

# As possíveis alterações microclimáticas devido a formação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí -PA.

Fabio SANCHES<sup>1</sup>, Gilberto FISCH<sup>1,2</sup>

## RESUMO

Existem muitas preocupações ecológicas do impacto que a construção de grandes lagos na Amazônia podem provocar, principalmente relacionadas ao microclima. Este estudo visa aumentar o conhecimento científico sobre a distribuição de chuvas antes e depois da formação do lago artificial da UHE Tucuruí-PA. Foram utilizados dados diários de precipitação dos períodos de 1972 a 1983 (pré-enchimento) e de 1984 a 1996 (pós-enchimento) para as cidades de Tucuruí e Marabá-PA. Comparando-se os totais mensais (pré e pós-enchimento), não se observam diferenças estatisticamente significantes (foram aplicados os testes de Fisher e Man-Whitney). Analisando-se a ocorrência de dias com precipitação superior a 5 e 25 mm.dia<sup>-1</sup>, também não se observam diferenças estatisticamente significativas. Há um leve aumento do número de dias com chuvas leves no final período seco após a formação do lago, talvez devido a alta evaporação do lago artificial. Também não se observou modificações do início ou final da estação chuvosa.

## PALAVRAS-CHAVES

chuva, desmatamento, testes estatísticos, Amazônia

## *The possible impacts on the microclimate due to the artificial lake from Tucuruí's dam.*

## ABSTRACT

*There are a lot of ecological concern about the ecological impacts due to an artificial lake in Amazonia, especially related with the microclimate. This study aims to increase the scientific knowledge of the rainfall distribution prior and post flooding of the UHE Tucuruí-PA. Daily rainfall from 1972 until 1983 (prior inundation) and from 1984 until 1996 (post inundation) for Tucuruí and Marabá-PA. Comparing the monthly totals (prior and post), there is no statistical differences between the averages (using the statistical tests from Fisher and Man-Whitney). Analyzing the number of days with rainfall higher than 5 and 25 mm.day<sup>-1</sup>, there are also no statistical differences. It was observed a small increase of light rain during the end of the dry season. Also, there are no signal related to the modification of the onset or end from the rainy season.*

## KEYWORDS

*rainfall, deforestation, statistical tests, Amazonia*

## INTRODUÇÃO

A recente crise no sistema energético enfrentada pelo Brasil em 2001 trouxe a tona uma série de discussões a respeito de nossas matrizes energéticas. Parte dessa energia provém de grandes hidrelétricas situadas na Amazônia, onde a tropicalidade do país e os altos regimes pluviométricos demonstram a necessidade de monitoramento constante e de estudos ecológicos. Sendo assim, a Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHE Tucuruí), no Pará, possui um papel de destaque no quadro socioeconômico e natural da região Norte do país, em

decorrência da formação de seu lago artificial com 2.875 km<sup>2</sup> e da possível mudança no microclima local.

Antes da construção de uma usina hidrelétrica, são necessários estudos de viabilidade do projeto. O desempenho e impacto das grandes barragens são avaliados, levando-se em conta aspectos sociais, econômicos e também técnicos (Goodland, 1977 e Baxter e Glaude, 1977).

A importância de reservatórios ou lagos artificiais como tema de pesquisas científicas tem sido bastante estudada nos últimos 20-30 anos. Entretanto, os principais aspectos que são

<sup>1</sup> Universidade de Taubaté – UNITAU - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - 12081-010 - Taubaté – SP – Brasil

<sup>2</sup> Centro Técnico Aeroespacial (CTA/IAE-ACA) - Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, 12228-904, São José dos Campos, SP - e-mail: gfish@uol.com.br, fosanches@estadao.com.br

abordados referem-se a qualidade de água (Straskraba e Tundizi, 2000); as modificações do ciclo hidrológico, principalmente aquelas relativas a vazões à jusante (Basso, 2000) ou mesmo ainda sobre efeitos que as alterações climáticas globais, tal como o aquecimento da atmosfera, pode provocar no estado trófico do lago (Arfi, 2003). Entretanto, poucos tem sido os trabalhos científicos que procuram avaliar e investigar o efeito no microclima local da troca de vegetação, em decorrência da formação da lâmina d'água.

No Brasil, Grimm (1988) desenvolveu uma série de testes estatísticos em um conjunto de elementos climáticos junto a hidrelétrica de Itaipu analisando dois períodos distintos (anterior e posterior a formação da hidrelétrica) para verificar se houve mudança nos elementos climáticos em função da formação da lâmina d'água. Os resultados mostraram um aumento da temperatura mínima e diminuição da temperatura máxima no mês de agosto. A insolação não sofreu mudanças significativas. Contudo ocorreu o aumento da evaporação, mas não foram observados alterações significativas com relação a precipitação total e máxima mensal. Na Hidrelétrica de Sobradinho, no semi-árido nordestino, Campos (1990) desenvolveu um estudo da modificação do clima na região da represa com base na variabilidade espacial-temporal da precipitação do período de pré e pós-enchimento do seu lago. Analisando os gráficos das normais mensais e as porcentagens dos períodos chuvosos e secos, verificou-se que o lago da UHE de Sobradinho influenciou no aumento médio de 13% da pluviosidade junto as cidades próxima a barragem do lago (Remanso, Sento Sé e Xique-Xique) e um aumento das precipitações em 16% no trimestre mais chuvoso.

Durante a década dos anos 80 e 90, o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) desenvolveu vários projetos de pesquisa ecológica em Tucuruí-PA. No caso específico do segmento de climatologia, Fisch et al. (1990) verificou que no período de dezembro de 1982 a dezembro de 1986, a análise dos padrões sazonais de temperatura, velocidade de vento, distribuição da precipitação local e fluxo de radiação solar mostraram uma evapotranspiração média maior que a encontrada na literatura. A importância da interação entre floresta e clima são bem documentados em Salati e Góes Ribeiro (1979) e por Fisch et al. (1998). Um bom exemplo da interação floresta tropical-atmosfera-lago artificial poder-se-ia encontrar nos estudos relativos a UHE de Curuá-UNA, na região do Pará, pois foi o primeiro lago artificial implantado na Amazônia. Conforme Gunkel et al. (2003), não foi possível observar-se mudanças no regime pluviométrico, por absoluta falta de informação climatológica. A Comissão Mundial de Barragens (CMB, 1999) também analisou o impacto social e ecológico da construção da UHE Tucuruí, mas também não aprofundou-se na problemática das análises climáticas.

Portanto, é com base na escassez de estudos de microclima em lagos artificiais e represas na região de floresta tropical e na possibilidade de ter-se uma área de aproximadamente 100.000 km<sup>2</sup> com lagos artificiais na Amazônia (Gunkel et al., (2003) citando Kohlhepp, 1998) nos próximos 20-30 anos, é que motivou-se a desenvolver este estudo que analisa os regimes de precipitação

anterior e posterior a formação do lago da UHE de Tucuruí, para verificar se a formação de uma lâmina d'água e sua interação com a floresta que a margeia promoveu modificações substanciais na precipitação local.

## MATERIAIS E MÉTODOS:

O reservatório de Tucuruí situa-se na região do baixo rio Tocantins, no estado do Pará. O barramento completo do rio ocorreu em 06/09/84 e o enchimento do reservatório prolongou-se até março de 1985 (6 meses). O lago formado, situado na cota 72 metros, inundou uma área de 2.875km<sup>2</sup>, da qual 25% corresponde a áreas anteriormente ocupadas pelo rio Tocantins e seus principais afluentes. Nessa cota o reservatório apresenta um perímetro de 7.700km e possui aproximadamente 1.600 ilhas, formadas pelas terras mais elevadas que não foram inundadas. O comprimento do lago é de 170 km no eixo norte-sul.

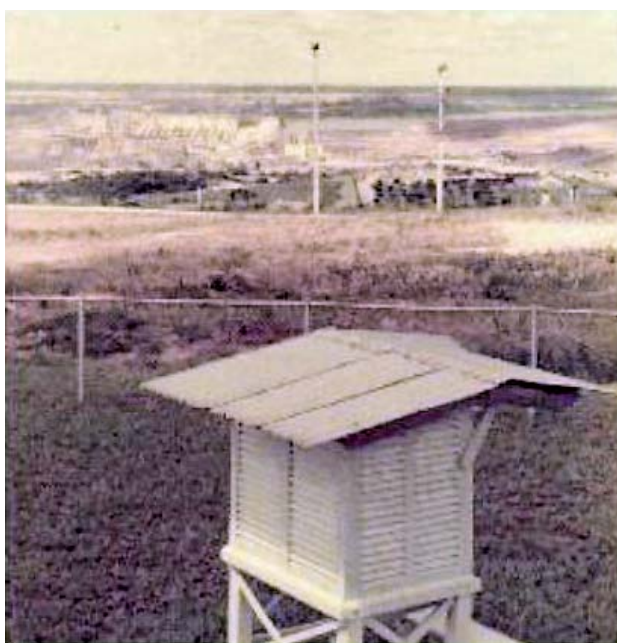
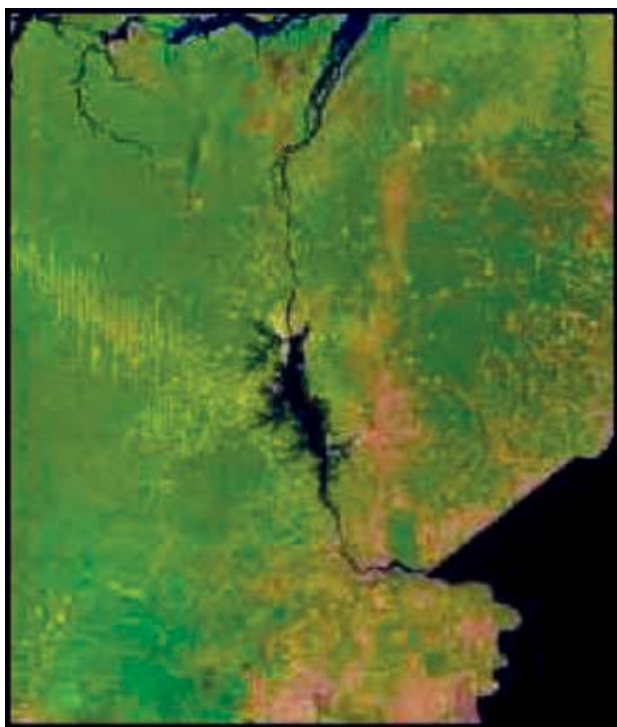
Segundo Fisch et al. (1990) o clima da região de Tucuruí é classificado como tendo duas estações bem definidas e características: um período chuvoso de dezembro a maio, com chuvas intensas de origem convectiva e totais mensais atingindo valores de entre 500-600 mm/mês; e outro período seco de junho a novembro, com uma estiagem pronunciada em agosto-setembro, quando a precipitação é tipicamente da ordem de 30 mm/mês. Por ser uma localidade próxima ao Equador, as temperaturas são altas durante o ano inteiro (médias mensais superiores a 24 °C). A pluviosidade anual é superior a 2500 mm.

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados os valores de precipitação diária coletados pela estação meteorológica do INMET de Tucuruí, localizada na cidade de Tucuruí (3° 26' S e 49° 24' W) e pela estação meteorológica da ELETRONORTE, junto a barragem da UHE de Tucuruí (3° 32' S e 49° 42' W). Estes dois postos distam aproximadamente 10 km entre si, sendo que o posto da ELETRONORTE situa-se as margens do lago formado. O instrumento utilizado foi um pluviômetro do tipo *Ville de Paris*. A Figura 1 apresenta a posição geográfica de Tucuruí, Marabá e do lago artificial formado, bem como a visão da barragem a partir da estação meteorológica.

A princípio procurou-se identificar dois períodos distintos de coleta de dados: período de **pré-enchimento** onde foram utilizados os dados do INMET de Tucuruí no período correspondente de 1972 à 1983, e o período de **pós-enchimento** onde utilizou-se os dados da ELETRONORTE de 1984 à 1996. Obteve-se uma série complementar (apenas totais mensais) dos dados do INMET de Tucuruí para o período de 1984 a 1996, que foram utilizados para análise de recobrimento de dados entre as séries INMET e ELN (Tabela A).

Os totais diários foram tabulados em planilhas considerando dias corridos de 1 à 31, nos meses de janeiro a dezembro. Pôde-se extrair, dessa forma, os totais mensais para cada ano nas duas séries de dados (pré e pós-enchimento) e ainda o número de dias com chuvas superiores a 1 mm, 5 mm e 25 mm a cada mês para assim poder determinar suas estatísticas (médias, desvio padrão, valores extremos de máxima e mínima).

Para se verificar a homogeneidade dos resultados obtidos pelas duas séries de dados (pré e pós-enchimento), foram aplicados dois testes estatísticos (o Teste das Diferenças das Médias para pequenas amostras (Spiegel, 1993) e o Testes não-paramétrico de Mann-Whitney sobre a independência de séries (Wilkins, 1995) nos totais médios mensais em ambos os



**Figura 1** - Localização geográfica da UHE Tucuruí (acima) e do posto meteorológico (abaixo)

períodos. Esses testes foram aplicados para verificar se, estatisticamente, os valores médios mensais de precipitação eram (ou não) diferentes entre si, resultado de alterações no microclima local, fortalecendo assim os resultados encontrados.

Identificando o início e o final do período chuvoso é possível analisar se houve maior ou menor concentração de chuvas, melhor distribuição ao longo dos dias etc. Tal identificação é possível ser feita através do cálculo das pântadas para todo o conjunto de dados (pré e pós-enchimento) onde se obtém um conjunto de 73 pântadas para cada ano. Nos anos bissextos a precipitação do dia 29 de fevereiro é somada ao total do dia 28 para não comprometer o conjunto das pântadas. Alves et al. (1999) mostraram que a evapotranspiração típica de floresta tropical é de 4 mm/dia. Considerando-se que uma pântada equivale a precipitação acumulada de 5 dias, adotou-se a hipótese de que o início do período chuvoso corresponderia a uma sequência de 3 pântadas sucessivas com precipitação superior a 20 mm, e o final do período chuvoso quando esta mesma sequência (3 pântadas) apresentasse precipitação inferior a 20 mm.

Procurou-se também utilizar os totais mensais de precipitação obtidos da estação do INMET de Marabá (5° 21' S e 49° 9' W), localizada a aproximadamente 200 km ao sul da barragem, para se comparar os ritmos de precipitação associados aos mesmos períodos dos dados do INMET de Tucuruí e da ELETRONORTE através da correlação de dados aos pares. O posto de Marabá funcionou como um controle da ação de fenômenos de larga-escala que atuaram nas duas regiões simultaneamente.

## RESULTADOS

Os totais diários de precipitação em ambos os períodos (pré e pós-enchimento) foram somados e obtidos os seus totais mensais. Com base nesses totais mensais extraiu-se um conjunto de estatísticas (médias, desvio-padrão, valores extremos de máxima e mínima) apresentados nas Tabelas 1 e 2. Observando-se estas tabelas, não é possível observar visualmente grandes diferenças entre os dois conjuntos de dados, o que justifica a necessidade da aplicação de testes estatísticos de significância.

O resultado da aplicação do Teste das Diferenças das Médias para pequenas amostras (Tabela 3) demonstrou que, considerando a formação do lago artificial, os dois períodos (pré e pós-enchimento) não apresentam diferenças significativas em seus regimes pluviométricos já que todos os escores (z) permaneceram dentro do nível de significância a 5% (Tabela 3). O mesmo se aplica para o Teste de Mann-Whitney para considerar a homogeneidade e independência dos dois conjuntos de dados (Tabela 4).

Considerando que as análises foram feitas com 2 conjuntos de dados relativamente pequenos (12-13 anos), é importante comparar as precipitações ocorridas entre os postos de Tucuruí e a ELETRONORTE para um período comum de dados para analisar a consistência entre os dados (recobrimento das séries).

A Figura 2 mostra a plotagem dos totais mensais de precipitação ocorridos nas duas localidades com um total de 149 pares de valores (foi desprezado o período de abril a setembro de 1992 e agosto de 1995 pois faltou dados em um dos postos), visando uma análise detalhada do recobrimento entre as séries. O coeficiente de correlação entre os pares de dados é muito bom (0,97) e a regressão linear ajustada também (Figura 2). Este resultado comprovou que os dados da ELN (pós-enchimento) eram consistentes com os valores de Tucuruí (pré-enchimento).

Ao analisar e comparar os dias com precipitações diárias superiores a 5 mm e 25 mm para os dois conjuntos de dados

(Tabelas 5 e 7 para Tucuruí e Tabelas 6 e 8 para ELETRONORTE, respectivamente), também não se nota diferenças estatísticas entre os resultados. Os valores de 5 e 25 mm/dia foram escolhidos para representar chuvas leves-moderadas e chuvas intensas, respectivamente. Entretanto, uma análise mais detalhada da ocorrência de chuvas em Outubro e Novembro mostra que o número de dias com chuvas superiores a 5 mm/dia aumentou do período pré-enchimento (2,9 dias em Outubro e 3,1 dias em Novembro) para pós-enchimento (4,6 dias em Outubro e 5,2 dias em Novembro). Os respectivos desvios-padrões também aumentaram: de menor que 2 dias no período de pré-enchimento

**Tabela A - Totais Mensais Pluviométricos em Tucuruí (pós-enchimento).**

Ano/mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1984	296,1	650,4	465,1	670,1	273,2	48,5	39,1	50,7	63,8	144,2	100,1	230,8	3032,1
1985	469,8	538,7	442,9	339,6	311,5	65,1	23,0	38,3	11,1	91,5	116,4	379,5	2827,4
1986	354,3	374,3	524,7	554,2	173,1	193,1	21,0	19,4	28,9	299,8	168,3	265,4	2994,5
1987	234,1	293,3	600,1	354,8	174,9	140,5	3,4	21,4	30,6	12,0	42,5	169,5	2177,0
1988	472,5	253,3	584,6	513,5	235,6	258,9	72,3	44,6	11,1	59,6	148,5	294,8	2949,3
1989	234,4	335,2	401,0	512,5	340,0	130,0	42,4	28,0	34,9	112,4	114,6	247,7	2533,1
1990	179,0	226,6	211,1	328,7	130,0	49,0	123,3	19,9	40,0	78,7	110,4	320,8	1817,5
1991	354,3	336,3	368,0	225,7	245,8	69,1	19,4	18,6	7,6	66,9	28,7	120,0	1860,4
1992	239,9	235,4	510,4	282,7	130,1	30,6	36,4	29,7	24,6	60,1	80,3	112,5	1772,7
1993	427,0	374,2	307,2	443,4	122,7	22,9	8,5	25,1	51,3	48,1	229,6	241,0	2301,0
1994	600,2	503,6	466,0	273,4	426,4	150,4	52,6	84,5	55,7	52,1	32,5	145,6	2843,0
1995	221,0	401,6	345,0	337,5	292,0	33,0	39,1	1,4	8,6	82,2	242,5	181,7	2185,6
1996	360,7	543,3	324,4	398,6	251,4	0,8	20,4	22,8	36,8	59,6	122,5	247,7	2391,0

Fonte: INMET – Tucuruí.

Obs: os meses em branco correspondem a falta de informações e não precipitação nula

**Tabela 1 - Totais mensais (em mm) da precipitação em Tucuruí (série pré-enchimento).**

Ano/mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1972	262,3	287,6	358,7	310,4	136,7	123,6	48,6	33,2	13,8	43,5	178,4	188,9	1796,8
1973	306,8	347,3	499,2	558,0	282,0	137,9	243,3	41,7	61,3	74,2	90,5	241,2	2642,2
1974	451,5	469,3	604,2	436,0	347,1	98,3	16,1		43,2	28,8	63,5	262,4	>2558,0
1975	301,1	474,5	513,1	475,7	271,6	152,0	40,7	29,7	13,4	21,2	169,7	158,7	2462,7
1976	334,5	389,4	348,3	411,0	70,0	69,6	37,6	22,1	3,3	26,6		227,5	>1712,4
1977	550,0	609,6	538,2	602,3	319,0	72,9	36,5	3,2	29,0	95,6	16,9	135,4	2873,2
1978	446,6	269,2	408,1	555,1	357,7	100,0	116,9	10,0	15,9	45,4		109,9	>2324,9
1979	339,3	284,8	419,3	168,7	183,4	78,9	2,7	101,7	77,8	79,4	128,8	194,9	1864,8
1980	382,6	521,1	336,8	291,0	145,4	20,4	12,4	7,9	10,0	43,6	194,5	147,4	1965,7
1981	255,1	342,3	337,9	198,8	127,4	38,6	58,5	12,9	2,6	50,8	187,0	147,8	1611,9
1982	435,5	684,0	459,1	279,2	225,6	18,1	49,0	32,2	35,7	72,3	68,1	167,2	2358,8
1983	204,1	357,7	360,4	192,5	200,4	44,3	24,6	16,5	15,9	15,3	16,3	246,0	1448,0
Média	355,8	419,7	431,9	373,2	222,2	79,6	57,2	28,3	26,8	49,7	111,4	185,6	
Desvio Padrão	100,1	133,5	89,9	153,7	93,7	44,4	65,4	27,2	23,6	25,5	69,4	49,3	
Máx	550,0	609,6	604,2	602,3	357,7	152,0	243,3	101,7	77,8	95,6	194,5	262,0	
Mín	204,1	269,2	336,8	168,7	70,0	18,1	2,7	3,2	2,6	15,3	16,3	109,9	

Fonte: INMET - Tucuruí

Obs: os meses em branco correspondem a falta de informações e não precipitação nula.

**Tabela 2 - Totais mensais (em mm) da precipitação na ELETRONORTE (série pós-enchimento).**

Ano/mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1984	369,5	668,0	465,1	536,7	233,8	68,4	14,1	47,2	71,8	132,2	111,4	198,6	2916,8
1985	552,6	542,6	442,9	375,2	266,4	73,0	50,4	17,2	13,6	80,0	110,7	424,8	2949,4
1986	354,3	467,1	726,8	437,0	180,3	140,9	11,4	13,6	56,1	299,8	126,0	130,5	2943,8
1987	234,1	412,4	582,6	259,2	169,4	143,0	0,8	3,9	58,4	10,6	102,8	157,2	2134,4
1988	477,7	239,4	584,6	618,3	208,3	197,2	100,0	48,8	36,4	31,2	195,5	415,4	3152,8
1989	234,4	396,5	860,4	559,3	310,0	164,2	24,6	81,2	21,8	105,0	140,0	284,6	3182,0
1990	172,2	221,6	286,4	283,1	88,0	53,3	76,2	29,3	34,5	141,0	114,6	298,8	1799,0
1991	347,4	348,0	714,4	228,4	216,6	69,8	3,4	25,7	25,5	75,6	110,4	120,0	2285,2
1992	231,9	235,4	429,2							5,0	28,7	189,9	>1120,1
1993	522,1	428,5	347,5	405,0	136,5	7,3	8,5	27,8	18,5	60,1	176,2	322,1	2460,1
1994	600,6	452,9	405,5	313,9	447,4	177,2	65,0	15,4	24,1	75,1	43,0	123,3	2743,4
1995	223,5	403,6	290,9	337,5	347,4	39,6	21,9		10,4	81,4	214,3	185,8	>2156,3
1996	360,7	545,3	324,4	398,6	251,4	0,8	20,4	22,8	36,8	59,6	122,5	247,7	2391,3
Média	360,1	412,4	497,0	396,0	238,0	94,6	33,1	30,3	34,0	89,0	122,8	238,4	
Desvio Padrão	140,6	131,4	183,3	123,5	97,3	67,1	32,2	21,6	19,2	75,3	52,4	104,5	
Máx	600,6	668,0	860,4	559,3	447,4	197,2	100,0	81,2	71,8	299,8	214,3	424,8	
Mín	172,2	221,6	286,4	259,2	88,0	0,8	0,8	3,9	10,4	5,0	43,0	120,0	

Fonte: ELETRONORTE

Obs: os meses em branco correspondem a falta de informações e não precipitação nula.

**Tabela 3 - Valores de (z) para o Teste de Significância das Diferenças das Médias**

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Valor de z	-0,03	0,04	-0,48	-0,10	-0,12	-0,23	0,26	-0,05	-0,21	-0,94	-0,12	-0,70

**Tabela 4 - Valores de (z) para o Teste de Mann Whitney.**

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Valor de z	0,0	-0,38	-0,54	-0,46	-0,46	-0,46	1,04	-0,49	-1,15	-1,74	-0,43	-1,14

**Tabela 5 - Dias com precipitações diárias superiores a 5 mm em Tucuruí.**

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1972	14	11	19	14	9	7	2	2	1	3	4	9
1973	16	16	23	19	13	9	11	4	4	6	3	13
1974	10	13	20	20	12	4	0	-	4	2	2	12
1975	18	18	19	18	11	6	3	2	1	1	1	8
1976	14	15	18	14	4	6	2	2	0	2	-	8
1977	18	18	22	17	14	8	1	0	2	4	1	4
1978	19	15	19	16	15	3	8	0	1	3	-	7
1979	13	13	17	10	12	1	0	4	4	3	4	8
1980	17	21	14	16	10	2	1	1	1	3	7	7
1981	9	18	9	9	6	2	2	1	0	2	4	8
1982	14	19	15	14	7	1	3	1	2	4	3	9
1983	7	13	17	13	7	4	2	1	1	2	2	13
Média	14,1	15,8	17,7	15,0	10,0	4,4	2,9	1,6	1,8	2,9	3,1	8,8
Desvio Padrão	3,8	3,0	3,7	3,4	3,4	2,7	3,3	1,4	1,5	1,3	1,7	2,7
Máx	19	21	23	20	15	9	11	4	4	6	7	13
Mín	7	13	9	9	4	1	0	0	0	1	1	4

para maior que 2,5 dias no período de pós-enchimento. Considerando as chuvas fracas entre 1 e 5 mm/dia no período de Agosto a Novembro (Tabela 9), observa-se que ocorre uma redução do número de dias com chuvas, com excessão do mês de outubro (aumento de 1,8 dias para 2,8 dias). Estas diferenças não são estatisticamente diferentes, a variabilidade anual é alta (dada pelo desvio-padrão), porém pode ser um sinal fraco de que as chuvas no mês de Outubro foram suscetíveis a mudança de floresta tropical para lago artificial. Os meses de outubro e novembro são o final da estação seca e períodos de transição.

Tendo o resultado anterior em mente, foi investigado o início e final do período chuvoso: na série de pré-enchimento, o final do período chuvoso teve a moda em torno da pântada 33 (Tabela 10), enquanto que na série pós-enchimento, a moda ficou em torno da pântada 30 (Tabela 11). Do mesmo modo, o início do período das chuvas no conjunto de pântadas equivalente ao período de pré-enchimento teve a moda no valor de 72, enquanto que nas pântadas de pós-enchimento sua moda foi 71. Os valores da mediana foram similares, sendo que para os valores do

**Tabela 6 - Dias com precipitações diárias superiores a 5 mm na ELETRONORTE**

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1984	16	23	20	21	9	4	1	3	4	6	3	7
1985	16	20	18	15	12	6	2	1	1	3	7	14
1986	10	20	21	17	10	5	1	1	2	12	5	5
1987	13	13	21	10	7	5	0	0	2	1	2	3
1988	16	10	21	18	8	6	3	2	3	2	8	12
1989	11	12	15	17	18	8	2	6	2	7	4	15
1990	10	13	17	15	6	2	7	2	2	5	5	13
1991	16	10	19	12	9	4	0	2	1	5	4	0
1992	7	12	17	-	-	-	-	-	-	0	2	7
1993	18	14	16	14	5	0	0	1	1	4	5	10
1994	18	20	19	12	15	8	4	1	1	3	4	5
1995	7	16	14	13	18	2	3	-	1	6	11	8
1996	13	18	18	18	11	0	2	1	3	6	7	10
Média	13,2	15,5	18,2	15,2	10,7	4,2	2,1	1,8	1,9	4,6	5,2	8,4
Desvio Padrão	3,9	4,3	2,3	3,2	4,4	2,7	2	1,2	1,0	3,1	2,5	4,5
Máx	18	23	21	21	18	8	7	6	4	12	11	15
Mín	7	10	14	10	5	0	0	0	1	0	2	0

**Tabela 7 - Dias com precipitações diárias superiores a 25 mm em Tucuruí**

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1972	1	4	4	4	1	1	1	0	0	0	1	3
1973	4	3	7	9	5	1	4	0	0	0	1	3
1974	4	6	8	6	4	2	0	-	0	0	1	4
1975	1	7	9	4	4	3	0	0	0	0	1	2
1976	4	7	6	5	0	1	0	0	0	0	-	5
1977	6	9	8	9	4	0	1	0	0	1	0	1
1978	6	3	8	9	5	2	0	0	0	0	-	1
1979	2	3	6	2	2	1	0	2	1	2	3	2
1980	5	7	4	6	1	0	0	0	0	0	2	3
1981	4	4	3	3	2	0	1	0	0	1	2	2
1982	7	13	4	2	3	0	0	0	0	1	1	3
1983	3	4	4	1	3	0	0	0	0	0	0	3
Média	3,9	5,8	5,9	5,0	2,8	0,9	0,6	0,2	0,1	0,4	1,2	2,7
Desvio Padrão	1,9	3,0	2,1	2,9	1,6	1,0	1,2	0,6	0,3	0,7	0,9	1,2
Máx	3,9	5,8	5,9	5,0	2,8	0,9	0,6	0,2	0,1	0,4	1,2	2,7
Mín	1,9	3,0	2,1	2,9	1,6	1,0	1,2	0,6	0,3	0,7	0,9	1,2

**Tabela 8 - Dias com precipitações diárias superiores a 25 mm na ELETRONORTE**

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1984	5	10	5	7	2	0	0	0	1	1	3	2
1985	8	13	7	6	5	1	1	0	0	1	1	6
1986	3	9	9	4	1	3	0	0	1	6	2	2
1987	3	7	6	3	2	1	0	0	1	0	1	2
1988	5	3	9	8	2	2	2	1	0	0	2	6
1989	3	5	7	8	3	2	0	1	0	1	1	3
1990	1	1	3	2	0	1	0	0	0	2	2	3
1991	5	4	9	4	1	1	0	0	0	1	1	0
1992	3	3	7	-	-	-	-	-	-	0	0	3
1993	9	6	3	4	2	0	0	0	0	0	2	7
1994	10	7	6	4	5	2	0	0	0	1	0	1
1995	3	5	3	5	5	0	0	-	0	1	5	3
1996	5	10	3	4	4	0	0	0	0	0	2	4
Média	4,8	6,4	5,9	4,9	2,7	1,1	0,2	0,2	0,3	1,1	1,7	3,2
Desvio Padrão	2,7	3,4	2,4	1,9	1,7	1	0,6	0,4	0,5	1,6	1,3	2
Máx	10	13	9	8	5	3	2	1	1	6	5	7
Mín	1	1	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabela 9 - Dias com precipitações diárias entre 1 e 5 mm em Tucuruí (PRÉ) e na ELETRONORTE (PÓS). O desvio-padrão encontra-se dentro dos parênteses.**

	AGO	SET	OUT	NOV
PRÉ	3,0(2,0)	2,8(1,5)	1,8(1,6)	3,7(2,4)
PÓS	1,8(1,6)	2,3(1,6)	2,8(2,1)	2,1(1,7)

**Tabela 10 - Número das pântadas de início e término dos períodos chuvosos na série pré-enchimento ( INMET – Tucuruí).**

Anos	Fim das chuvas	Início das chuvas
1973	47	70
1974	33	68
1975	37	72
1976	27	71
1977	30	1*
1978	33	3*
1979	32	73
1980	29	72
1981	31	69
1982	26	6*
1983	29	71
Média	32	70,8
Moda	33	72
Mediana	31	70

(\*) valores obtidos nos anos sob ação do efeito El Niño e retirados do cálculo da média do início das chuvas.

cálculo da média, foram extraídos os anos de El Niño, pois sabe-se que a influência deste é de redução da precipitação na Amazônia Oriental (Fisch et al., 1998). O valor médio de início na estação chuvosa é de 70,8 pântadas para o período de pré-enchimento e de 64,3 pântadas para o período de pós-enchimento. Este resultado de antecipação do início

**Tabela 11 - Número das pântadas de início e término dos períodos chuvosos na série pós-enchimento ( ELETRONORTE).**

Anos	Fim das chuvas	Início das chuvas
1984	34	60
1985	30	67
1986	26	55
1987	35	3*
1988	35	67
1989	35	69
1990	25	43
1991	29	4*
1992	19	69
1993	30	64
1994	41	71
1995	30	71
1996	30	71
Média	31	64,3
Moda	30	71
Mediana	30	67

(\*) valores obtidos nos anos sob ação do efeito El Niño e retirados do cálculo da média do início das chuvas.

da estação chuvosa é mais um indício de pequena alteração, induzindo a hipótese de que a formação do lago artificial pode ter provocado a ocorrência de chuvas leves e esparsas, como influência local. Os totais mensais de precipitação não mostram isto, pois esta influência é pequena, em termos de volume ou quantidade de água.

A utilização dos totais mensais de pluviosidade da estação do INMET de Marabá (Tabelas 12 e 13) serviram como outro parâmetro para se desenvolver análises e comparações nos ritmos e regimes de chuvas. Foram desenvolvidas correlações

de dados aos pares entre INMET de Tucuruí e de Marabá, correspondendo ao período de pré-enchimento (Figura 3) e ELETRONORTE e INMET de Marabá no período de pós-enchimento (Figura 4) e esses resultados demonstraram um coeficiente de correlação de 0,81 entre os dados de pré-enchimento e de 0,74 entre os dados de pós-enchimento, o que demonstra que as séries de pré-enchimento (INMET de Tucuruí e de Marabá) e de pós-enchimento (ELETRONORTE e INMET/Marabá) estavam sob a ação dos mesmos sistemas atmosféricos de larga-escala. Este resultado também é válido mesmo se classificarmos o regime pluviométrico em chuvas mais intensas (totais mensais entre 100 e 500 mm) e fracas (totais mensais entre 50 e 100 mm). As Figuras 5,6,7 e 8 apresentam as

correlações entre as chuvas de Tucuruí e Marabá para chuvas fortes (Figura 5) e fracas (Figura 7) e também para ELETRONORTE e Marabá (Figuras 6 e 8). Todos as correlações são altas, com coeficientes de correlação altos (maiores que 0,96), demonstrando que o padrão de chuvas não sofreu modificações em função da formação do lago da UHE de Tucuruí.

## COMENTÁRIOS FINAIS

Atualmente sabe-se perfeitamente que a eletricidade possui um papel vital para o desenvolvimento sócio-econômico das nações e as fontes renováveis de energia estão inseridas nessa papel de destaque, especialmente as hidrelétricas. Entretanto,

**Tabela 12** - Totais mensais pluviométricos em Marabá ( pré-enchimento).

Ano/mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1973	228,9	282,7	284,6	294,9	121,2	70,5	27,6	16,6	79,0	144,2	137,1	300,3	1987,6
1974	230,1	482,2	380,0	321,0	55,7	18,4	4,1	4,1	28,0	70,8	89,7	221,0	1905,1
1975	386,6	380,6	466,0	417,8	117,4	52,5	65,6	11,9	120,0	127,7	142,5	169,4	2458,0
1976	215,9	382,1	371,4	271,3	95,8	2,2	11,6	1,8	27,2	201,7	189,2	198,2	1968,4
1977	274,7	457,4	300,1	458,8	166,2	28,8	39,7	12,1	23,3	81,3	60,2	258,8	2161,4
1978	422,2	320,9	363,9	308,2	134,7	33,8	26,4	0,0	49,0	87,9	114,2	215,3	2076,5
1979	368,2	215,5	169,0	205,7	52,2	4,7	13,7	159,2	80,6	36,4	69,3	157,5	1532,0
1980	332,2	620,7	315,7		65,5	14,6	9,0	32,4	13,3	88,3	166,3	273,5	>1931,5
1981	417,9		256,1	188,9	3,8	38,0	12,6	6,7	20,7	128,1	288,0	180,4	>1541,2
1982	394,2	277,6		273,0	33,1	66,5	0,5	6,3	100,7	107,9	41,5	169,9	>1471,2
1983	209,8	235,4	377,8	55,9	5,9	0,0	0,0	45,0	51,9	72,3	286,1		>1340,1
Médias	316,4	365,5	331,2	279,6	77,4	30,0	19,2	26,9	54,0	104,2	144,0	214,4	
Desvio Padrão	85,9	126,4	82,1	114,4	53,6	24,9	19,7	45,9	36,0	44,7	83,9	48,9	

Fonte: INMET - Marabá

Obs: os meses em branco correspondem a falta de informações e não precipitação nula.

**Tabela 13** - Totais Mensais Pluviométricos em Marabá (pós-enchimento).

Ano/mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1984	156,7	358,0	616,9	374,8	104,5	27,6	0,0	17,1	68,0	219,1	99,9	170,2	2212,8
1985	510,6	615,1	427,5	423,0	152,3	15,4	0,2	0,6	74,5	137,2	146,5	523,6	3026,5
1986		225,9	392,3	337,3	113,8	77,8	3,3	11,7	46,9	207,3	164,4	203,9	>1784,6
1987	209,3	135,3	454,1	136,8	9,0	23,2	0,4	12,7	86,7	71,9	156,2	190,7	1486,3
1988	209,4	543,2	414,8	426,7	108,4	91,0	9,4	26,0	51,2	122,9	254,8	318,0	2575,8
1989		272,0	508,1	463,5	173,0	44,0	41,6	32,8	69,4	91,4		328,7	>2024,5
1990	58,3	451,4	480,9	206,0	7,8	17,1	106,7	6,3	79,3	149,6	177,4	383,4	2124,2
1991	456,0	166,1	291,5	238,6	78,1	26,4	49,4	0,0	220,8	6,3	99,6	517,3	2150,1
1992		297,7	312,7	144,6	7,9	13,4	13,0	0,0	57,3	19,8	151,0	197,9	>1215,3
1993	162,9	244,0	275,9	170,9	123,2	29,9	0,0	39,7	23,6	59,6	343,4	298,5	1771,6
1994	254,2	393,7	438,5	211,9	127,4	55,7	20,6	0,9	76,5	159,0	98,3	206,3	2043,0
1995	225,0	222,2	278,7	278,0	194,7	0,0	18,7	0,0	31,0	147,3	402,4	186,3	1984,3
1996	305,5	286,6	407,5	337,3	109,7	4,1	0,0	2,2	71,2	64,9	113,7	134,3	1837,0
Médias	254,8	323,9	407,6	288,4	100,7	32,7	20,3	11,5	73,6	112	184	281,5	
Desvio Padrão	154,3	152,7	100,7	122,6	58,8	26,1	32,9	14	50,7	70,3	77,1	127,4	

Fonte: INMET - Marabá.

Obs: os meses em branco correspondem a falta de informações e não precipitação nula



ao elaborar os modelos energéticos, deve-se considerar seus problemas de ordem social e ambiental.

No que diz respeito aos aspectos ambientais, a substituição de floresta tropical por uma lâmina de água certamente modifica o balanço de energia à superfície e, conseqüentemente, toda a caracterização do clima de uma localidade. Com os possíveis futuros cenários de aproveitamento de energia hidrelétrica na Amazônia (por exemplo está ocorrendo a construção da UHE Belo Monte-PA com uma área de alagamento de 1.225 km<sup>2</sup> e existem outras que ainda estão somente na fase de planejamento, mas que certamente virão), o caso da UHE Tucuruí é um bom exemplo dos impactos microclimáticos que poderá resultar. É certo de que o tamanho das

séries temporais pré e pós-enchimento utilizados neste estudo (em torno de 12-13 anos) são pequenos para uma análise estatística aprofundada. Outro ponto a considerar é que fatores externos (variabilidade natural da atmosfera, ocorrência de eventos como El Niño, etc) também ajudam a aumentar a complexidade do problema estudado. Entretanto, dado a inexistência de séries temporais mais longas, este estudo é um indicativo preliminar do que poderá ocorrer no futuro e também um exemplo de como e quais metodologias aplicar nestes estudos de impacto ambiental.

Das análises realizadas e com base nos resultados obtidos sobre as possíveis modificações microclimáticas na área da UHE de Tucuruí em função da formação de seu lago artificial, pode-se

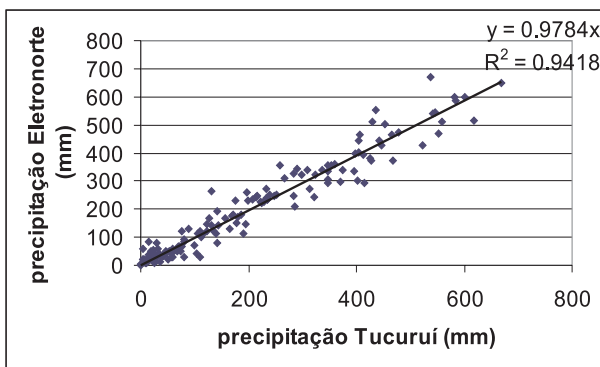


Figura 2 - Correlação entre os totais mensais de precipitação em Tucuruí e Eletronorte, para o período de 1984 a 1996 (pós-enchimento).

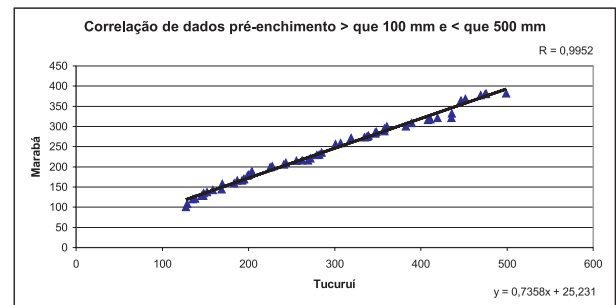


Figura 5 - Gráfico de dados referentes ao pré-enchimento entre Tucuruí e Marabá com totais mensais de precipitação superiores a 100 mm e inferiores a 500 mm.

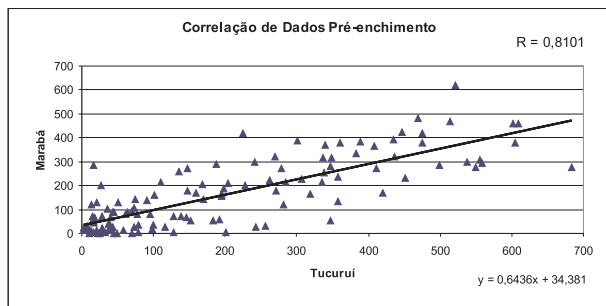


Figura 3 - Correlação dos totais pluviométricos mensais entre Tucuruí e Marabá no pré-enchimento.

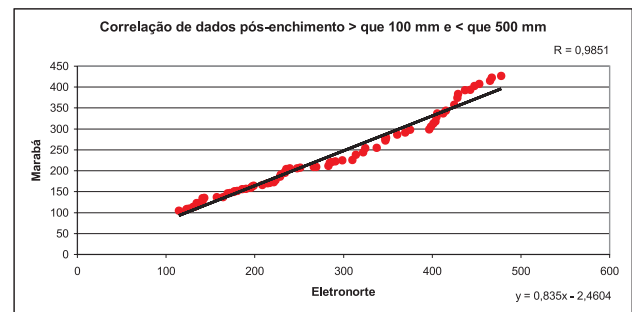


Figura 6 - Gráfico de dados referentes ao pós-enchimento entre ELN e Marabá com totais mensais de precipitação superiores a 100 mm e inferiores a 500 mm.

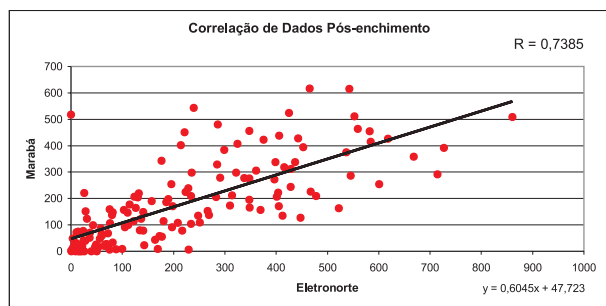


Figura 4 - Correlação dos totais pluviométricos mensais entre ELETRONORTE e Marabá no pós-enchimento

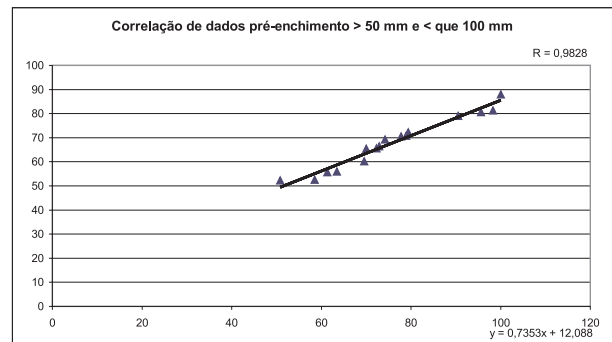
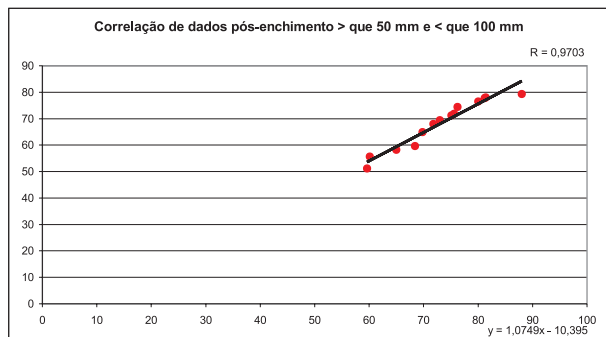


Figura 7 - Gráfico de dados referentes ao pós-enchimento entre Tucuruí e Marabá com totais mensais de precipitação superiores a 50 mm e inferiores a 100 mm.



**Figura 8** - Gráfico de dados referentes ao pós-enchimento entre ELN e Marabá com totais mensais de precipitação superiores a 50 mm e inferiores a 100 mm.

constatar que não ocorreram alterações significativas nos regimes e ritmos de precipitação, quer seja com relação aos totais mensais de precipitação, número de dias com chuvas, início e final do período chuvoso. Entretanto, há um leve indício de que o mês de Outubro, por ser um mês de transição entre a estação seca e o período chuvoso, possa estar suscetível a um aumento de chuvas fracas e moderadas, como produto do aumento da disponibilidade de umidade para evaporação promovido pela formação do lago.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a ELETRONORTE Centrais Elétricas (ELN) pelo fornecimento dos dados pluviométricos para a execução deste trabalho e ao trabalho de dois revisores científicos anônimos que em muito contribuíram para a melhoria deste estudo. Este trabalho é resultado da dissertação de mestrado em Ciências Ambientais pelo primeiro autor (F.O. Sanches). O segundo autor (G. Fisch) agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade de pesquisa (302117/2004-0).

## BIBLIOGRAFIA CITADA

ALVES, F. M.; FISCH, G.; VENDRAME, I. F. 1999. Modificações do microclima e regime hidrológico devido ao desmatamento na Amazônia: Estudo de um caso em Rondônia (RO) - Brasil, *Acta Amazonica*, 29(3): 395 - 409.

ARFI, R. 2003. The effects of climate and hydrology on the trophic status of Séligué Reservoir, Mali, West Africa. *Lake & Reservoirs: research and management*, 8 (3-4): 243-260. (doi 10.1111/j.1440-1770.2003.00233.x)

BAXTER, R. M.; GLAUDE, P. 1977. Environmental effects of dams and impoundments. *Annales Research Ecological System*, 8 (255-283).

BASSO, E. 2000. Alteration of the water balance of lakes. *Lake & Reservoirs: research and management*, 5 (1): 5-9. (doi 10.1146/j.1440-1770.2000.00093.x)

CAMPOS, F. S. 1990. *Estudo de variabilidade de precipitação*. São José dos Campos. 56pp. Monografia (Trabalho Final de Graduação) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

Comissão Mundial de Barragens - CMB. 1999. *Estudo de Caso da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (Brasil): relatório final da fase de escopo*. Rio de Janeiro, 80 p.

FISCH, G. F.; JANUÁRIO, M.; SENNA, R. C. 1990. Impacto ecológico em Tucuruí (PA): Climatologia. *Acta Amazonica*, 20 (Único): 49 - 60.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. 1998. Uma revisão geral do clima da Amazônia. *Acta Amazonica*, 28(2): 101 - 126.

GOODLAND, R. J. A. 1977. Environmental optimization in hydrodevelopment of tropical forest regions. In. *Man-made lakes and human healthy*. Paramaribo, Suriname. Proceedings of the symposium on man-made and human healthy, Faculty of Medicine, University of Suriname, Paramaribo: ed. Panday R.S., 73pp.

GRIMM, A. M. 1988. Verificação de Variações Climáticas na área do Lago de Itaipu - In: *Congresso brasileiro de meteorologia*, 5. Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Paraná.

GUNKEL, G.; LANGE, U.; WALDE, D.; ROSA, J.W.C. 2003. The environmental and operational impacts of Curuá-Una, a reservoir in the Amazon region of Pará, Brazil. *Lake & Reservoirs: research and management*, 8(3-4): 201-220. (doi 10.1111/j.1440-1770.2003.00227.x)

SALATI, E.; GOES RIBEIRO, M. N. 1979. Floresta e clima. *Acta Amazonica*, 9(4): 15 -22.

SPIEGEL, M. R. 1993. Estatística. Trad. e rev. de Consentino, P. 3.ed. São Paulo: Makron Books/McGraw-Hill do Brasil.

STRASKRABA, M.; TUNDIZI, J.G. 2000. *Diretrizes para o gerenciamento de lagos: gerenciamento de qualidade de água nas represas* (vol 9). Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos-SP, 258 p.

WILKINS, D. 1995. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press, San Diego-CA, 342 p.

**RECEBIDO EM 15/07/2002**

**ACEITO EM 07/03/2004**