

3

Medição de precipitação na região Amazônica

3.1.

Rede de pluviógrafos instalados

Este capítulo apresenta o sistema de medição instalado na região Amazônica e os dados de precipitação coletados e processados.

3.1.1.

Pluviógrafo utilizado no sistema de medição

O tipo de pluviógrafo utilizado no sistema de medição que foi instalado na região Amazônica é o de caçamba basculante, conforme pode ser visto no esquema da figura 7 e nas fotos das figuras 8 e 9. Ele é composto por um recipiente metálico, subdividido em dois compartimentos (caçambas), cada um com capacidade para 10 cm de água. Estas caçambas, denominadas de caçambas duplas, são pivotadas por meio de um eixo horizontal abaixo do seu centro de gravidade. Assim, mesmo com as caçambas vazias, o conjunto sempre ficará tombado para um dos lados, fazendo com que uma das caçambas, a que estiver na posição elevada, esteja sempre pronta a receber a água coletada pelo funil de captação. O recipiente do pluviógrafo apresenta uma área de coleta de 800 cm^2 , sob a qual um funil de captação descarrega a precipitação colhida sobre as caçambas.

Os pluviógrafos foram calibrados no laboratório e no local de instalação, seguindo recomendação do fabricante, para que a cada 8 ml de água recebida, a caçamba basculante inverta a sua posição de repouso. O movimento da caçamba dupla, além de despejar a água, causa o fechamento momentâneo de um relé que produzirá um pulso elétrico que será registrado. Cada pulso elétrico corresponderá a uma caçambada, isso é, 0,1 mm de precipitação [27].

Cada tipo de pluviógrafo apresenta uma capacidade máxima de coleta relacionada a sua geometria e sua confecção mecânica. A capacidade máxima de coleta do pluviógrafo empregado em nossas medições é de 8mm/minuto ou

240mm/h. Junto ao pluviógrafo foi instalado um registrador que armazena o instante do pulso elétrico provocado pelo relé, no momento da caçambada do pluviógrafo. O registrador foi configurado para não permitir o registro de caçambadas com um intervalo menor que 1s, evitando assim o registro do “*bouncing*” mecânico que pode ser produzido pelo movimento das caçambas basculantes. Esta configuração não limita a precisão das medidas pois a mesma já está limitada em 240mm/h pela capacidade de captação do pluviógrafo.

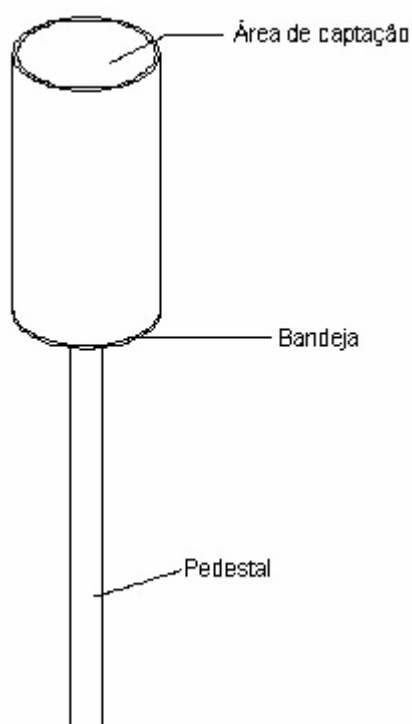


Figura 7 Pluviógrafo de caçamba basculante.

3.1.2. Instalação dos sistemas de medição

A instalação dos sistemas de medição foi iniciada em agosto de 2003, graças a um trabalho conjunto com o Instituto Militar de Engenharia (IME), através de seu projeto denominado “CT Amazônia”, que teve um suporte financeiro do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). Foram instalados pluviógrafos em nove localidades da região Amazônica. A instalação de todos os equipamentos durou cerca de um mês.

Os pluviógrafos foram instalados dentro de organizações militares (OM), sendo estes posteriormente operados pelos integrantes das estações rádios do Exército Brasileiro, em cada uma destas OM's.

As figuras 8 e 9 apresentam, como exemplo de instalação, as fotos de dois dos pluviógrafos instalados. Verifica-se na foto a base de concreto, executada especialmente para a instalação, sobre a qual todos os pluviógrafos foram colocados, ao nível do terreno, de forma a estarem corretamente nivelados. As instalações consistiram na confecção da base de concreto, na fixação do pluviógrafo no local específico, na calibração do pluviógrafo conforme recomendação do fabricante, na instalação do registrador junto ao pluviógrafo, nas instalações dos programas de leitura e inicialização no computador da estação rádio da OM, no treinamento da equipe de operação e na inicialização do funcionamento do pluviógrafo.



Figura 8 Foto de um dos pluviógrafos instalados na região Amazônica. Localidade de Santarém-PA.



Figura 9 Foto de um dos pluviógrafos instalados na região Amazônica. Localidade de Macapá-AM.

A figura 10 apresenta a distribuição geográfica das localidades onde foram instalados os sistemas de medição.

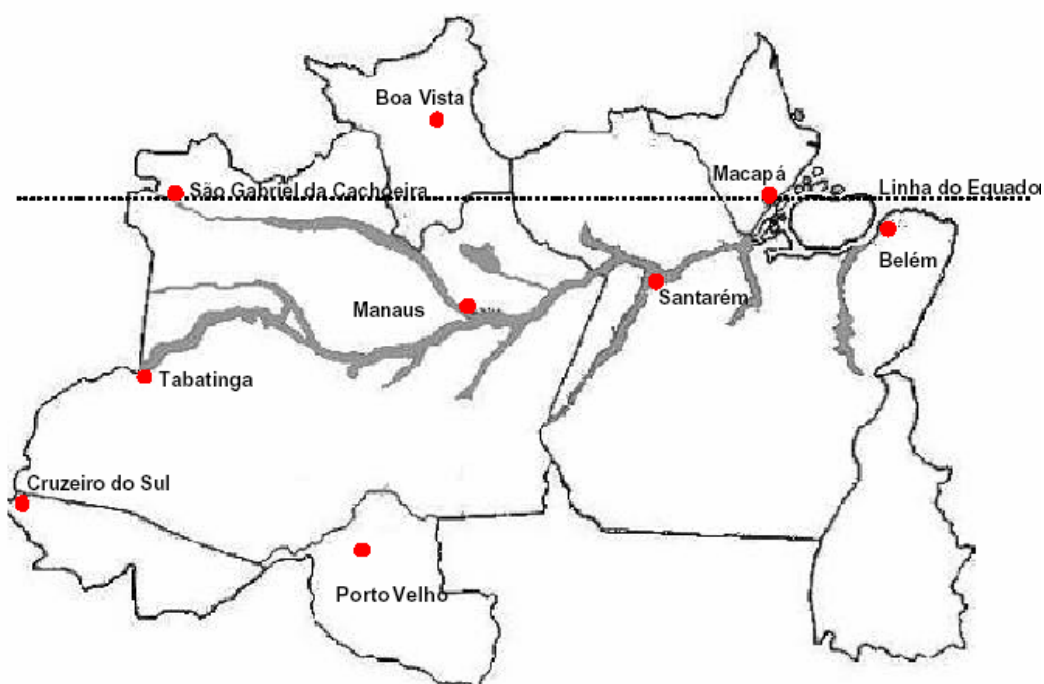


Figura 10 Distribuição geográfica dos sítios de medição na região Amazônica.

Estas cidades foram escolhidas de forma a se ter um conhecimento das características climáticas, pelo menos em relação à precipitação pluviométrica, do contorno externo da região Amazônica e no decorrer do percurso do Rio Amazonas. Outro fator importante que levou na escolha dos locais foi à existência de radares meteorológicos do SIPAM (Sistema de Proteção da Amazônia) na maioria destes locais, conforme será visto no capítulo 7. A classificação climática de Köppen de cada uma destas localidades pode ser observada através da figura 6 no capítulo 2.

Além das cidades apresentadas na figura 10, de forma a se complementar os dados pluviométricos para os sítios da região Amazônica, os dados de Pontas das Lages, bem próximo de Manaus, realizados no ano de 1988 pelo CETUC, também serão apresentado em algumas partes deste trabalho. A tabela 1 apresenta as coordenadas geográficas dos sítios de medição.

Sítio de Medição	Latitude	Longitude
Belém	1° 23' S	48° 26' W
Boa Vista	2° 47' N	60° 41' W
Cruzeiro do Sul	7° 36' S	72° 40' W
Macapá	0° 02' N	51° 05' W
Manaus	3° 05' S	60° 04' W
Santarém	2° 30' S	54° 43' W
São Gabriel da Cachoeira	0° 07' S	67° 04' W
Tabatinga	4° 14' S	69° 56' W
Ponta das Lages	3° 06' S	62° 00' W

Tabela 1 Coordenadas geográficas dos sítios de medição na região Amazônica.

3.2.

Análise dos dados de taxa de precipitação

3.2.1.

Formulação matemática

Com os registros das caçambadas no tempo, é possível a determinação posterior e a análise estatística da taxa de precipitação local. Uma das primeiras análises estatísticas dos dados coletados, realizadas neste trabalho, consiste na determinação das distribuições cumulativas da taxa de precipitação anual e do pior mês do local analisado. A distribuição cumulativa da taxa de precipitação é dada pela divisão do período de tempo na qual cada valor de taxa de precipitação é excedido pelo tempo total da medição.

Os registros dos dados dos pluviógrafos armazenados consistem em uma série temporal da precipitação (R). Esta série apresenta a data, hora e segundo da ocorrência de cada caçambada, isso é, de 0,1 mm de chuva. Pela série temporal torna-se possível calcular o valor da taxa de precipitação média em qualquer período de integração de tempo. Com o objetivo de uniformizar o tempo de integração da série, utilizam-se intervalos consecutivos de 1 minuto, segundo o padrão recomendado pelo U.I.T.-R, para se obter o valor médio da taxa neste intervalo. A obtenção da taxa de precipitação média, integrada em 1 min, pode ser executada de duas formas:

a) **Método 1:** Por este método, determina-se o número de caçambadas em cada intervalo de 1 min. A taxa de precipitação média R em mm/h será determinada por:

$$R(\text{mm/h}) = \frac{N \cdot 0,1}{1 \text{ min}} = \frac{60 \cdot N \cdot 0,1}{1 \text{ h}} = 6 \cdot N (\text{mm/h}) \quad (3.1)$$

onde N é o número de caçambadas.

Esta forma de determinar a taxa de precipitação média requer menos tempo computacional, porém apresenta alguns inconvenientes. O primeiro problema é que este tipo de método só obtém taxas superiores a 6mm/h e em passos de 6mm/h. O segundo problema é que este não leva em conta, para se determinar a média da taxa de precipitação no minuto, o comportamento da chuva no minuto anterior e posterior ao minuto analisado.

b) **Método 2:** Por este método, determina-se a taxa de precipitação média (R) durante um intervalo de tempo (Δt) entre duas caçambadas consecutivas.

Assim:

$$R(\text{mm/h}) = \frac{0,1}{\Delta t (\text{h})} = \frac{360}{\Delta t (\text{seg})} (\text{mm/h}) \quad (3.2)$$

onde Δt é o intervalo entre duas caçambadas.

Apesar deste método requerer maior tempo computacional, é mais preciso e permite a obtenção de valores de taxa acima de 1mm/h, em passo de 1mm/h, até os valores máximos observados. A figura 11 compara a distribuição cumulativa da taxa de precipitação, provenientes dos valores da taxa de precipitação integrados no intervalo de 1 minuto, obtidas através dos dois métodos apresentados.

Apesar do primeiro método apresentar alguns inconvenientes, já comentados, este apresenta uma precisão razoável para o cálculo da distribuição cumulativa da taxa de precipitação para valores superiores a 30mm/h, como pode ser visualizado pela figura 11. Verificam-se diferenças menores que 10% em relação ao método 2, mais preciso, nesta faixa de taxa de precipitação.

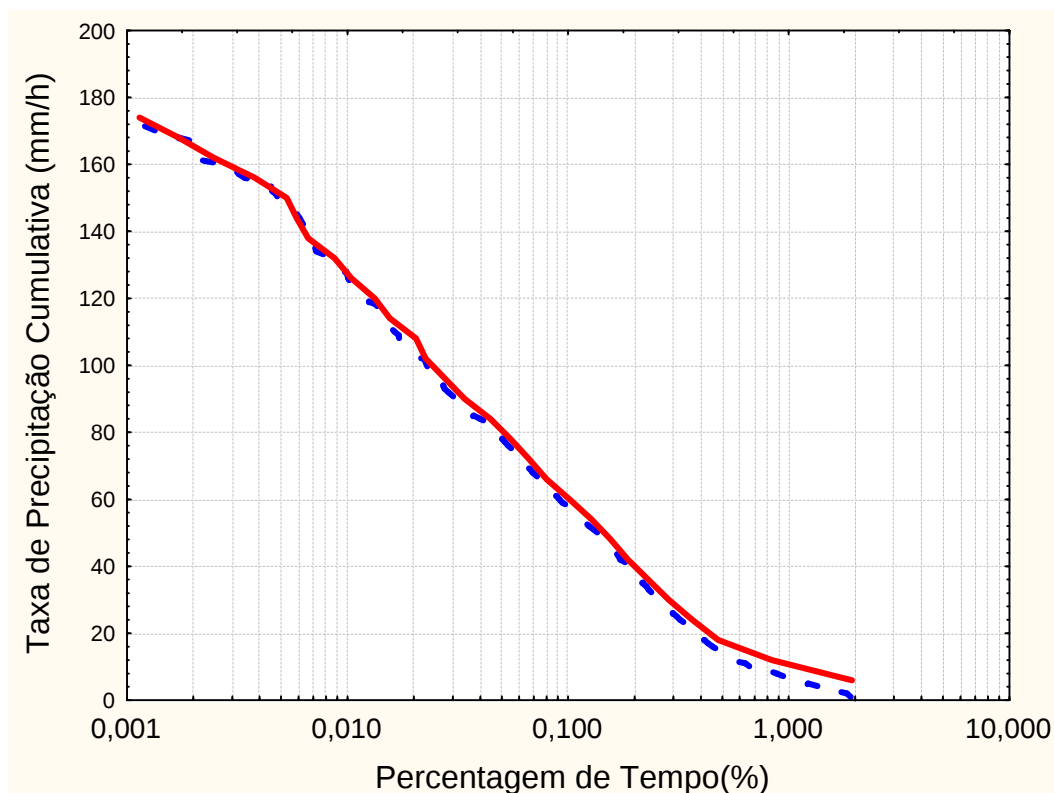


Figura 11 Comparação entre distribuições cumulativas de taxa de precipitação utilizando método 1 (—) ou método 2 (- - -) no cálculo da taxa de precipitação média.

Neste trabalho foi utilizado o segundo método para determinação das taxas de precipitação média. Através de algoritmos implementados no programa “Matlab” determinaram-se as distribuições cumulativas das diversas localidades através das taxas de precipitação média calculadas.

3.2.2.

Distribuição cumulativa anual da taxa de precipitação

A tabela 2 apresenta o período de medição e a disponibilidade de cada sítio de medição instalado na região.

Sítio de medição	Período	Disponibilidade	Clima
Belém	09/2003 – 08/2004	97,4%	Af
Boa Vista	04/2004 – 03/2005	100%	Aw
Cruzeiro do Sul	02/2004 – 01/2005	100%	Af
Macapá	11/2003 – 10/2004	100%	Am
Manaus	06/2004 – 05/2005	96,2%	Am
Santarém	09/2003 – 08/2004	92,7%	Am
São Gabriel da Cachoeira	09/2003 – 08/2004	82%	Af
Tabatinga	05/2004 – 04/2005	96,7%	Af

Tabela 2 Período e disponibilidade das medições.

Alguns sítios não apresentaram disponibilidade de 100% por ter ocorrido problemas com o equipamento ou com a coleta de dados em alguns dos períodos de medição. Nestes sítios foram feitos testes para verificação se as distribuições estatísticas levantadas representavam bem a distribuição anual, mesmo não se tendo medida em um ano completo. Foram feitas simulações preenchendo o período sem medidas com dados de chuvas de comportamento igual ao período imediatamente posterior e anterior ao mesmo. Após estes preenchimentos, foram realizadas comparações entre as distribuições cumulativas de precipitação, não sendo encontrado diferenças significativas.

A figura 12 apresenta, como exemplo, a comparação para a localidade de São Gabriel da Cachoeira, onde ocorreu a pior disponibilidade. Desta forma, pode ser concluído que as distribuições levantadas através destes dados, mesmo sem 100% de disponibilidade, podem representar o comportamento estatístico anual da precipitação no local de medição.

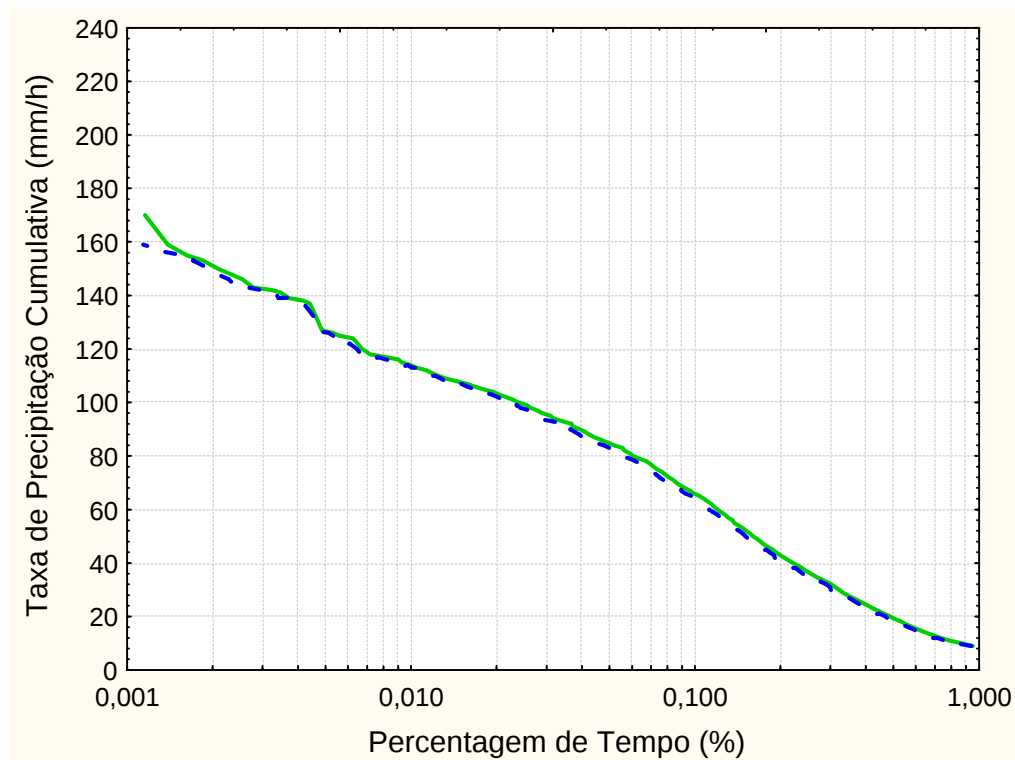


Figura 12 Comparação entre as distribuições cumulativas da taxa de precipitação em São Gabriel da Cachoeira para 82% de disponibilidade (—) e para 100% (com preenchimento) de disponibilidade (- - -).

As figuras de 13 a 17 apresentam as distribuições cumulativas de precipitação obtidas nas diversas localidades. Em cada figura foram apresentadas duas distribuições apenas por economia de espaço, não existindo um critério de escolha dos pares. A tabela 3 apresenta os valores para as percentagens de tempo padronizadas.

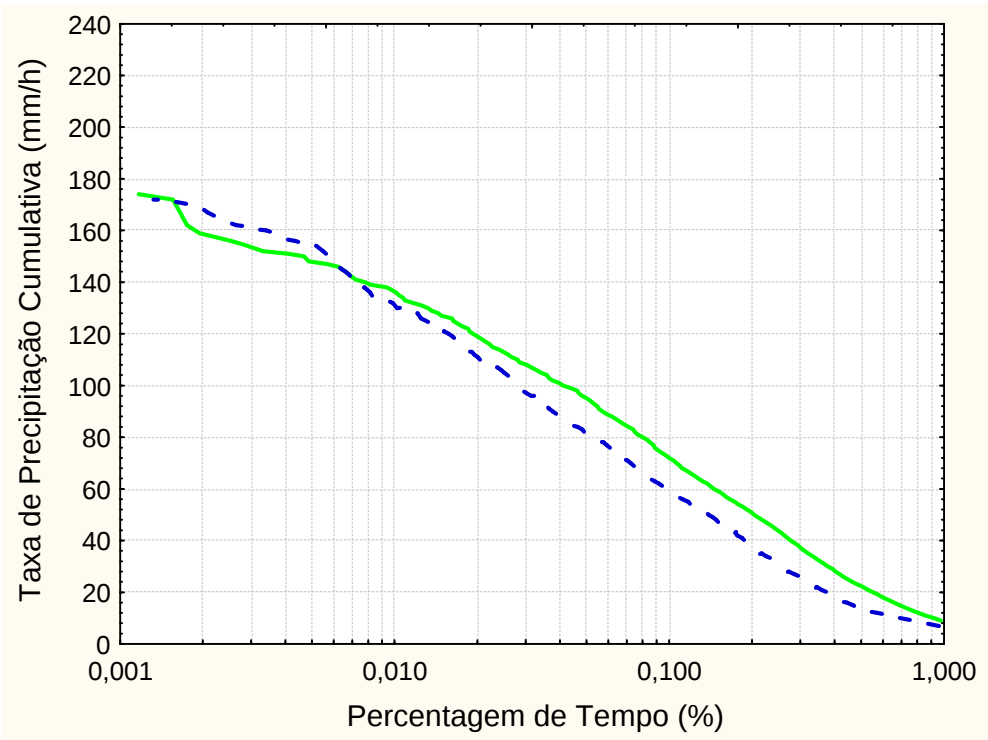


Figura 13 Distribuição cumulativa da taxa de precipitação em Belém ($\frac{3}{4}$) e Cruzeiro do Sul (- - -).

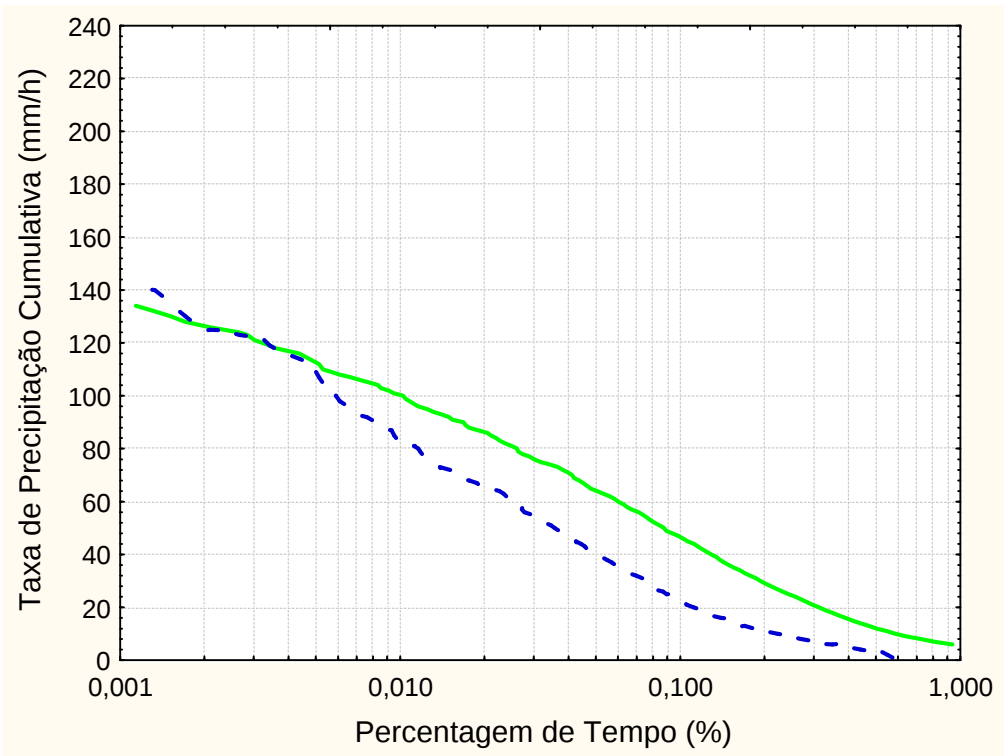


Figura 14 Distribuição cumulativa da taxa de precipitação em Macapá ($\frac{3}{4}$) e Boa Vista (- - -).

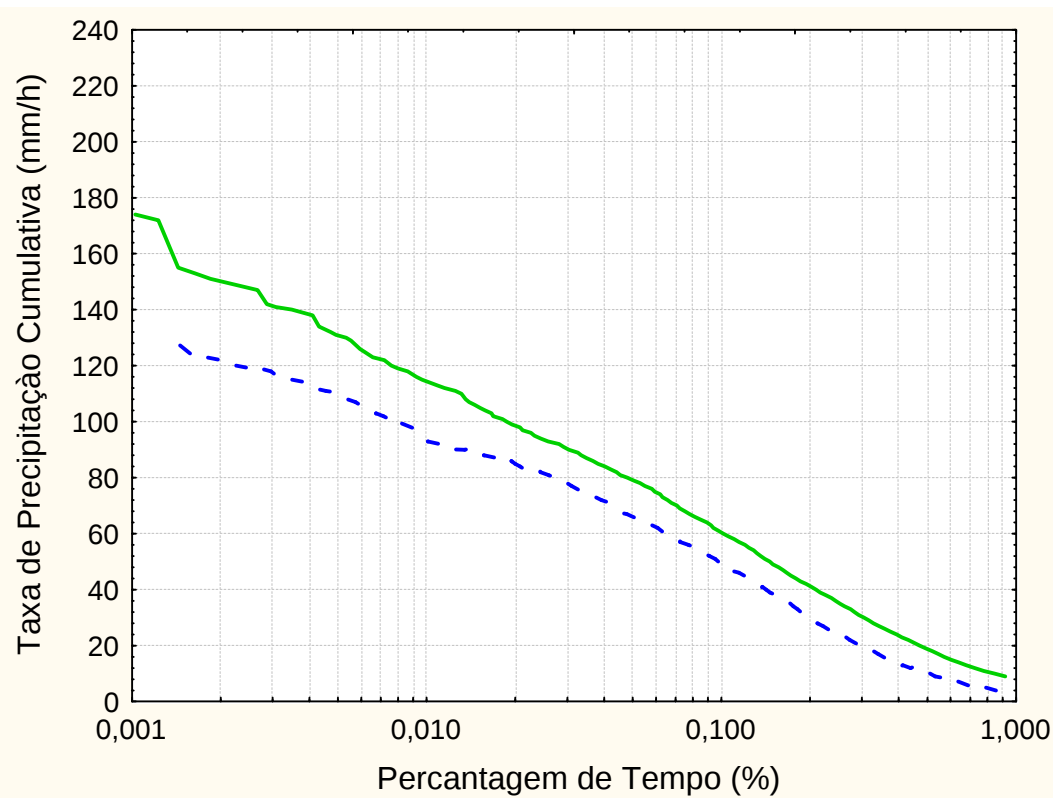


Figura 15 Distribuição cumulativa da taxa de precipitação em Santarém (—) e Manaus (- - -).

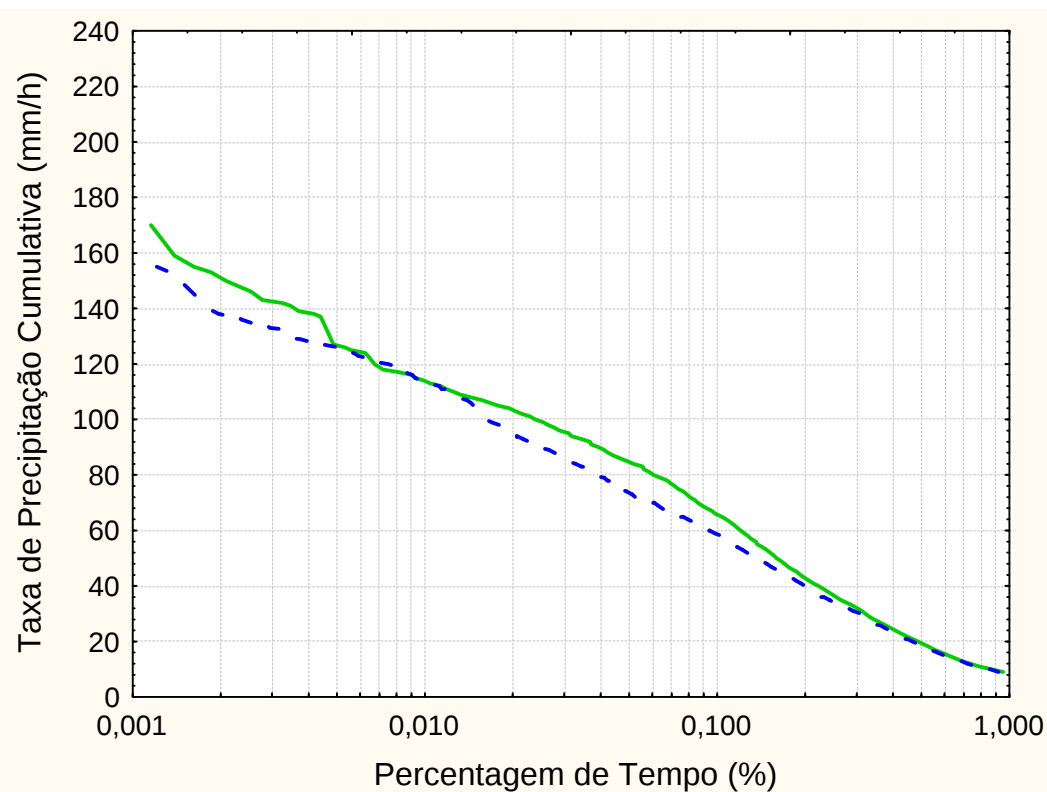


Figura 16 Distribuição cumulativa da taxa de precipitação em São Gabriel da Cachoeira (—) e Tabatinga (- - -).

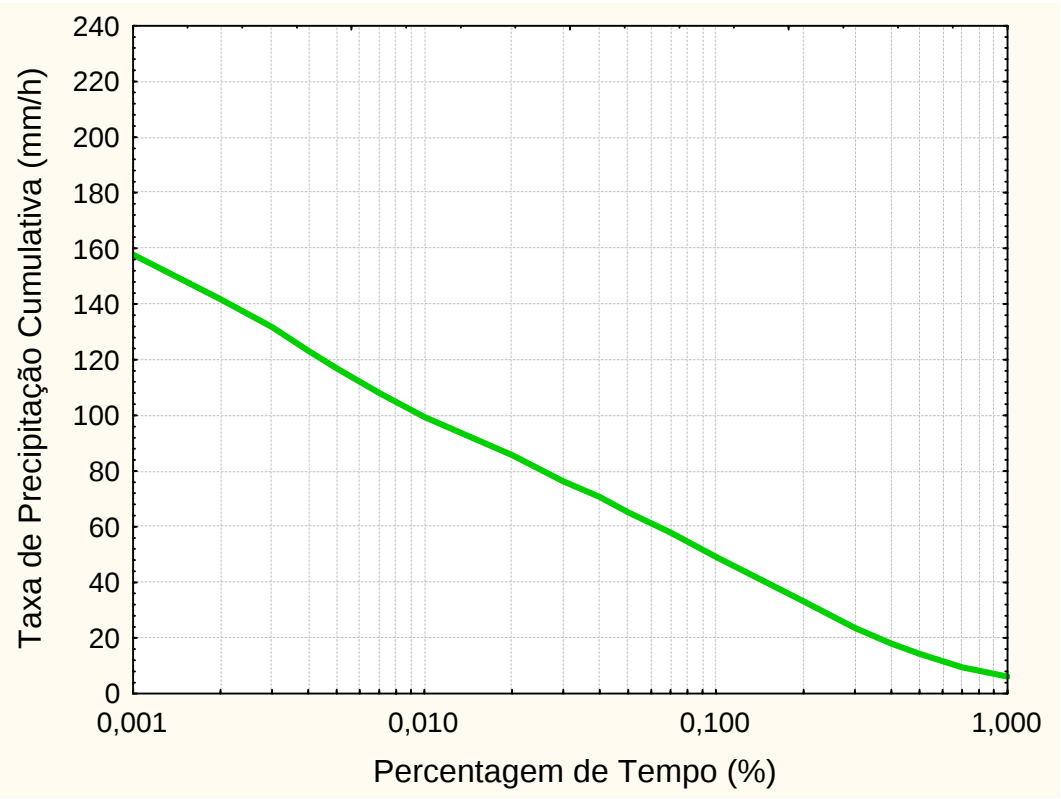


Figura 17 Distribuição cumulativa da taxa de precipitação em Ponta das Lages (34).

Sítio de Medição	Taxa de precipitação (mm/h)								
Belém	1,0 %	0,5 %	0,3%	0,2%	0,1%	0,05%	0,03 %	0,02%	0,01%
	8,6	22,3	37,4	50,7	72,0	95,0	108,1	119,0	136,3
	0,005 %	0,003 %	0,002 %	0,001 %					
	147,8	153,5	158,7	176,5					
Boa Vista	1,0 %	0,5 %	0,3%	0,2%	0,1%	0,05%	0,03 %	0,02%	0,01%
	---	3,5	7,0	11,2	22,2	40,9	55,0	66,0	83,7
	0,005 %	0,003 %	0,002 %	0,001 %					
	109,9	122,4	125,5	143,2					
Cruzeiro do Sul	1,0 %	0,5 %	0,3%	0,2%	0,1%	0,05%	0,03 %	0,02%	0,01%
	6,0	13,0	23,5	35,0	55,4	74,5	91,7	102,5	120,1
	0,005 %	0,003 %	0,002 %	0,001 %					
	139,6	148,1	156,0	167,7					
Macapá	1,0 %	0,5 %	0,3%	0,2%	0,1%	0,05%	0,03 %	0,02%	0,01%
	5,6	12,3	20,8	29,2	46,7	64,2	76,1	86,3	100,3
	0,005 %	0,003 %	0,002 %	0,001 %					
	112,6	121,4	126,4	135,5					

Tabela 3 Valores da taxa cumulativa de precipitação anual para percentagens de tempo padronizadas.

Sítio de Medição	Taxa de precipitação (mm/h)								
Manaus	1,0 %	0,5 %	0,3%	0,2%	0,1%	0,05%	0,03 %	0,02%	0,01%
	3,5	9,9	19,8	29,7	49,6	66,4	77,8	85,0	93,4
	0,005 %	0,003 %	0,002 %	0,001 %					
	109,7	117,7	121,8	131,9					
Santarém	1,0 %	0,5 %	0,3%	0,2%	0,1%	0,05%	0,03 %	0,02%	0,01%
	8,2	18,8	30,4	41,2	60,4	79,2	90,3	98,6	114,4
	0,005 %	0,003 %	0,002 %	0,001 %					
	130,8	141,4	150,1	177,1					
São Gabriel da Cachoeira	1,0 %	0,5 %	0,3%	0,2%	0,1%	0,05%	0,03 %	0,02%	0,01%
	8,5	19,4	32,2	42,9	65,8	84,7	95,5	103,4	113,9
	0,005 %	0,003 %	0,002 %	0,001 %					
	126,7	142,5	151,0	170,7					
Tabatinga	1,0 %	0,5 %	0,3%	0,2%	0,1%	0,05%	0,03 %	0,02%	0,01%
	8,2	18,5	30,4	40,1	58,7	73,5	86,1	94,8	113,6
	0,005 %	0,003 %	0,002 %	0,001 %					
	125,8	132,9	137,8	157,6					
Ponta das Lages	1,0 %	0,5 %	0,3%	0,2%	0,1%	0,05%	0,03 %	0,02%	0,01%
	6,1	14,3	23,6	33,2	49,2	65,2	76,3	85,7	99,4
	0,005 %	0,003 %	0,002 %	0,001 %					
	116,9	131,7	141,8	157,8					

Tabela 3 Valores da taxa cumulativa de precipitação anual para percentagens de tempo padronizadas (continuação).

3.2.3

Análise das distribuições anuais

De uma forma geral, como pode ser analisado nos dados apresentados no item anterior, quase não existem diferenças entre as distribuições cumulativas anuais nos subclimas do tipo Af e Am. O subclima do tipo Aw apresenta uma distribuição anual um pouco diferente do que os anteriores. Neste caso são observados valores de taxas de precipitação um pouco menores que os demais [28]. O principal responsável por esta diferença é o valor menor da precipitação cumulativa anual observado neste subclima, consequência do número maior de meses com seca. De acordo com os dados do capítulo 2, enquanto que nas regiões Af e Am são observados precipitações acumuladas anuais acima de 2.000 mm, no subclima Aw este valor fica abaixo dos 1.800mm [22,23,25,26].

Esta regra geral às vezes aparenta ser contradita para percentagens de tempo menores que 0,01%. Por exemplo, a taxa cumulativa para 0,001% em Boa Vista, subclima do tipo Aw, é maior que para os sítios de Manaus e Macapá, subclima do tipo Am. Porém, este fato, está associado à presença em climas equatoriais das precipitações de alta taxa com dimensões temporais e espaciais reduzidas, denominadas de tempestades. A ocorrência e também a medição ou não deste tipo de precipitação são fatores que produzem variações, até mesmo em sítios próximos, da distribuição cumulativa da taxa de precipitação nas percentagens de tempo menores. Esta variabilidade será analisada no capítulo 4.

Outro fato que deve ser mencionado está relacionado com a característica de transição do subclima Am em relação ao Af e Aw, fato comentado no capítulo 2. Pode ser verificado que neste tipo de subclima existem sítios com comportamento mais assemelhados ao do subclima Aw, como Macapá e Manaus, e outros mais assemelhados aos do subclima Af, como Santarém.

3.2.4.

Distribuição cumulativa para o pior mês medida na região

A distribuição cumulativa da taxa de precipitação para o pior mês é um dado importante no planejamento mais realístico de um sistema de telecomunicações. O levantamento da indisponibilidade através da distribuição anual fornece um comportamento médio no ano que pode ser inadequado quando se deseja analisar períodos de tempo menores. Este fato é realçado pela existência, nos climas tropical e equatorial, de uma grande diferença entre as estações secas e chuvosas. Isto faz com que grande parte significativa da indisponibilidade, medida pela distribuição cumulativa anual, possa estar concentrada em apenas poucos meses do ano. A análise deste comportamento é importante para alguns tipos de sistemas de telecomunicações que utilizam técnicas de melhoria para o(s) pior(es) meses, como por exemplo, um controle automático de potência de transmissão (ATPC). Em sistemas de baixa indisponibilidade, como serviços de satélite DTH (*“Direct to Home”*) ou VSAT (*“Very Small Aperture Terminal”*), valores de 0,3%, para distribuição anual e entre 0,1 e 1%, para o pior mês, são considerados como referências na avaliação do desempenho [14].

A definição de pior mês pode ser aplicada para taxa de precipitação, atenuação ou polarização cruzada. Foi proposto que este levantamento fosse baseado nas distribuições cumulativas mensais [29]. Uma definição pratica foi definida e adotada pela Rec. U.I.T.-R P.581-2 [30]. Define-se pior mês como o período de 1(um) mês dentro de 12(doze) meses que apresenta o maior valor do parâmetro para uma dada percentagem de tempo. O pior mês não é necessariamente o mesmo para cada percentagem do tempo. Analisando de outra forma, a estatística do pior mês será o envelope que liga os níveis máximos das estatísticas mensais. As figuras de 18 a 25 apresentam as distribuições cumulativas de precipitação anual e de pior mês nas diversas localidades. A tabela 4 apresenta os valores para as percentagens de tempo padronizadas.

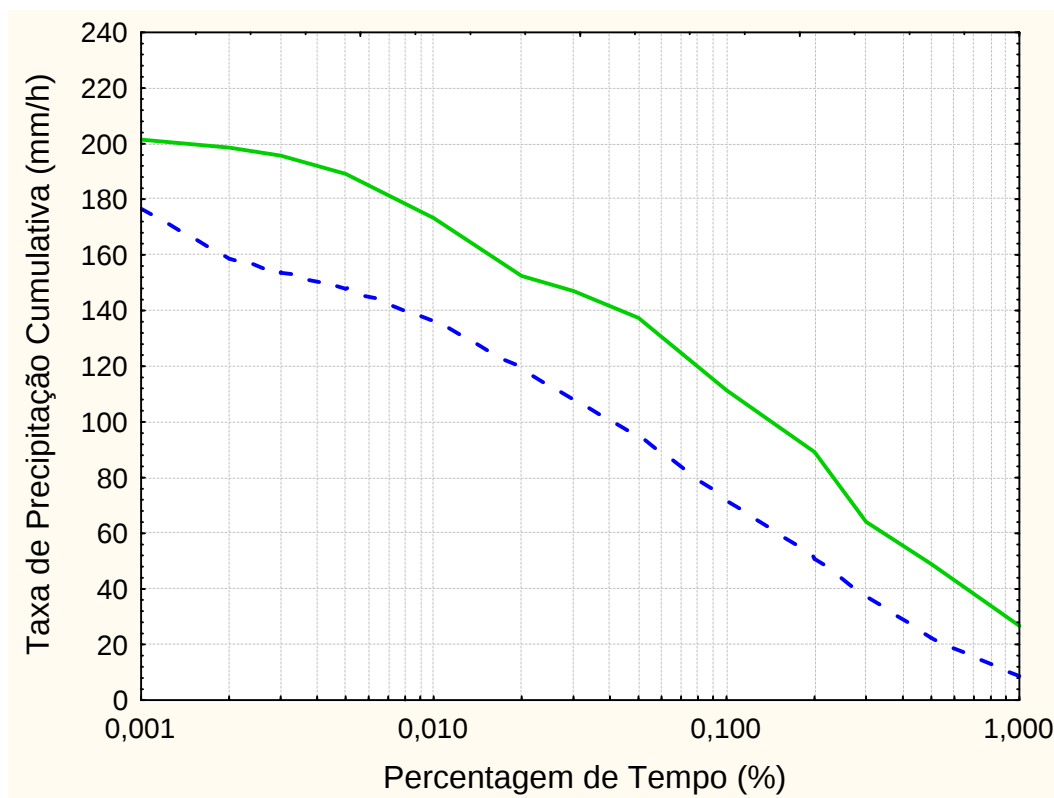


Figura 18 Distribuição cumulativa da taxa de precipitação em Belém: pior mês (—) e anual (- - -).

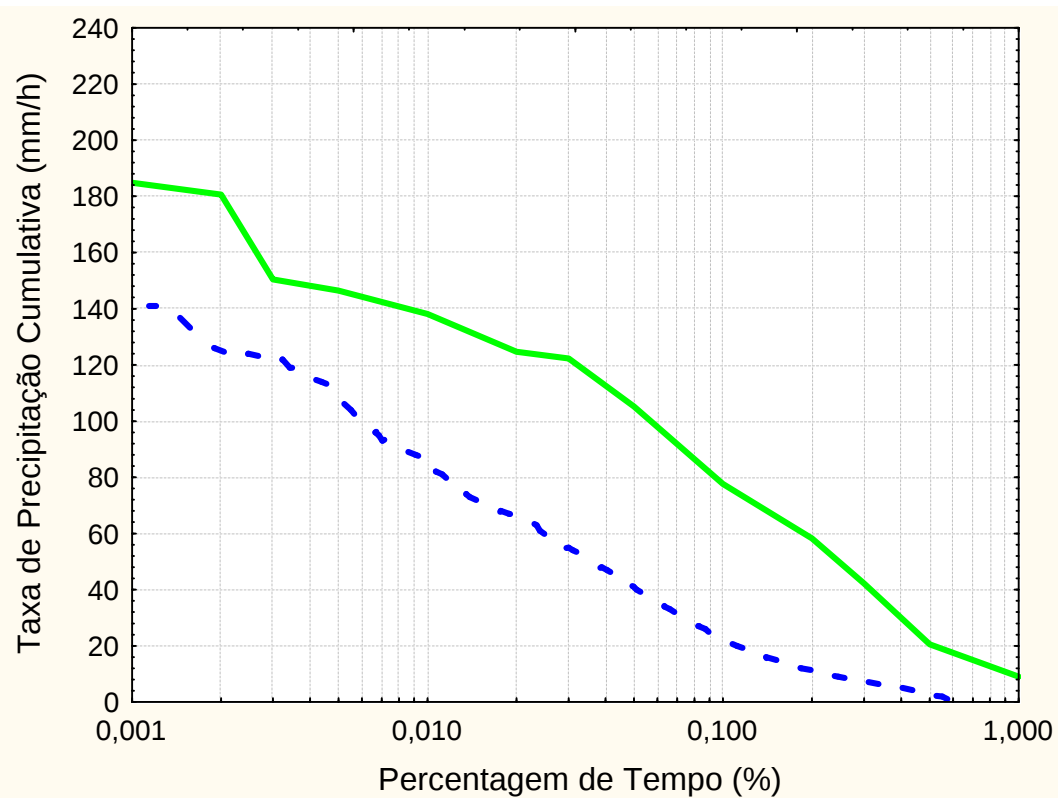


Figura 19 Distribuição cumulativa da taxa de precipitação em Boa Vista: pior mês (—) e anual (- - -).

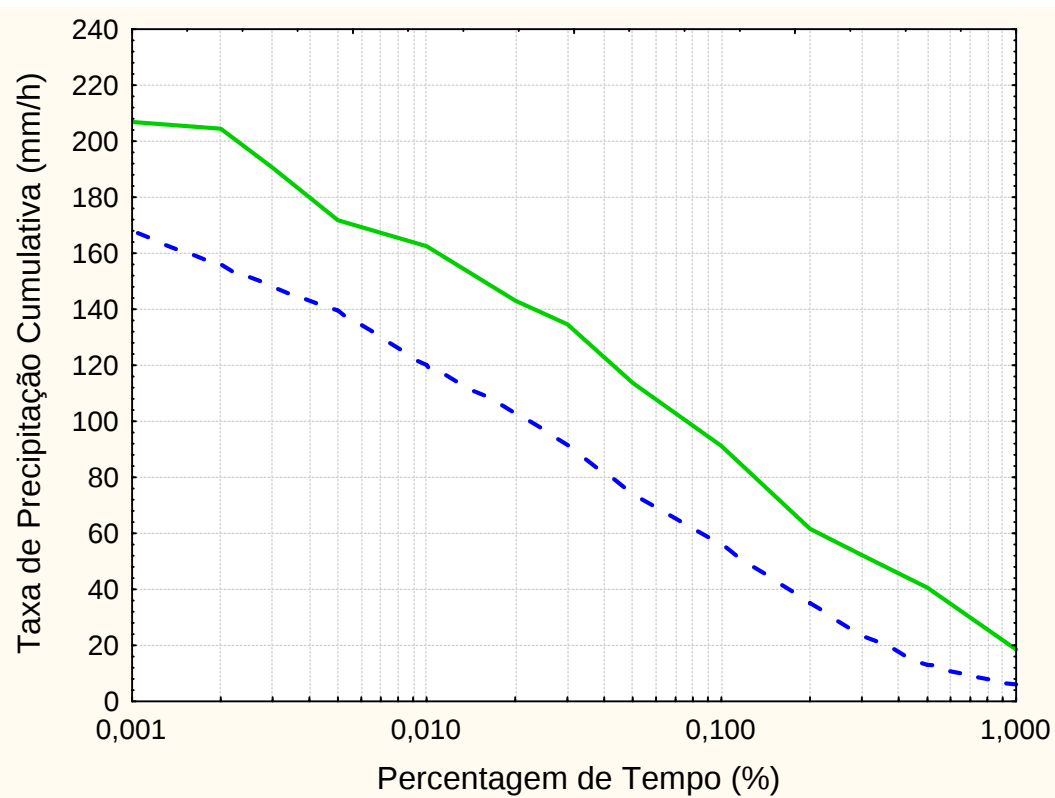


Figura 20 Distribuição cumulativa da taxa de precipitação em Cruzeiro do Sul: pior mês (—) e anual (- - -).

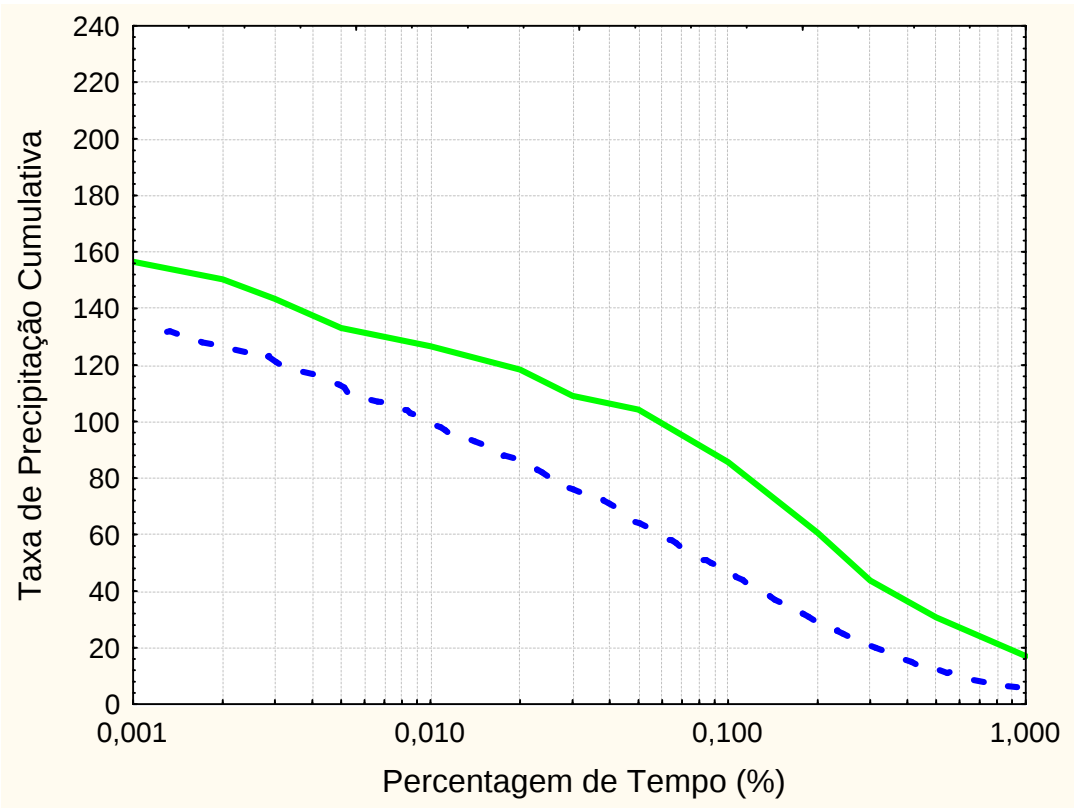


Figura 21 Distribuição cumulativa da taxa de precipitação em Macapá: pior mês (—) e anual (- - -).

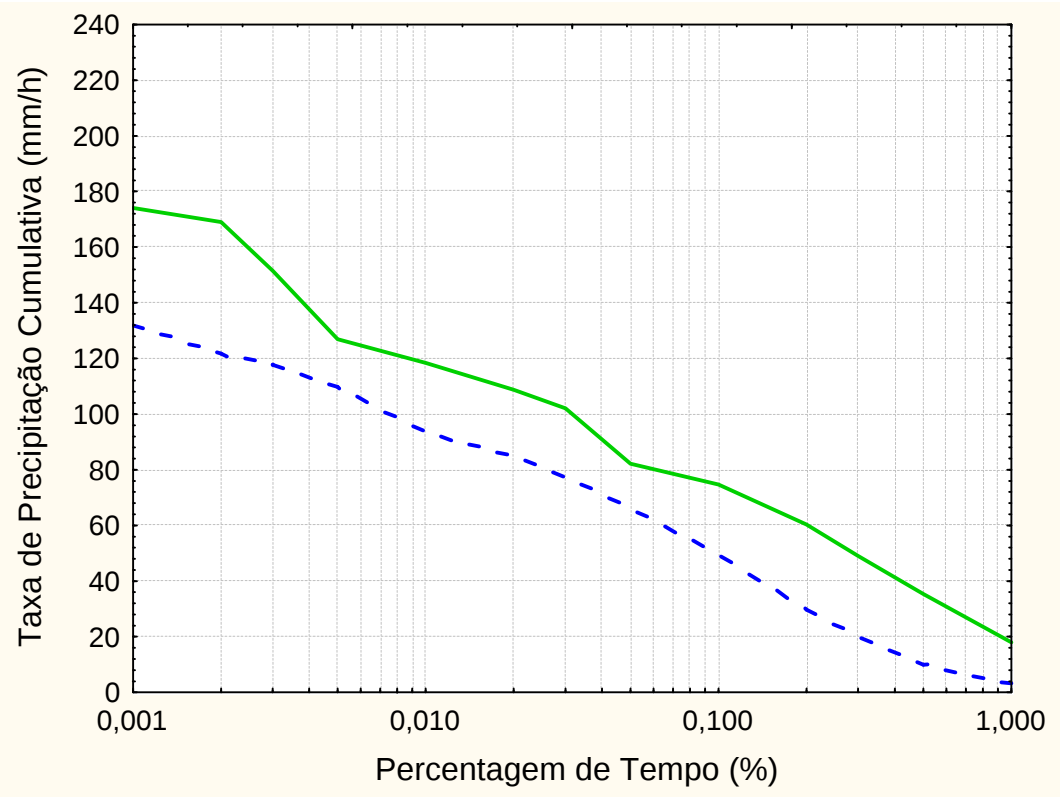


Figura 22 Distribuição cumulativa da taxa de precipitação em Manaus: pior mês (—) e anual (- - -).

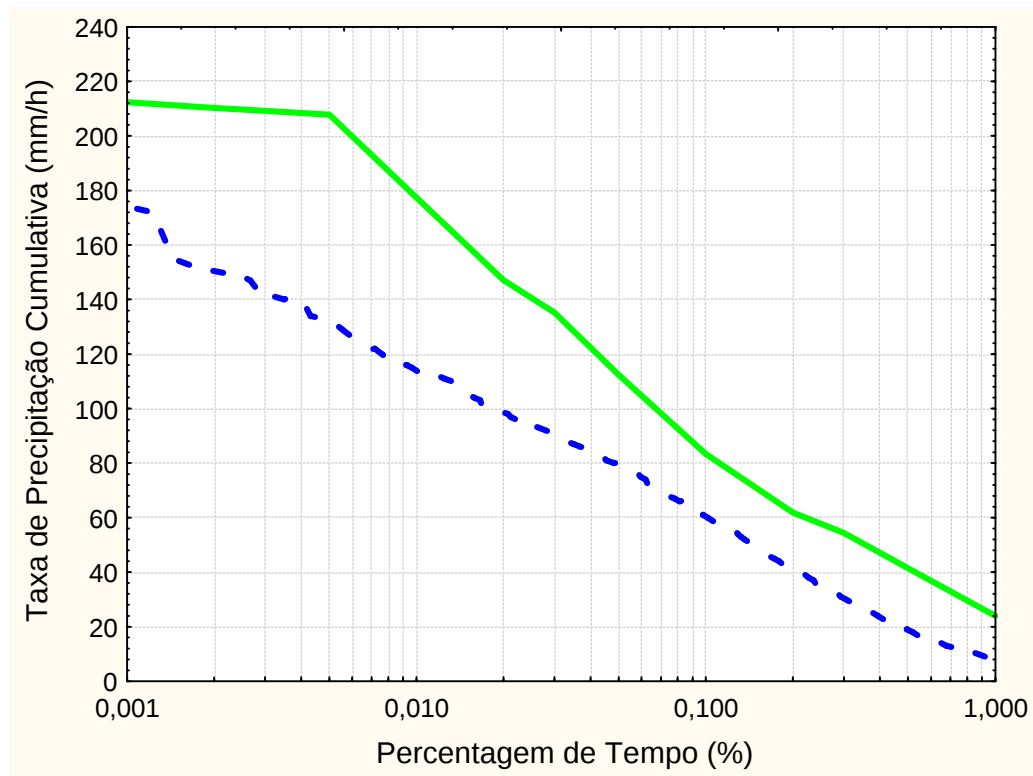


Figura 23 Distribuição cumulativa da taxa de precipitação em Santarém: pior mês (3/4) e anual (- - -).

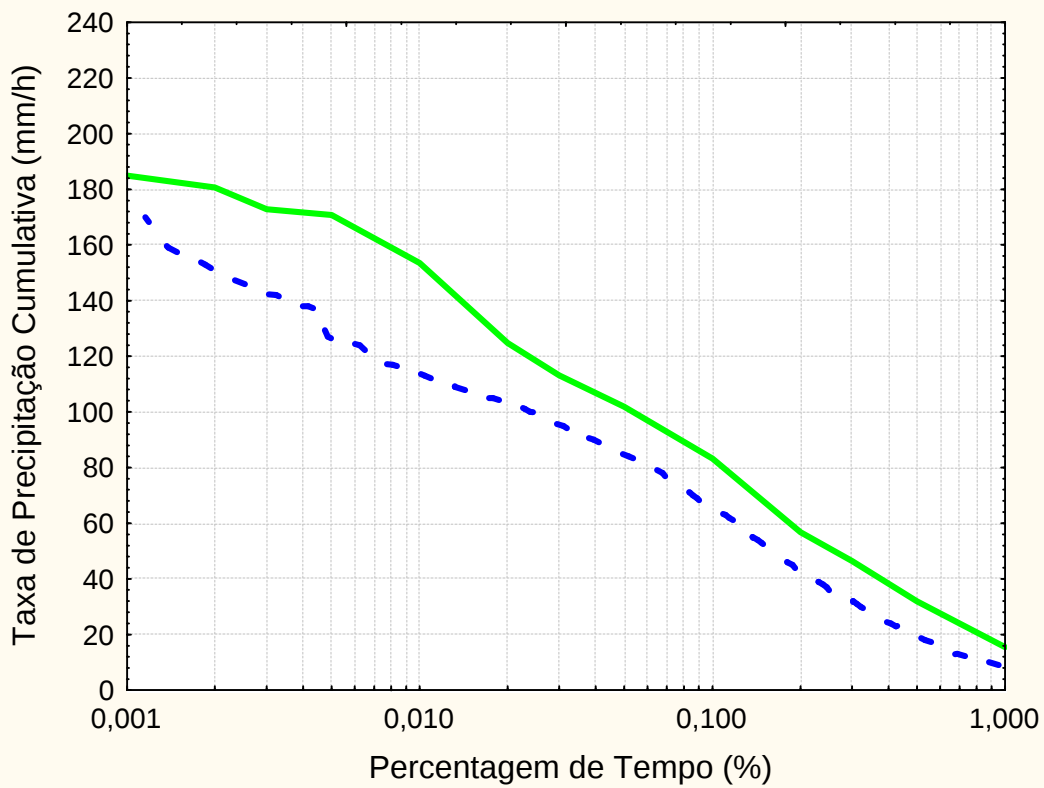


Figura 24 Distribuição cumulativa da taxa de precipitação em São Gabriel da Cachoeira: pior mês (3/4) e anual (- - -).

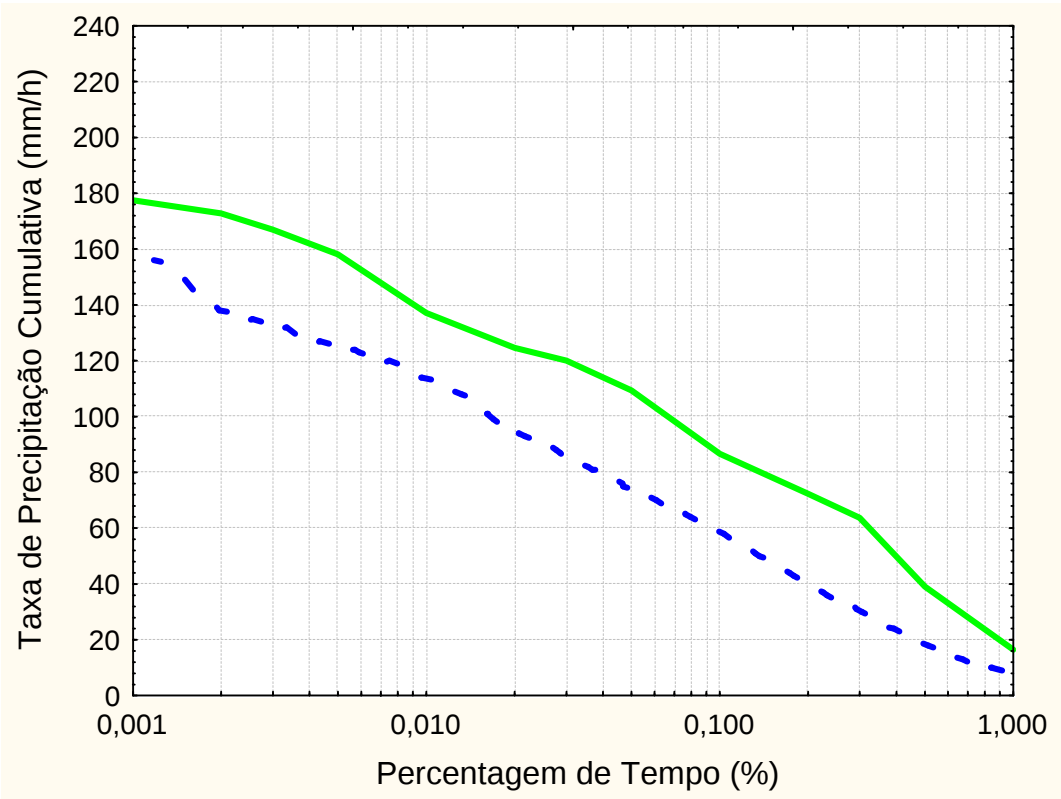


Figura 25 Distribuição cumulativa da taxa de precipitação em Tabatinga: pior mês (3/4) e anual (- - -).

Sítio de Medição	Taxa de precipitação (mm/h)								
Belém	1,0 %	0,5 %	0,3%	0,2%	0,1%	0,05%	0,03 %	0,02%	0,01%
	26,7	49,0	64,1	89,1	111,4	137,4	147,1	152,5	173,3
	0,005 %	0,003 %	0,002 %	0,001 %					
	189,2	195,8	198,6	201,5					
Boa Vista	1,0 %	0,5 %	0,3%	0,2%	0,1%	0,05%	0,03 %	0,02%	0,01%
	9,0	20,6	42,2	58,3	77,6	105,2	122,3	124,7	138,1
	0,005 %	0,003 %	0,002 %	0,001 %					
	146,4	150,4	180,7	184,8					
Cruzeiro do Sul	1,0 %	0,5 %	0,3%	0,2%	0,1%	0,05%	0,03 %	0,02%	0,01%
	18,5	40,7	52,2	61,6	91,2	113,7	134,6	143,1	162,5
	0,005 %	0,003 %	0,002 %	0,001 %					
	171,7	190,5	204,4	206,9					
Macapá	1,0 %	0,5 %	0,3%	0,2%	0,1%	0,05%	0,03 %	0,02%	0,01%
	17,0	30,8	43,7	60,6	85,6	104,2	109,0	118,3	126,6
	0,005 %	0,003 %	0,002 %	0,001 %					
	133,1	143,4	150,3	156,6					

Tabela 4 Valores da taxa cumulativa de precipitação para pior mês em percentagens de tempo padrão.

Sítio de Medição	Taxa de precipitação (mm/h)								
Manaus	1,0 %	0,5 %	0,3%	0,2%	0,1%	0,05%	0,03 %	0,02%	0,01%
	18,0	35,4	49,0	60,4	74,7	82,2	102,0	108,7	118,4
	0,005 %	0,003 %	0,002 %	0,001 %					
	126,9	151,5	169,0	174,0					
Santarém	1,0 %	0,5 %	0,3%	0,2%	0,1%	0,05%	0,03 %	0,02%	0,01%
	24,0	41,4	54,4	61,8	83,4	112,4	135,2	147,1	177,4
	0,005 %	0,003 %	0,002 %	0,001 %					
	207,8	209,2	210,3	212,4					
São Gabriel da Cachoeira	1,0 %	0,5 %	0,3%	0,2%	0,1%	0,05%	0,03 %	0,02%	0,01%
	15,5	31,9	46,4	56,8	83,2	101,9	113,2	124,7	153,5
	0,005 %	0,003 %	0,002 %	0,001 %					
	170,8	172,9	180,7	184,8					
Tabatinga	1,0 %	0,5 %	0,3%	0,2%	0,1%	0,05%	0,03 %	0,02%	0,01%
	16,4	39,0	63,8	72,3	86,7	109,4	120,0	124,7	137,1
	0,005 %	0,003 %	0,002 %	0,001 %					
	158,1	166,9	172,8	177,5					

Tabela 4 Valores da taxa cumulativa de precipitação para pior mês em percentagens de tempo padrão (continuação).

3.2.5. Análise das distribuições para o pior mês

De forma análoga à observada nas distribuições anuais, a distribuição de pior mês para os subclimas do tipo Af e Am são bastante semelhantes. A quantidade de meses secos no ano e a intensidade dos meses mais significativos em relação à precipitação serão as principais causas de uma maior ou menor diferenciação entre a distribuição anual e do pior mês em uma determinada localidade presente nestes subclimas. Quanto ao subclima do tipo Aw, diferentemente à observação da distribuição anual, verifica-se que a sua distribuição cumulativa de pior mês encontra-se no mesmo patamar dos demais subclimas. Este fato é consequência das altas taxas de precipitação, padrão do clima equatorial, que ocorrem também nas localidades deste tipo de subclima nos meses chuvosos. Estes meses acabam sendo os responsáveis pela definição do envelope que envolve as distribuições mensais e consequentemente definem o pior mês.