,00	0,43
2,50	0,34
3,00	0,24



$\phi m = 0,212$ $\alpha = 1,4587$
 $\rho = 0,40$ $\beta = 0,600$
 $\gamma = 0,30$ TR = 22,5 anos

a	K ₁	K ₂	K ₃	a	K ₁	K ₂	K ₃
0,000	0,843	1,230	0,738	1,550	0,932	1,035	0,322
0,050	0,847	1,236	0,720	1,600	0,934	1,022	0,313
0,100	0,851	1,240	0,702	1,650	0,936	1,009	0,304
0,150	0,855	1,242	0,684	1,700	0,937	0,996	0,296
0,200	0,859	1,244	0,667	1,750	0,939	0,983	0,288
0,250	0,862	1,245	0,650	1,800	0,941	0,969	0,280
0,300	0,866	1,245	0,633	1,850	0,942	0,956	0,272
0,350	0,869	1,244	0,617	1,900	0,944	0,942	0,264
0,400	0,873	1,242	0,601	1,950	0,946	0,929	0,257
0,450	0,876	1,239	0,585	2,000	0,947	0,915	0,250
0,500	0,879	1,235	0,570	2,050	0,949	0,902	0,243
0,550	0,882	1,231	0,555	2,100	0,950	0,888	0,236
0,600	0,885	1,225	0,541	2,150	0,951	0,875	0,229
0,650	0,888	1,220	0,526	2,200	0,953	0,861	0,223
0,700	0,891	1,213	0,513	2,250	0,954	0,848	0,216
0,750	0,894	1,206	0,499	2,300	0,955	0,834	0,210
0,800	0,897	1,198	0,486	2,350	0,957	0,821	0,204
0,850	0,900	1,190	0,473	2,400	0,958	0,808	0,199
0,900	0,902	1,181	0,460	2,450	0,959	0,795	0,193
0,950	0,905	1,172	0,448	2,500	0,960	0,781	0,188
1,000	0,908	1,163	0,436	2,550	0,961	0,768	0,182
1,050	0,910	1,152	0,424	2,600	0,962	0,755	0,177
1,100	0,912	1,142	0,413	2,650	0,964	0,742	0,172
1,150	0,915	1,131	0,402	2,700	0,965	0,730	0,167
1,200	0,917	1,120	0,391	2,750	0,966	0,717	0,162
1,250	0,919	1,109	0,380	2,800	0,967	0,704	0,158
1,300	0,922	1,097	0,370	2,850	0,968	0,692	0,153
1,350	0,924	1,085	0,360	2,900	0,968	0,679	0,149
1,400	0,926	1,073	0,350	2,950	0,969	0,667	0,145
1,450	0,928	1,060	0,340	3,000	0,970	0,655	0,140
1,500	0,930	1,048	0,331	-	-	-	-

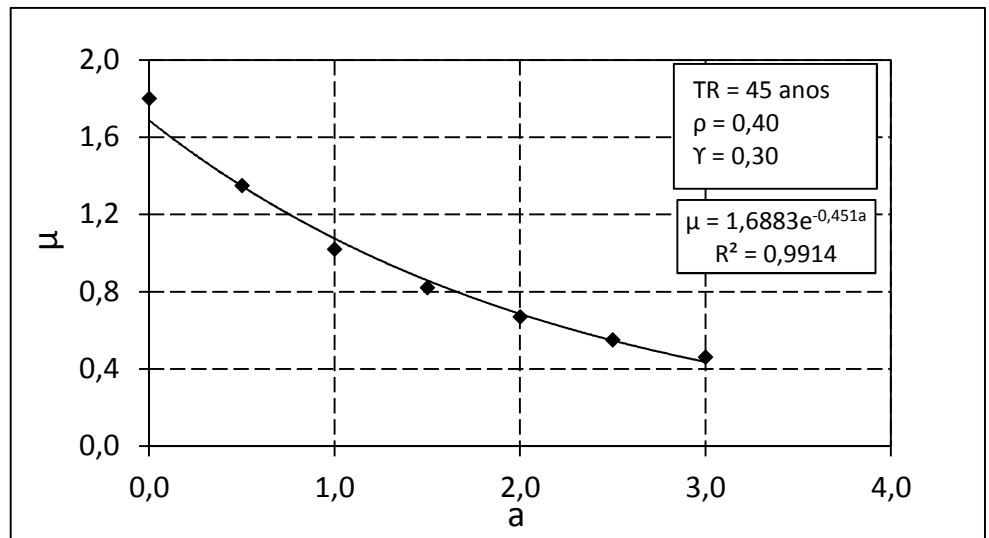
SIN

TR = 45 anos

$\rho = 0,40$

$\gamma = 0,30$

a	μ
0,00	1,80
0,50	1,35
1,00	1,02
1,50	0,82
2,00	0,67
2,50	0,55
3,00	0,46



$\phi m = 0,212$ $\alpha = 1,6883$
 $\rho = 0,40$ $\beta = 0,451$
 $\gamma = 0,30$ TR = 45 anos

a	K ₁	K ₂	K ₃	a	K ₁	K ₂	K ₃
0,000	0,861	1,454	0,656	1,550	0,926	1,320	0,350
0,050	0,864	1,458	0,643	1,600	0,927	1,310	0,343
0,100	0,866	1,461	0,631	1,650	0,929	1,299	0,336
0,150	0,869	1,464	0,618	1,700	0,930	1,289	0,329
0,200	0,871	1,466	0,606	1,750	0,932	1,278	0,322
0,250	0,874	1,467	0,595	1,800	0,933	1,267	0,316
0,300	0,876	1,467	0,583	1,850	0,935	1,256	0,309
0,350	0,879	1,467	0,571	1,900	0,936	1,245	0,302
0,400	0,881	1,466	0,560	1,950	0,937	1,234	0,296
0,450	0,884	1,465	0,549	2,000	0,939	1,223	0,290
0,500	0,886	1,463	0,538	2,050	0,940	1,211	0,284
0,550	0,888	1,460	0,528	2,100	0,941	1,200	0,278
0,600	0,890	1,457	0,517	2,150	0,942	1,188	0,272
0,650	0,893	1,453	0,507	2,200	0,944	1,177	0,266
0,700	0,895	1,449	0,497	2,250	0,945	1,165	0,261
0,750	0,897	1,445	0,487	2,300	0,946	1,153	0,255
0,800	0,899	1,440	0,477	2,350	0,947	1,141	0,250
0,850	0,901	1,434	0,468	2,400	0,948	1,129	0,245
0,900	0,903	1,428	0,458	2,450	0,949	1,117	0,239
0,950	0,905	1,422	0,449	2,500	0,950	1,105	0,234
1,000	0,907	1,415	0,440	2,550	0,951	1,093	0,229
1,050	0,909	1,408	0,431	2,600	0,952	1,081	0,224
1,100	0,911	1,400	0,422	2,650	0,953	1,069	0,220
1,150	0,912	1,393	0,414	2,700	0,954	1,057	0,215
1,200	0,914	1,384	0,405	2,750	0,955	1,045	0,210
1,250	0,916	1,376	0,397	2,800	0,956	1,033	0,206
1,300	0,918	1,367	0,389	2,850	0,957	1,021	0,202
1,350	0,919	1,358	0,381	2,900	0,958	1,009	0,197
1,400	0,921	1,349	0,373	2,950	0,959	0,998	0,193
1,450	0,923	1,340	0,365	3,000	0,960	0,986	0,189
1,500	0,924	1,330	0,358	-	-	-	-

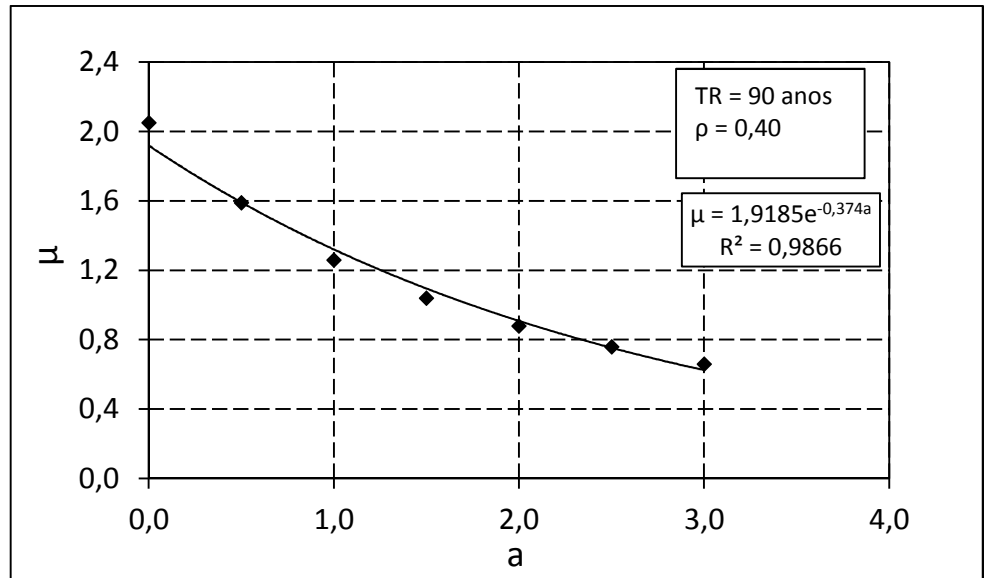
SIN

TR = 90 anos

$\rho = 0,40$

$Y = 0,30$

a	μ
0,00	2,05
0,50	1,59
1,00	1,26
1,50	1,04
2,00	0,88
2,50	0,76
3,00	0,66



$\phi m = 0,212$ $\alpha = 1,9185$
 $\rho = 0,40$ $\beta = 0,374$
 $Y = 0,30$ $TR = 90 \text{ anos}$

a	K ₁	K ₂	K ₃	a	K ₁	K ₂	K ₃
0,000	0,868	1,665	0,623	1,550	0,921	1,564	0,370
0,050	0,870	1,669	0,613	1,600	0,923	1,556	0,364
0,100	0,872	1,672	0,603	1,650	0,924	1,547	0,358
0,150	0,874	1,675	0,593	1,700	0,925	1,538	0,352
0,200	0,876	1,677	0,583	1,750	0,927	1,529	0,346
0,250	0,878	1,678	0,574	1,800	0,928	1,519	0,340
0,300	0,880	1,679	0,565	1,850	0,929	1,510	0,334
0,350	0,882	1,679	0,555	1,900	0,930	1,500	0,328
0,400	0,884	1,679	0,546	1,950	0,932	1,491	0,322
0,450	0,886	1,678	0,537	2,000	0,933	1,481	0,317
0,500	0,888	1,677	0,528	2,050	0,934	1,471	0,311
0,550	0,890	1,676	0,520	2,100	0,935	1,460	0,306
0,600	0,892	1,673	0,511	2,150	0,936	1,450	0,301
0,650	0,893	1,671	0,503	2,200	0,937	1,440	0,295
0,700	0,895	1,668	0,494	2,250	0,938	1,429	0,290
0,750	0,897	1,664	0,486	2,300	0,940	1,419	0,285
0,800	0,899	1,661	0,478	2,350	0,941	1,408	0,280
0,850	0,900	1,656	0,470	2,400	0,942	1,397	0,275
0,900	0,902	1,652	0,462	2,450	0,943	1,386	0,271
0,950	0,904	1,647	0,454	2,500	0,944	1,375	0,266
1,000	0,905	1,642	0,447	2,550	0,945	1,364	0,261
1,050	0,907	1,636	0,439	2,600	0,946	1,353	0,257
1,100	0,908	1,630	0,432	2,650	0,947	1,342	0,252
1,150	0,910	1,624	0,425	2,700	0,947	1,331	0,248
1,200	0,911	1,617	0,418	2,750	0,948	1,320	0,243
1,250	0,913	1,611	0,410	2,800	0,949	1,308	0,239
1,300	0,914	1,603	0,403	2,850	0,950	1,297	0,235
1,350	0,916	1,596	0,397	2,900	0,951	1,286	0,231
1,400	0,917	1,588	0,390	2,950	0,952	1,274	0,227
1,450	0,919	1,581	0,383	3,000	0,953	1,263	0,223
1,500	0,920	1,572	0,377	-	-	-	-

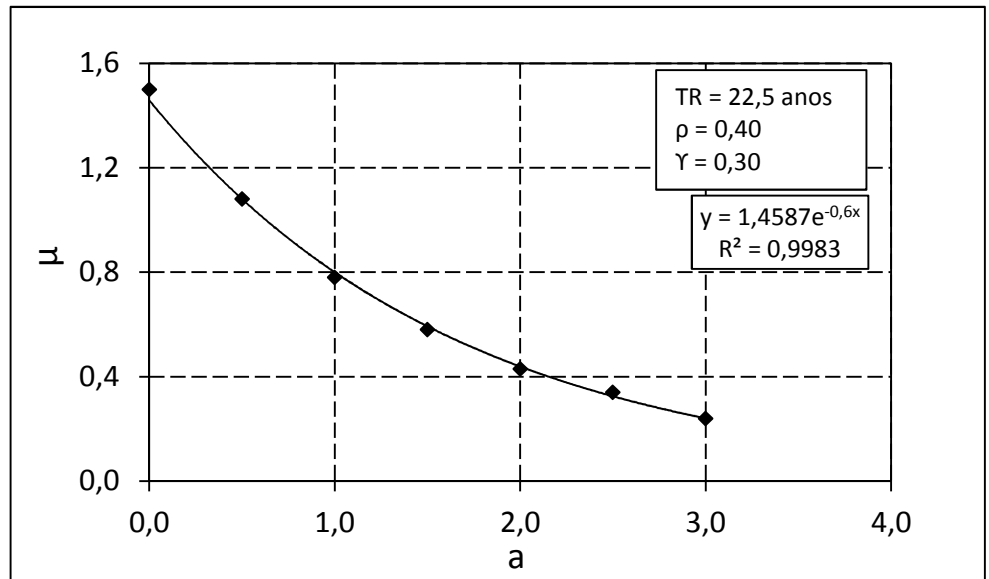
S/SE

TR = 22,5 anos

$\rho = 0,40$

$\gamma = 0,30$

a	μ
0,00	1,50
0,50	1,08
1,00	0,78
1,50	0,58
2,00	0,43
2,50	0,34
3,00	0,24



$\phi m = 0,169$ $\alpha = 1,4587$
 $\rho = 0,40$ $\beta = 0,6$
 $\gamma = 0,30$ TR = 22,5 anos

a	K ₁	K ₂	K ₃	a	K ₁	K ₂	K ₃
0,000	0,871	1,271	0,762	1,550	0,945	1,050	0,326
0,050	0,874	1,275	0,743	1,600	0,946	1,036	0,317
0,100	0,878	1,278	0,723	1,650	0,948	1,022	0,308
0,150	0,881	1,280	0,705	1,700	0,949	1,009	0,300
0,200	0,884	1,281	0,686	1,750	0,951	0,995	0,291
0,250	0,887	1,281	0,668	1,800	0,952	0,981	0,283
0,300	0,890	1,280	0,651	1,850	0,954	0,967	0,275
0,350	0,893	1,278	0,633	1,900	0,955	0,953	0,267
0,400	0,896	1,275	0,617	1,950	0,956	0,939	0,260
0,450	0,899	1,271	0,600	2,000	0,957	0,925	0,252
0,500	0,901	1,266	0,584	2,050	0,959	0,911	0,245
0,550	0,904	1,261	0,569	2,100	0,960	0,897	0,238
0,600	0,906	1,255	0,554	2,150	0,961	0,884	0,231
0,650	0,909	1,248	0,539	2,200	0,962	0,870	0,225
0,700	0,911	1,240	0,524	2,250	0,963	0,856	0,219
0,750	0,914	1,232	0,510	2,300	0,964	0,842	0,212
0,800	0,916	1,224	0,496	2,350	0,965	0,828	0,206
0,850	0,918	1,215	0,483	2,400	0,966	0,815	0,200
0,900	0,921	1,205	0,470	2,450	0,967	0,801	0,195
0,950	0,923	1,195	0,457	2,500	0,968	0,788	0,189
1,000	0,925	1,185	0,444	2,550	0,969	0,774	0,184
1,050	0,927	1,174	0,432	2,600	0,970	0,761	0,178
1,100	0,929	1,163	0,420	2,650	0,971	0,748	0,173
1,150	0,931	1,151	0,409	2,700	0,972	0,735	0,168
1,200	0,933	1,139	0,397	2,750	0,972	0,722	0,163
1,250	0,935	1,127	0,386	2,800	0,973	0,709	0,159
1,300	0,937	1,115	0,376	2,850	0,974	0,696	0,154
1,350	0,938	1,102	0,365	2,900	0,975	0,684	0,150
1,400	0,940	1,089	0,355	2,950	0,975	0,671	0,145
1,450	0,942	1,076	0,345	3,000	0,976	0,659	0,141
1,500	0,943	1,063	0,336	-	-	-	-

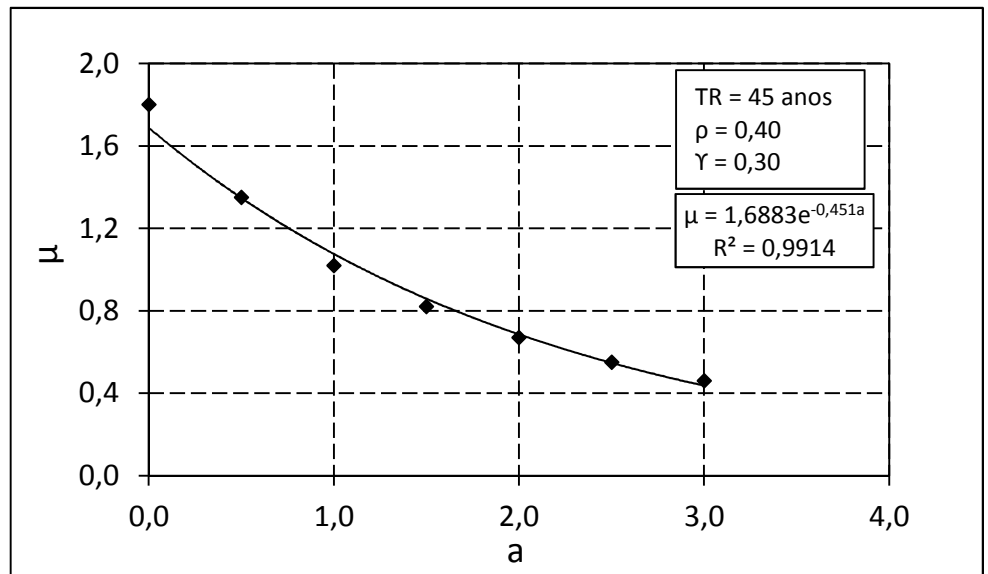
S/SE

TR = 45 anos

$\rho = 0,40$

$Y = 0,30$

a	μ
0,00	1,80
0,50	1,35
1,00	1,02
1,50	0,82
2,00	0,67
2,50	0,55
3,00	0,46



$\phi m = 0,169$

$\rho = 0,40$

$Y = 0,30$

$\alpha = 1,6883$

$\beta = 0,451$

TR = 45 anos

a	K ₁	K ₂	K ₃	a	K ₁	K ₂	K ₃
0,000	0,886	1,496	0,675	1,550	0,940	1,340	0,356
0,050	0,888	1,499	0,661	1,600	0,941	1,329	0,348
0,100	0,890	1,502	0,648	1,650	0,942	1,318	0,341
0,150	0,893	1,504	0,635	1,700	0,944	1,307	0,334
0,200	0,895	1,505	0,623	1,750	0,945	1,296	0,327
0,250	0,897	1,505	0,610	1,800	0,946	1,285	0,320
0,300	0,899	1,505	0,598	1,850	0,947	1,273	0,313
0,350	0,901	1,504	0,586	1,900	0,948	1,262	0,306
0,400	0,903	1,502	0,574	1,950	0,949	1,250	0,300
0,450	0,905	1,500	0,562	2,000	0,950	1,238	0,294
0,500	0,907	1,498	0,551	2,050	0,951	1,226	0,287
0,550	0,909	1,494	0,540	2,100	0,952	1,214	0,281
0,600	0,911	1,490	0,529	2,150	0,953	1,202	0,275
0,650	0,912	1,486	0,518	2,200	0,954	1,190	0,269
0,700	0,914	1,481	0,508	2,250	0,955	1,178	0,264
0,750	0,916	1,476	0,497	2,300	0,956	1,166	0,258
0,800	0,918	1,470	0,487	2,350	0,957	1,154	0,253
0,850	0,919	1,463	0,477	2,400	0,958	1,141	0,247
0,900	0,921	1,457	0,467	2,450	0,959	1,129	0,242
0,950	0,923	1,450	0,458	2,500	0,960	1,117	0,237
1,000	0,924	1,442	0,448	2,550	0,961	1,104	0,232
1,050	0,926	1,434	0,439	2,600	0,962	1,092	0,227
1,100	0,927	1,426	0,430	2,650	0,963	1,080	0,222
1,150	0,929	1,418	0,421	2,700	0,963	1,067	0,217
1,200	0,930	1,409	0,412	2,750	0,964	1,055	0,212
1,250	0,932	1,400	0,404	2,800	0,965	1,043	0,208
1,300	0,933	1,391	0,395	2,850	0,966	1,030	0,203
1,350	0,935	1,381	0,387	2,900	0,966	1,018	0,199
1,400	0,936	1,371	0,379	2,950	0,967	1,006	0,195
1,450	0,937	1,361	0,371	3,000	0,968	0,994	0,190
1,500	0,939	1,351	0,363	-	-	-	-

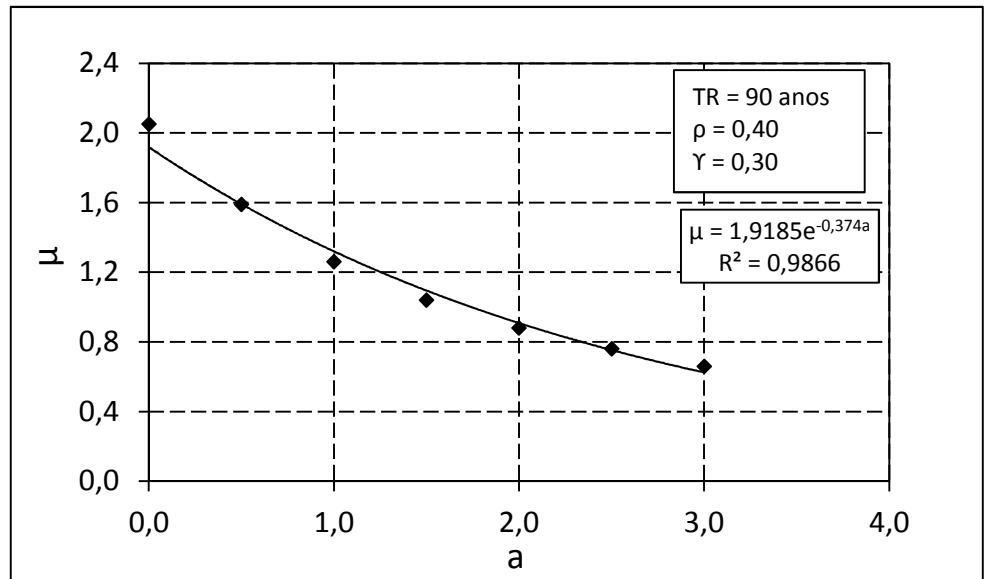
S/SE

TR = 90 anos

$\rho = 0,40$

$\gamma = 0,30$

a	μ
0,00	2,05
0,50	1,59
1,00	1,26
1,50	1,04
2,00	0,88
2,50	0,76
3,00	0,66



$\phi m = 0,169$

$\rho = 0,40$

$\gamma = 0,30$

$\alpha = 1,9185$

$\beta = 0,374$

TR = 90 anos

a	K ₁	K ₂	K ₃	a	K ₁	K ₂	K ₃
0,000	0,892	1,711	0,640	1,550	0,936	1,589	0,376
0,050	0,894	1,714	0,629	1,600	0,938	1,580	0,370
0,100	0,895	1,717	0,619	1,650	0,939	1,571	0,363
0,150	0,897	1,719	0,609	1,700	0,940	1,561	0,357
0,200	0,899	1,720	0,598	1,750	0,941	1,552	0,351
0,250	0,901	1,721	0,588	1,800	0,942	1,542	0,345
0,300	0,902	1,721	0,579	1,850	0,943	1,532	0,339
0,350	0,904	1,720	0,569	1,900	0,944	1,522	0,333
0,400	0,905	1,720	0,559	1,950	0,945	1,512	0,327
0,450	0,907	1,718	0,550	2,000	0,946	1,501	0,321
0,500	0,909	1,716	0,541	2,050	0,947	1,491	0,316
0,550	0,910	1,714	0,532	2,100	0,948	1,480	0,310
0,600	0,912	1,711	0,523	2,150	0,949	1,469	0,305
0,650	0,913	1,708	0,514	2,200	0,949	1,458	0,299
0,700	0,915	1,704	0,505	2,250	0,950	1,447	0,294
0,750	0,916	1,700	0,497	2,300	0,951	1,436	0,289
0,800	0,918	1,696	0,488	2,350	0,952	1,425	0,284
0,850	0,919	1,691	0,480	2,400	0,953	1,414	0,279
0,900	0,920	1,685	0,472	2,450	0,954	1,403	0,274
0,950	0,922	1,680	0,464	2,500	0,955	1,391	0,269
1,000	0,923	1,674	0,456	2,550	0,955	1,380	0,264
1,050	0,924	1,668	0,448	2,600	0,956	1,368	0,259
1,100	0,926	1,661	0,440	2,650	0,957	1,357	0,255
1,150	0,927	1,654	0,433	2,700	0,958	1,345	0,250
1,200	0,928	1,647	0,425	2,750	0,958	1,334	0,246
1,250	0,929	1,639	0,418	2,800	0,959	1,322	0,242
1,300	0,931	1,632	0,411	2,850	0,960	1,310	0,237
1,350	0,932	1,624	0,404	2,900	0,961	1,299	0,233
1,400	0,933	1,616	0,397	2,950	0,961	1,287	0,229
1,450	0,934	1,607	0,390	3,000	0,962	1,275	0,225
1,500	0,935	1,598	0,383	-	-	-	-

ANEXO 7 – ROTINAS COMPUTACIONAIS

```

function gerador(strnome,NA,NS)

ENhis = dlmread(strcat(strnome, '.txt'));
ENhis = ENhis(1:NA, :);

%Variaveis
Z = zeros(NS,NA);
Y = zeros(1,NA);
ENg=zeros(NS,NA);
ENM=zeros(NA,12,NS);
ENMexp=zeros(NS*NA,12);

s = RandStream.create('mt19937ar','seed',239849);
prevStream = RandStream.setDefaultStream(s);

Mrand=randn(NA,NS);

EN = mean(ENhis,2);

ENz = max(0, (min(EN)*max(EN) - median(EN)^2)/(min(EN) + max(EN) -
2*median(EN))); %Calcula ENzero.
for i = 1:NA
    Y(i) = log(EN(i) - ENz);      % define Y.
end
desvY = std(Y);
mediaY = mean(Y);
ro = autocorrel(Y);

ENC = Mcoef(ENhis,NA); %matriz de coeficientes para desagregação
mensal

[bmin,Bmax] = limites_geracao(ENhis,NA); %calculando limites de
validade inter-aneais

-----

function [bmin,Bmax] = limites_geracao(ENhis,NA)
%Função que define os limites maximo e minimo na diferença da
transição de
%anos (não hidrologicos ?) da série base de energia natural mensal.

%Parametros: -ENhis- série base de energia natural mensal.
%             -NA- Numero de anos da série base de energia natural
mensal.

%Retorno:    -bmin- limite minimo da transição de anos (não
hidrologicos)
%            -Bmax- limite maximo da transição de anos (não
hidrologicos)

Bmax = 0;
bmin = ENhis(2,1)/ENhis(1,12);
for i = 1:(NA-1)
    if ((ENhis(i+1,1)/ENhis(i,12)) > Bmax)
        Bmax = ENhis(i+1,1)/ENhis(i,12);
    elseif ((ENhis(i+1,1)/ENhis(i,12)) < bmin)           %define B e b.
        bmin = ENhis(i+1,1)/ENhis(i,12);
    end
end

```

end

```
function ENC = Mcoef(ENhis,NA)
%Função que gera uma matriz (NAX12) de coeficientes mensais cuja soma
(por
%linha) é igual a 1.

%Parametros: -ENhis- Matriz de energia natural usada para calcular os
%              coeficientes mensais (Valor Mes/Media Anual)
%              -NA- Numero de anos.

%Retorno: -ENC- Matriz (NAX12) de coeficientes mensais, que sera
usada na
%              desagregação das séries sinteticas anuais.
mediaENhis = mean(ENhis,2);
for i = 1:NA
    for j = 1:12
        ENC(i,j) = ENhis(i,j)/mediaENhis(i); %define a matriz de
coeficientes.
    end
end
```

```
function simulador(strnome,NA,NS,AMX)
%SIMULADOR simula séries sintéticas geradas
% simulador
ENseries=dlmread(strcat(strnome,'-out_series.txt'));
NM = NA*12+1;
for ns = 1:NS
    ENMm = ENseries( ((ns-1)*NA+1):ns*NA, : );
    for i = 1:NA
        ENM( ( (i-1)*12 + 1):i*12 ) = ENMm(i,:);
    end

    D=mean(ENM);
    A(1)=AMX;
    t=2;

    while t <= NM
        n=0;
        tf = false;
        while (t <= NM && tf==false)
            A(t) = min( A(t-1) - D + ENM(t-1),AMX );
            if A(t) == AMX
                n=0;
            else
                n=n+1;
            end
            if (t <= NM && A(t) < -0.01)
                D = D + A(t)/n;
                tf = true;
                t=2;
            else
                t = t+1;
            end
        end
    end
end
```

```

        EF(ns)=D;
    end
    dlmwrite(strcat(strnome, '-
out_ef.txt'), EF, 'delimiter', '\t', 'newline', 'pc');
end

```

```

function ro = autocorrel(Y)
%Função que calcula a auto correlação???? de um vetor;

%Parametros: -Y- Vetor cujo sera calculado o RO.

%Retorno:      -ro- RO.
[m,NA] = size(Y);
mediaY = mean(Y);           % Media de Y.
desvY = std(Y);            % Desvio Padrão
de Y.
ro = 0;
for i = 2:NA
    ro = ro + ((Y(i)-mediaY)*(Y(i-1)-mediaY)); % define ro.
end;
ro = ro/((NA-1)*(desvY^2)); % Calcula ro.

```

```

function simulador_deficit_anual(strnome,NA,NS,P)
%SIMULADOR_DEFICIT_MENSAL Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here

ENseries=dlmread(strcat(strnome, '-out_series.txt'));
for ns = 1:NS
    ENMm = ENseries( ((ns-1)*NA+1):ns*NA, : );
    ENMa = sum(ENMm, 2);
    %ENMa = mean(ENMm, 2);

    D=P*mean(ENMa);
    A(1)=0;
    for t=2:NA+1
        A(t) = min(A(t-1) - D + ENMa(t-1), 0);
    end
    Def(ns) = -min(A);
end

dlmwrite(strcat(strnome, '-
out_deficit_anual.txt'), Def, 'delimiter', '\t', 'newline', 'pc');
end

```

```

function simulador_deficit_mensal(strnome,NA,NS,P)
%SIMULADOR_DEFICIT_MENSAL Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here

ENseries=dlmread(strcat(strnome, '-out_series.txt'));
NM = NA*12+1;

```

```

for ns = 1:NS
    ENMm = ENseries( ((ns-1)*NA+1):ns*NA, : );
    for i = 1:NA
        ENM( ( (i-1)*12 + 1):i*12 ) = ENMm(i, :)' ;
    end

    D=P*mean(ENM);
    A(1)=0;
    for t=2:NM
        A(t) = min(A(t-1) - D + ENM(t-1),0);
    end
    Def(ns) = -min(A);

end

dlmwrite(strcat(strnome, '-
out_deficit.txt'), Def, 'delimiter', '\t', 'newline', 'pc');
end

```

```

function [ output_args ] = gera_et( m, N )

A_INI = 0
A_DELTA = 0.2;
A_MAX = 3;

MI_INI = 0;
MI_DELTA = 0.2;
MI_MAX = 2;

n = zeros((A_MAX - A_INI)/A_DELTA + 1, (MI_MAX - MI_INI)/MI_DELTA + 1);
Tr = zeros((A_MAX - A_INI)/A_DELTA + 1, (MI_MAX - MI_INI)/MI_DELTA +
1);
%fi = igual d
%assimetria = o valor de assimetria influencia no valor de "d"
adotado.
d = 0.1
ro = 0.40
divisor = sqrt(exp(d^2) - 1);

randoms = dlmread('rand.txt', '\t');

es = zeros(N,m);
for ns = 1:N
    Z = 0;
    e = zeros(1,m);
    for t = 1:m
        Z_anterior = Z;
        Z = Z_anterior*ro + sqrt(1 - ro^2)*randoms(ns,t);
        e(t) = (exp(d*(Z - d/2)) - 1)/divisor;

    end
    es(ns, :) = e;
    i = 0;
    j = 0;
    for a = A_INI:A_DELTA:A_MAX
        i = i + 1;

```