

UFPA

PPGEC

Universidade Federal do Pará



Jairo dos Passos Correa

Proposta de Índice de Correção de Chuva (ICC) Aplicável aos Projetos de Captação e Aproveitamento de Água Pluvial

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dissertação orientada pelo Professor Dr. Lindemberg Lima Fernandes

Belém – Pará – Brasil
2017

JAIRO DOS PASSOS CORREA

**PROPOSTA DE ÍNDICE DE CORREÇÃO DE CHUVA (ICC) APLICÁVEL AOS
PROJETOS DE CAPTAÇÃO E APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, para obtenção do Título de Mestrado Acadêmico em Engenharia Civil, na área de concentração em Engenharia Hídrica e linha de pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, Benedita dos Passos Correa, mulher guerreira que, apesar de não ter conseguido avançar nos estudos, lutou para que seus filhos não desistissem de seus sonhos e a meu pai, Domingos da Silva Correa (in memoriam), que dedicou sua vida ao trabalho e sempre esteve presente na educação e criação de seus filhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem a presença dele não teria chegado onde cheguei, afinal quem nele crer nada temerá e tudo conquistará.

A minha mãe Benedita dos Passos Correa, pelo seu apoio incondicional e por ensinar-me a trilhar sempre o caminho da verdade e do bem.

A minha filha Yasmin Cristina Lobato Correa e a minha esposa Cristiane Ferreira Lobato, pela compreensão da minha ausência em vários momentos importantes e por seu companheirismo ao longo de nossa relação.

As minhas irmãs Maria Odinéia dos Passos Correa Santos e Maria Orlete dos Passos Correa que cederam lugar em suas casas para eu permanecer mais próximo do local de realização das aulas.

Aos demais membros de minha família, que mesmo com minha ausência por compromissos ou distância se fizeram presentes nos momentos importantes dessa trajetória, em especial meu irmão, Professor M. Sc. Genivaldo dos Passos Correa, e meu sogro, Elias Rodrigues Lobato, que sempre me incentivaram e em vários momentos concederam apoio financeiro para que eu não passasse por dificuldades durante o curso.

Ao meu orientador, Professor Doutor Lindemberg Lima Fernandes, por ter dado a mim a oportunidade de desenvolver o trabalho nessa linha de pesquisa, sendo um exemplo tanto profissional quanto de pessoa, o qual terei certamente como referência durante minha vida.

A professora Ana Júlia Soares Barbosa, que com muito esforço conseguiu onze anos de dados da estação pluviográfica Belém junto ao superintendente do Instituto Nacional de Meteorologia e a engenheira Sanitarista e Ambiental, Adayana Maria Queiroz de Melo, a qual realizou a digitalização dos pluviogramas.

Aos meus colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UFPA, que me ajudaram ao longo desses dois anos de estudo para que eu chegasse até aqui, afinal de contas sozinho eu não conseguiria, em especial a Raisa Rodrigues Neves e Yapur Dumit Gomez.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a concretização deste objetivo.

RESUMO

O estudo avalia dados de precipitação para determinação de índices de correção de chuva (icc) aplicável a projetos de captação e aproveitamento pluvial, com auxílio de testes estatísticos não paramétricos, partindo do pressuposto de que uma parte das lâminas de chuva precipitada é descartada. A análise da série histórica pluviográfica de lâminas de chuva mostrou que Belém apresenta grande potencial para aproveitamento de água de chuva, sendo identificados dois períodos, mais e menos chuvoso, no ano e os resultados apresentaram em média um evento de chuva por dia. Os dados são de janeiro de 2001 a dezembro de 2011, nos quais aproximadamente 38% são utilizados apenas para lavagem do sistema de captação. O teste de Anderson-Darling revelou a não aderência das séries de chuva a uma distribuição normal e segundo o teste Mann-Kendall não houve tendência significativa nas séries avaliadas. Assim, após o cálculo das chuvas efetivamente aproveitáveis, determinação dos icc's, e aplicação do teste de normalidade e o teste de variância de Kruskal-Wallis, foram propostos três índices de correção de chuva que determinam a lâmina efetivamente aproveitável: o primeiro ao longo do ano (0,78), o segundo no período mais chuvoso (0,79) e um terceiro no período menos chuvoso (0,76).

Palavras-chave: Série pluviográfica; testes não paramétricos; Belém.

ABSTRACT

The study measure data of rainfall to determine a rain correction index (rci) applicable in collection projects and rainwater utilization assisted by statistics tests non-parametric, based on assumption that a water line part of rainfall are discarded. The analyses of pluviographic historical set of water lines show that Belem presents large potential to promote rainwater utilization, two periods were identified during the year: a rainier period and a less rainy period. The results present an average of one rainy event per day, from January 2001 to December 2011, around 38% are utilized only to wash the rain water collection system. The Anderson-Darling test revealed the non-adherence of the rain sets in a normal distribution and according to the Mann-Kendall test there wasn't significant tendency in the evaluated sets. Therefore, after to calculate the effectively rainwater utilization, determination of the rain correction index (rci), the test application of normality and the Kruskal-Wallis variance test, three corrections index that determine the water line effectively usable were proposed: the first during the year (0.78), the second during the most rainy period (0.79) and the third during the less rainy period (0.76).

Keywords: Pluviographic set; non-parametric tests; Belem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação percentual da distribuição de água nos continentes e suas respectivas populações.....	15
Figura 2 – Distribuição da população e disponibilidade hídrica das regiões hidrográficas brasileiras.....	16
Figura 3 – Representação esquemática de um pluviômetro.....	19
Figura 4 – Representação esquemática de um pluviógrafo.....	20
Figura 5 – Pluviograma da estação Belém (Código: 00082191) para o dia 13/01/05.....	20
Figura 6 – Pluviógrafo com mecanismo de registro em meio magnético.....	21
Figura 7 – Satélite meteorológico.....	21
Figura 8 – Radar meteorológico do Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM).....	22
Figura 9 – Esquema de um sistema predial de CAAC.....	25
Figura 10 – Sistema <i>first-flush</i>	27
Figura 11 – Reservatório para descarte da primeira água.....	27
Figura 12 – Exemplificação do descarte da primeira chuva.....	29
Figura 13 – Áreas delimitadas do teste bicaudal e unicaudal.....	32
Figura 14 – Localização da área de estudo.....	37
Figura 15 – Procedimentos metodológicos aplicados ao trabalho.....	39
Figura 16 – Exemplificação do processo de digitalização dos pluviogramas.....	40
Figura 17 – Análise do acréscimo de chuva ao longo do dia.....	41
Figura 18 – Visualização da amplitude temporal utilizada nos pluviogramas da estação avaliada.....	41
Figura 19 – Distribuição dos eventos de chuva no dia 2 de fevereiro de 2011 para a estação Belém.....	42
Figura 20 – Distribuição dos eventos de chuva no dia 9 de março de 2011 para a estação Belém.....	43
Figura 21 – Distribuição dos eventos de chuva no dia 11 de março de 2011 para a estação Belém.....	43
Figura 22 – Quantitativo anual dos pluviogramas com registro de chuva no período de janeiro de 2001 a dezembro de 2011.....	46
Figura 23 – Exemplificação do conjunto de dados elaborado no trabalho.....	46
Figura 24 – Box Plot da distribuição das lâminas dos eventos ocorridos no período de 2001 a 2011, para os meses de janeiro a abril.....	48
Figura 25 – Box Plot da distribuição das lâminas dos eventos ocorridos no período de 2001 a 2011, para os meses de maio a agosto.....	49
Figura 26 – Box Plot da distribuição das lâminas dos eventos ocorridos no período de 2001 a 2011, para os meses de setembro a dezembro.....	50
Figura 27 – Dispersão das lâminas medianas corridas durante 132 meses da série de dados.....	51
Figura 28 – Gráfico de probabilidade da aderência da distribuição das lâminas ocorridas de janeiro de 2001 a dezembro de 2011 a uma distribuição normal.....	51
Figura 29 – Dispersão das lâminas ocorridas no período de 2001 a 2011.....	52

Figura 30 – Gráfico de probabilidade da aderência da distribuição das lâminas aproveitáveis de janeiro de 2001 a dezembro de 2011 a uma distribuição normal.....	53
Figura 31 – Dispersão das lâminas aproveitáveis período de 2001 a 2011.	53
Figura 32 – Gráfico de probabilidade da aderência da distribuição das lâminas de chuva não aproveitável ocorridas de janeiro de 2001 a dezembro de 2011 a uma Gaussiana.....	54
Figura 33 – Dispersão das lâminas não aproveitáveis no período de 2001 a 2011.	55
Figura 34 – Medianas das lâminas mensais (agrupamento dos dados em meses iguais) aproveitáveis e não aproveitáveis agrupados sazonalmente no período de 2001 a 2011.	56
Figura 35 – Curva que relaciona o percentual de eventos ocorridos e as lâminas ocorridas no período de 2001 a 2011.....	60
Figura 36 – Dispersão de icc's mensais no período de 2001 a 2011.	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Elementos responsáveis pela formação e ocorrência das precipitações.	17
Quadro 2 – Grandezas utilizadas para mensuração da chuva.	18
Quadro 3 – Interferências na qualidade dos dados medidos por radares, pluviômetros e pluviógrafos.	22
Quadro 4 – Vantagens e desvantagens do sistema de aproveitamento de água pluvial.	24
Quadro 5 – Descrição das medidas de tendência central.	30
Quadro 6 – Descrição das medidas de dispersão.	30
Quadro 7 – Descrição das medidas de assimetria e curtose.	31
Quadro 8 – Características dos resultados possíveis do teste de Mann-Kendall.	35
Quadro 9 – Características morfoclimáticas do município de Belém, Estado do Pará.	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a.C	Antes de Cristo
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CAAC	Captação e Aproveitamento de Água de Chuva
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
LEA	Lâmina Efetivamente Aproveitável
EA	Eventos Aproveitáveis
ENA	Eventos Não Aproveitáveis
EO	Eventos Ocorridos
EPA	Environmental Protection Agency
GAES	Grupo de Pesquisa em Água, Energia e Sustentabilidade da Amazônia
ICC	Índice de Correção de Chuva
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LA	Lâminas Aproveitáveis
LNA	Lâminas Não Aproveitáveis
LO	Lâminas Ocorridas
LTO	Lâmina Total Ocorrida
NBR	Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONU	Organização das Nações Unidas
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PIMC	Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido: um milhão de Cisternas Rurais
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPA	Universidade Federal do Pará

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 GERAL.....	14
2.2 ESPECÍFICOS.....	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1 A DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NA TERRA.....	15
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EM FORMA DE CHUVA.....	16
3.3 A CAPTAÇÃO E APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA.....	23
3.3.1 Os sistemas prediais de captação e aproveitamento de água de chuva.....	25
3.3.2 O volume de descarte nos projetos de CAAC.....	28
3.4 ESTATÍSTICA APLICADA AO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	29
3.4.1 Estatística descritiva.....	29
3.4.2 Testes de hipóteses.....	31
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	37
5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	39
5.1 ETAPA 1 – SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS PLUVIOGRÁFICOS DOS EVENTOS DE CHUVAS OCORRIDOS NO PERÍODO DE 2001 A 2011.....	39
5.2 ETAPA 2 – ANÁLISE DOS EVENTOS OCORRIDOS E SUAS LÂMINAS, E IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS E DAS LÂMINAS DE CHUVA APROVEITÁVEL, DOS EVENTOS E DAS LÂMINAS DE CHUVA NÃO APROVEITÁVEL.....	42
5.3 ETAPA 3 – DETERMINAÇÃO DE ÍNDICE DE CORREÇÃO DE CHUVA (ICC) APLICÁVEL AOS PROJETOS DE CAAC QUE UTILIZEM O DESCARTE DA PRIMEIRA CHUVA.....	44
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
6.1 ETAPA 1 – SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS PLUVIOGRÁFICOS DOS EVENTOS DE CHUVAS OCORRIDOS NO PERÍODO DE 2001 A 2011.....	46
6.2 ETAPA 2 – ANÁLISE DOS EVENTOS OCORRIDOS E SUAS LÂMINAS, E IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS E DAS LÂMINAS DE CHUVA APROVEITÁVEL, DOS EVENTOS E DAS LÂMINAS DE CHUVA NÃO APROVEITÁVEL.....	47
6.3 ETAPA 3 – DETERMINAÇÃO DE ÍNDICE DE CORREÇÃO DE CHUVA (ICC) APLICÁVEL AOS PROJETOS DE CAAC QUE UTILIZEM O DESCARTE DA PRIMEIRA CHUVA.....	61
7. CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS.....	65
APÊNDICES.....	77

1. INTRODUÇÃO

No cenário atual de demanda crescente por água para as mais diversas aplicações e considerando o contexto da discussão relacionada à escassez e estresse hídrico, o aproveitamento de águas pluviais para consumo humano se configura como uma importante ferramenta na gestão dos recursos hídricos (CAMPOS e AZEVEDO, 2013; CHAIB et al., 2015).

De acordo com Crispim et al. (2013), o crescimento urbano e conseqüentemente o aumento da impermeabilização do solo, tem ocasionado alterações no ciclo hidrológico natural. Assim, a água que infiltrava recarregando o lençol freático, ou ficava retida nas plantas, agora se espalha pelos pavimentos, podendo gerar pontos de alagamentos.

A captação e aproveitamento de água de chuva (CAAC) mostra-se como uma estratégia inteligente na gestão hídrica em locais desprovidos de serviço público de abastecimento de água potável, ou naqueles onde se deseja substituir parte da água potável por água não potável, objetivando economia financeira, ou mesmo, a sustentabilidade ambiental. Desta forma, para Veloso e Mendes (2012), fatores como a disposição geográfica, presença de chuva, inquietação dos habitantes em se buscar soluções viáveis para abastecimento, além da simplicidade de operação e manutenção do sistema, favorecem a implantação de projetos de CAAC.

Apesar da comprovação de que o aproveitamento de água de chuva em edificações, utilizada para fins não potáveis, pode gerar uma economia de água potável maior que dois meses de consumo ao ano, e que em estabelecimentos comerciais 56 a 86% de água potável pode ser substituída por água proveniente da captação pluvial, a literatura sobre o assunto ainda é reduzida no País (CHAIB et al., 2015; GOMES et al., 2014; PROENÇA e GHISI, 2010).

Em alguns países, estudos referentes ao tema CAAC foram desenvolvidos considerando múltiplas abordagens como Akter e Ahmed (2015), em Bangladesh; Peterson (2016), na Austrália; Fernandes et al. (2015), em Portugal; Montoya et al. (2015), no México; Nawaz et al. (2012), na Coreia do Sul; Mahmoud et al. (2015), no Sudão; Lim e Jiang (2013), nos Estados Unidos; Hashim et al. (2013), na Malásia; e Assayed et al. (2013), na Jordânia. Nestes trabalhos, no entanto, não foram identificados estudos de análise de eventos de chuva que são demandados apenas no mecanismo de lavagem do sistema de captação, não chegando ao reservatório de armazenamento de água de chuva, portanto, não influenciando em seu dimensionamento.

No Brasil, pesquisa realizada no município de Belém, Estado do Pará, mostrou que a utilização da água de chuva pode gerar uma economia de água potável de até 45% durante o período chuvoso e aproximadamente 12% no período seco (CORREA, 2016).

Considerando o projeto do sistema CAAC, Murça (2014) destaca que o dimensionamento do reservatório de armazenamento é a etapa de maior relevância econômica, pois apresenta o mais alto custo unitário.

Um dado básico para o dimensionamento do reservatório de acumulação de água de chuva é a precipitação diária, mensal e anual, obtida através de séries históricas de pluviômetro, oriundas de medições em escala temporal diária (OLIVEIRA, 2012).

A utilização de medições diárias, mensais e anuais de precipitações nos projetos de CAAC podem suprimir dados de ocorrências de eventos chuvosos que devido a sua intensidade e duração não são aproveitados no sistema de captação, pois são consumidos em sua totalidade na lavagem da cobertura da edificação.

Por outro lado, Cavalcante e Silans (2012) destacam que a avaliação de lâminas de chuva em escala temporal inferior a diária é um parâmetro de projeto relevante no dimensionamento de obras hidráulicas, sendo que as medições por pluviógrafos permitem visualizações discretizadas dos eventos de chuvas ao longo do dia.

Neste contexto, o trabalho propõe determinar Índice de Correção de Chuva (ICC) aplicável aos projetos de captação e aproveitamento de água de chuva na cidade de Belém/Pa. Assim, o trabalho visa contribuir no fornecimento de subsídios para tomada de decisão nas concepções viáveis dos projetos de engenharia, com ênfase nos projetos de CAAC, cooperando, portanto, para um adequado aproveitamento dos recursos hídricos.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Propor Índice de Correção de Chuva (ICC) aplicável aos projetos de captação e aproveitamento de água pluvial.

2.2 ESPECÍFICOS

- Sistematizar os dados pluviográficos dos eventos de chuva ocorridos no período de 2001 a 2011;
- Analisar os eventos ocorridos e suas lâminas, identificando os eventos e as lâminas de chuva aproveitável, os eventos e as lâminas de chuva não aproveitável, para o período de estudo;
- Avaliar a aderência a uma distribuição normal (teste de Anderson-Darling) e a existência de tendência (método de Mann-Kendall) na série de lâminas ocorridas, série de lâminas aproveitável e série de lâminas não aproveitável;
- Propor um Índice de Correção de Chuva (ICC) aplicável aos projetos de CAAC que utilizem o descarte da primeira chuva;
- Avaliar a aderência dos icc's mensais e sazonais a uma distribuição gaussiana (teste de Anderson-Darling) e aplicar teste de variância (teste de Kruskal-Wallis) para escolher um ICC que represente o conjunto de dados avaliados.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

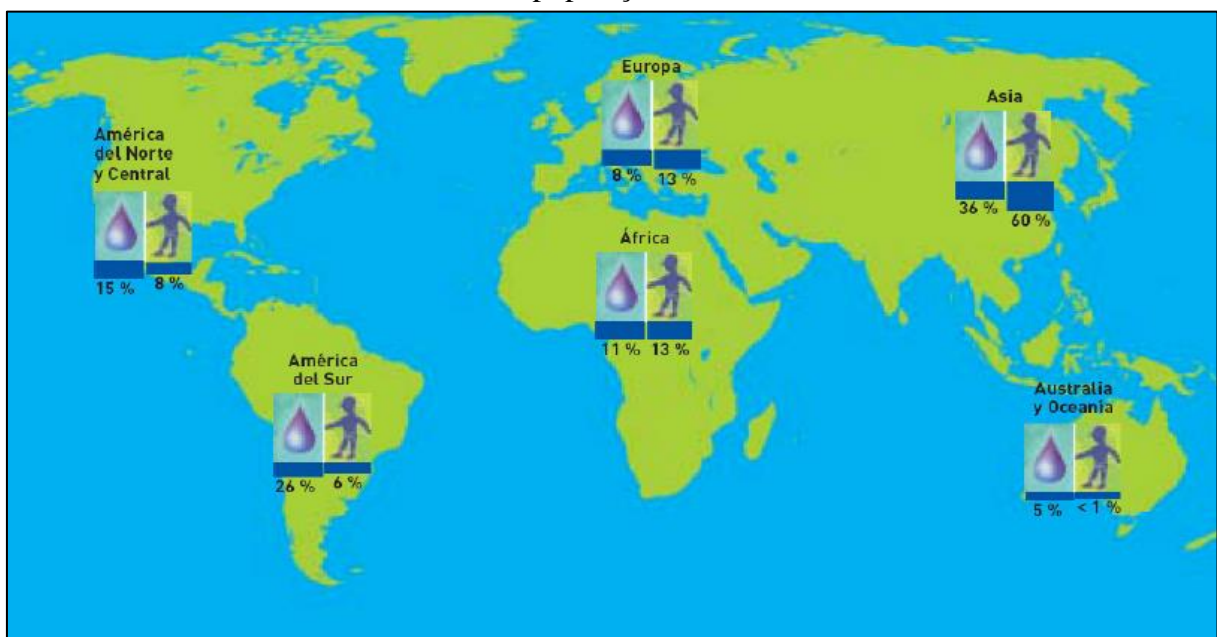
3.1 A DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NA TERRA

De acordo com Teixeira (2009), o planeta terra é o único que detém água em sua forma líquida, o que ocorre devido a sua localização no sistema solar e sua formação geológica, isto implica dizer que apesar da existência de água em outros planetas, estas estão condensadas ou na forma de vapor, o que inviabiliza sua utilização.

A água está distribuída no planeta de forma não homogênea, fazendo com que algumas regiões detenham a maior parte de água de fácil exploração. Do total de água existente na terra, 97,5% formam oceanos e mares (água salgada) e apenas 2,5% se constituem em água doce. Considerando a água doce, ressalta-se que 68,9% formam as calotas polares e as geleiras eternas que cobrem as montanhas de grandes alturas, 29,9% constituem as águas subterrâneas, 0,9% são componentes da umidade do solo e águas de pântanos, sendo que apenas 0,3% estão em rios e lagos (REBOUÇAS, 2006).

A distribuição territorial da disponibilidade de água para consumo não obedece a espacialização populacional, isto é, em determinada área do planeta pode existir déficit ou alta disponibilidade de recursos hídricos, conforme apresentado na Figura 1.

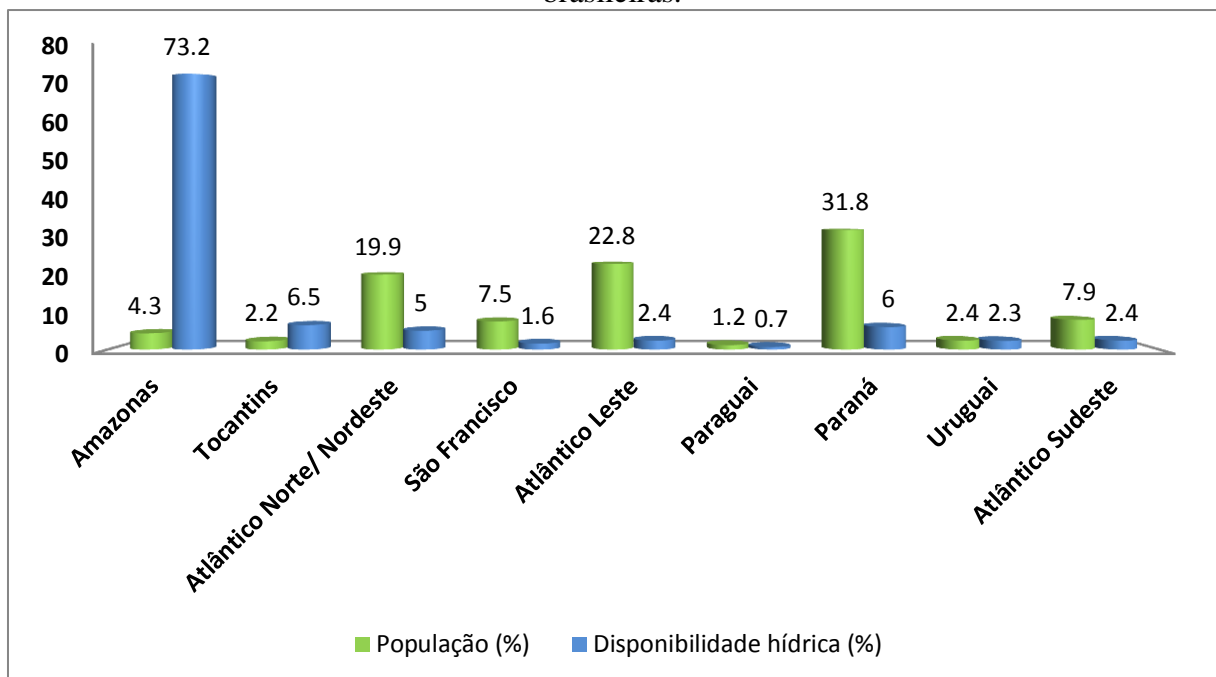
Figura 1 – Relação percentual da distribuição de água nos continentes e suas respectivas populações.



Fonte: ONU (2003).

No Brasil, a distribuição hídrica também é heterogênea, sendo que a bacia do rio Amazonas é a que apresenta a maior disponibilidade (73% da água doce disponível no país, em uma área que concentra apenas 5% da população), por outro lado, os 27% de água restante disponível, são responsáveis pelo suprimento da demanda de 95% da população (Figura 2). Este cenário cria, em alguns Estados, situações de estresse hídrico, que é agravado em períodos do ano em que ocorrem estiagens (ANA, 2016).

Figura 2 – Distribuição da população e disponibilidade hídrica das regiões hidrográficas brasileiras.



Fonte: ANA (2016).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EM FORMA DE CHUVA

A precipitação é entendida como a água que cai e é depositada na superfície terrestre proveniente do vapor d'água atmosférico, podendo, de acordo com suas características, ser denominada de chuva, granizo, neblina, neve, orvalho ou geada (MACHADO e TORRES, 2012; REIS et al., 2012; TUCCI, 2012). A formação da precipitação é influenciada pelas condições atmosféricas, sendo seus elementos elencados no Quadro 1.

Quadro 1 – Elementos responsáveis pela formação e ocorrência das precipitações.

Elemento	Características
Umidade atmosférica	Decorrem da evapotranspiração da água superficial.
Resfriamento do ar	Quanto mais frio o ar, menor sua capacidade de suportar água em forma de vapor, o que culmina na sua condensação. Pode-se dizer que o ar se resfria na razão de 1°C por 100 m, até atingir a condição de saturação. A ocorrência do resfriamento do ar úmido decorre de sua ascensão, podendo estar relacionado a fatores como: ação frontal de massas de ar; convecção térmica; e relevo. Assim, a maneira com que o ar úmido ascende caracteriza o tipo de precipitação.
Presença de núcleos higroscópios	A formação da precipitação também é influenciada pela presença de núcleos que apresentam uma afinidade química especial (atração) por moléculas de água.
Crescimento das gotas	O crescimento das gotas pode ocorrer por: Coalescência: processo de crescimento devido ao choque de gotas pequenas originando outra maior; ou Difusão de vapor: condensação do vapor d'água sobre a superfície de uma gota pequena.
Queda da precipitação	Decorrem da aglutinação de partículas, formando microgotículas, que ao criarem peso suficiente, precipitam por ação gravitacional, caracterizando tal fenômeno hidrológico.

Fonte: UFCG (2009).

Dentre as formas de precipitação, a chuva (estado físico mais comum de ocorrência da precipitação), se apresenta com destaque, já que desempenha um papel de alta relevância nas atividades humanas, seja economicamente ou socioambientalmente, sendo que atividades como a agricultura, indústria, geração de energia, abastecimento de água, entre outras, dependem diretamente da água da chuva (YOSHINO, 2012).

Salgueiro (2005) e Tucci (2012), levando em consideração a ascensão do ar úmido, estabelecem três tipos principais de chuvas: convectiva, frontal ou ciclônica e orográfica.

As chuvas convectivas se caracterizam pela ocorrência com grandes intensidades, curta duração, tendo episódio no geral em pequenas áreas. Já as chuvas frontais ou ciclônicas se caracterizam por serem normalmente de fraca a média intensidade e com longas durações, atingindo geralmente grandes áreas. Por sua vez, as chuvas orográficas ocorrem geralmente com intensidade fraca e com longa duração, concentrando-se em pequenas áreas localizadas próximas as barreiras de elevações topográficas (MELLO e SILVA, 2013; TUCCI, 2012).

Como grandezas de medições de chuva, são destacadas por Villela e Mattos (1975), Garcez (2002) e Tucci (2012) a altura pluviométrica, duração, intensidade e tempo de recorrência (Quadro 2).

Quadro 2 – Grandezas utilizadas para mensuração da chuva.

Grandeza	Características	Representação	Unidade de medida
Altura pluviométrica ou altura de precipitação	Grandeza relacionada à quantidade de água precipitada por unidade de área horizontal. Representa uma altura de lâmina d'água em uma determinada área (normalmente em um metro quadrado), no entanto, sem considerar a evaporação, escoamento e infiltração.	h	mm
Duração	Representa o período desde o início ao final da chuva.	t	Minuto, hora, dia, mês e ano.
Intensidade	Grandeza que associa a lâmina precipitada por unidade de tempo, obtida pela seguinte relação: $i = h/t$	I	mm/hora, mm/dia, mm/ano.
Tempo de recorrência	Intensidade de precipitação máxima analisada, que poderá ser superada ou igualada em um tempo médio esperado.	tc	ano

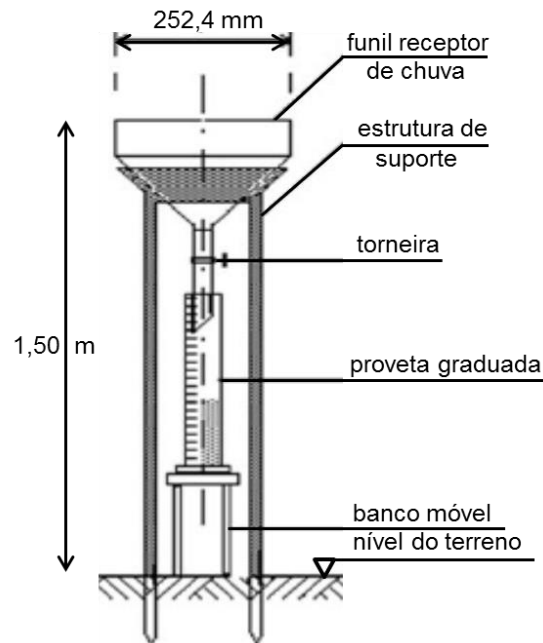
Fonte: Garcez (2002); Tucci (2012); UFCG (2009); Villela e Mattos (1975).

Considerando a medição de chuva, os mecanismos mais utilizados no Brasil são os pluviômetros e os pluviógrafos (DAMÉ et al., 2014; GARCEZ et al., 2002). Além dos equipamentos já citados, outros são utilizados (em menor escala), com destaque para os satélites e os radares meteorológicos (ISHIHARA, 2010; PORTO et al., 2013).

- **Pluviômetro**

O pluviômetro é um recipiente que possui uma superfície de captação horizontal delimitada por um anel. Este dispositivo possui um recipiente capaz de conter as maiores precipitações num intervalo de 24 horas. Vários modelos de pluviômetros são encontrados em uso no mundo, sendo o que os diferem são os detalhes construtivos. No Brasil, o mais difundido é o do tipo “Ville de Paris” (ANA, 2014; SANTOS et al., 2001). A Figura 3 apresenta a representação esquemática de um pluviômetro.

Figura 3 – Representação esquemática de um pluviômetro.



Fonte: UFCG (2009).

O pluviômetro “Ville de Paris” possui uma área de captação de 400 cm², de modo que um volume de 40 ml corresponde a 1 mm de precipitação, sendo geralmente instalado a 1,5 metro do solo. O volume de chuva acumulado no aparelho é retirado por meio de uma torneira situada no fundo do aparelho em horários prefixados e, em seguida, é transformado em altura diária de precipitação (mm), através de provetas especificamente graduadas para a superfície de 400 cm² (ANA, 2014; SANTOS et al., 2001).

- **Pluviógrafo**

O pluviógrafo (Figura 4) é um aparelho que registra de forma contínua a quantidade de chuva precipitada, produzindo um gráfico denominado de pluviograma (Figura 5), que permite identificar a intensidade da chuva ao longo do tempo, gerando, assim, informações mais discretizadas (GARCEZ et al., 2002).

Existem ainda pluviógrafos (Figura 6), que armazenam as informações de coleta de dados de forma magnética, ou enviam em tempo real através de sistemas de transmissão remoto de dados (ANA, 2009).

Figura 6 – Pluviógrafo com mecanismo de registro em meio magnético.



Fonte: Hobeco (2017).

- **Satélite meteorológico**

Os satélites meteorológicos (Figura 7) começaram a ser utilizados principalmente após a década de 60, a fim de estimar a precipitação que ocorre em um determinado local. Este instrumento de medição utiliza sensores remotos que captam a radiação que é emitida ou refletida pelas nuvens, transformando-as em imagens. Estas imagens posteriormente são analisadas, e podem identificar as prováveis ocorrências de chuva (ÁVILA, 2006; ISHIHARA, 2010).

Figura 7 – Satélite meteorológico.



Fonte: REVISTA PRÉ. UNIVEST (2014).

- **Radar meteorológico**

A medição de chuva com uso de radares (Figura 8) proporciona informações discretizadas em pequeno intervalo de tempo e espaço (KAISER; PORTO, 2005).

Figura 8 – Radar meteorológico do Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM).



Fonte: PUC-Rio (2012).

Apesar da predominância nos aparelhos supracitados na medição da chuva no Brasil e no mundo, Govone (1996), citado por Kaiser e Porto (2005), apresenta ponderações relacionadas à interferências na qualidade dos dados medidos por radares, pluviômetros e pluviógrafos, ligadas às características operacionais dos equipamentos, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Interferências na qualidade dos dados medidos por radares, pluviômetros e pluviógrafos.

Interferências nas medições de chuva por Radares meteorológicos	Interferência nas medições de chuva por pluviômetros e pluviógrafos
<ul style="list-style-type: none"> – Tipo de precipitação. – Evaporação – quando umidade relativa do ar é muito baixa, parte da chuva detectada pelo radar evapora no percurso até o solo. – Elevação da antena – quanto mais baixa a antena, maior a presença de ecos de terreno; quanto mais alta, maior a probabilidade do radar não interceptar a chuva que se forma a baixa altitude nos locais mais distantes. – Interceptação da banda brilhante – quando o radar intercepta a camada de gelo presente em nuvens. – Distância entre o radar e ponto amostrado – o radar ilumina regiões muito grandes que podem conter grande diversidade de estágios de precipitação, cujas medidas podem interferir umas com as outras causando o fenômeno de atenuação. – Propagação anômala da radiação – o feixe do radar pode ser desviado quando interceptar uma camada de ar próxima do solo com alta refletividade. – Desvio por vento. 	<ul style="list-style-type: none"> – Inclinação acidental do aparelho. – Atrito mecânico do aparelho. – Tempo de oscilação do pluviógrafo. – Ausência de medidas para precipitação fraca. – Diferenças na forma de amostragem – como a medida é pontual, mesmo em redes densas alguns eventos com grande variabilidade espacial podem ser mal representados ao fazer a extrapolação espacial dos valores medidos pontualmente. – Desvio por vento – causam perdas na captação, que variam de 10 a 50%.

Fonte: Govone (1996), apud Kaiser e Porto (2005).

3.3 A CAPTAÇÃO E APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

O processo de captação e o aproveitamento de água da chuva já vêm sendo utilizado no decorrer da história, seja para produção de alimentos, irrigação, ou mesmo consumo humano. Registros que remontam de 3.000 até 37 a.C mostram a existência de inúmeros mecanismos de captação de água de chuva como na ilha de Creta, na Mesopotâmia; e na Turquia, na Fortaleza de Massada (OLIVEIRA, 2004; TOMAZ, 2003).

Na América foram encontradas ruínas que comprovam a utilização da água de chuva pelos povos Maias, Incas e Astecas (GIACCHINI, 2010). No Brasil, há registros da utilização da água de chuva nas fortalezas construídas pelos Portugueses na Ilha de Santa Catarina durante o século XVIII, onde na Ilha de Rotonés foi encontrada uma grande cisterna que armazenava água captada nos telhados, usada para o consumo das tropas e outras finalidades (ALT, 2009).

Na atualidade, vários países estão empenhados em inserir o aproveitamento de água de chuva no processo de gerenciamento de recursos hídricos. Na Holanda e na China, a água de chuva está sendo coletada para irrigação de lavouras; no Japão, na Alemanha e nos Estados Unidos o governo vem incentivando financeiramente a construção de sistemas para aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis; na Nova Zelândia e Tailândia estão sendo implantados programas de grandes dimensões para construção de estruturas de captação de água de chuva, utilizando as calhas acopladas aos telhados, principalmente em áreas rurais (GOMES et al., 2014; HAGEMANN, 2009; MAY, 2004; TOMAZ, 2003).

De acordo com Gomes et al. (2014), estudos referentes ao aproveitamento de água de chuva podem ser encontrados na África do Sul (KAHINDA et al., 2007), no Nepal (DOMÈNECH, 2011), na Austrália (HEYWORTH et al., 2006), na Índia (PANDEY et al., 2003) na Etiópia, Sri Lanka e Uganda (MARTINSON, 2007).

No Brasil a região Nordeste vem se destacando no aproveitamento de água de chuva, o que pode ser atribuído à escassez hídrica característica do local. Em 2003 foi implantado o “Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido: um milhão de Cisternas Rurais-P1MC”, objetivando beneficiar 5 milhões de pessoas (GOMES et al., 2014; HAGEMANN, 2009; NÓBREGA et al., 2012).

No setor industrial, o aproveitamento de água de chuva também vem ganhando destaque progressivo, já que a água captada é utilizada para usos menos nobres, como na lavagem de pátios e descarga de vasos sanitários, proporcionando economia significativa de

água tratada. Há de se destacar que a grande área de telhado característica deste tipo de atividade potencializa o aproveitamento (YOSHINO, 2012).

De acordo com Yoshino (2012), no sul e sudeste esforços estão sendo realizados ainda que de forma discreta, com a criação de leis e/ou decretos em cidades como São Paulo, Rio de Janeiro e Curitiba, objetivando retardar o escoamento superficial, diminuindo o impacto das chuvas no sistema de drenagem urbana.

No Norte do Brasil o aproveitamento de água de chuva para fins potáveis e não potáveis vem sendo estudado de forma contínua, com destaque para o Yoshino (2012), que realizou o estudo do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis na cidade Belém-Pa. Flores et al. (2012) realizaram um estudo do potencial de aproveitamento de água de chuva da cidade de Belém, enquanto Veloso e Mendes (2014) realizaram um estudo sobre o aproveitamento de água de chuva nas Ilhas da Cidade de Belém, destacando que a CAAC se mostra como uma estratégia inteligente na gestão hídrica local. Nascimento et al. (2016), realizaram um estudo do potencial de aproveitamento de água de chuva da Universidade Federal do Pará, concluindo que em média 78,3% da água potável do setor básico e 79% da água potável do setor profissional poderiam ser substituída por água de chuva.

Para Campos (2004) e Oliveira (2012), a utilização da água de chuva pode ser concebida como solução complementar em áreas com determinada disponibilidade hídrica durante o ano, apresentando vantagens e desvantagens em sua implantação, conforme apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 – Vantagens e desvantagens do sistema de aproveitamento de água pluvial.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> – Conveniência (o suprimento ocorre no ponto de consumo) – Fácil manutenção – Baixo custo de operação e manutenção – Qualidade relativamente boa (principalmente quando a captação é feita em telhado) – Baixo impacto ambiental – As tecnologias disponíveis são flexíveis – Construção simples – Serve além de fonte de água como uma medida não estrutural para drenagem urbana. – É gratuita, ou seja, não faz parte do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), portanto não tem valor econômico previsto em Lei (Art. 1º, Inc. II, Lei 9433/1997). – Contribui com a conservação de água, a autossuficiência e a uma postura ambientalmente correta perante os problemas ambientais existentes no meio rural. 	<ul style="list-style-type: none"> – Alto custo (principalmente quando comparada com outras fontes) – Suprimento é limitado (depende da quantidade de precipitação e da área de telhado) – Custo inicial alto – Não atrativo a políticas públicas – Qualidade de água vulnerável – Possível rejeição cultural

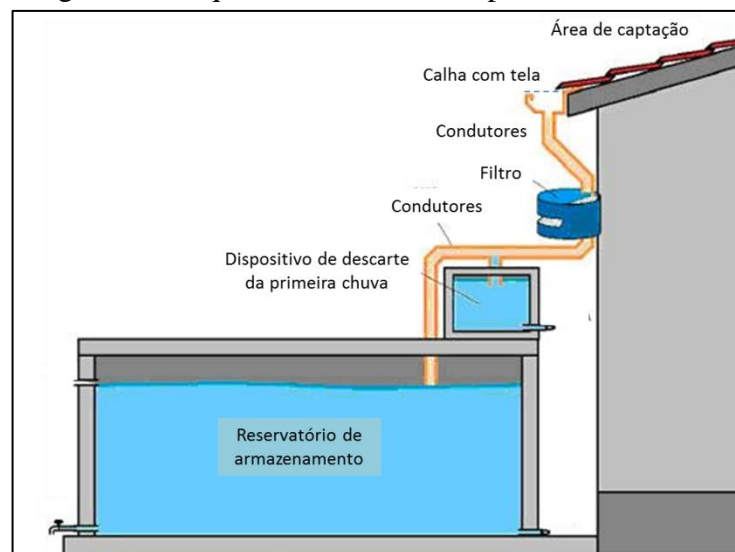
Fonte: Campos (2004); Oliveira (2012).

3.3.1 Os sistemas prediais de captação e aproveitamento de água de chuva

Os sistemas prediais de captação e aproveitamento de água de chuva (CAAC) são planejados e projetados conforme finalidade de uso e demanda, tendo como fatores atuantes no desempenho quantitativo do sistema, a precipitação disponível e a área de captação, e no desempenho qualitativo, as condições ambientais e o material construtivo (BARBOZA, 2008; GUIMARÃES, 2015; MARINOSKI, 2007).

Apesar do atrelamento direto das características do sistema à sua função, alguns dispositivos são aplicáveis a todos os sistemas prediais de CAAC sendo, a área de captação, calhas, condutores verticais e horizontais, filtros para remoção de materiais grosseiros, dispositivos de descarte da primeira chuva e reservatório de armazenamento. Há de se destacar que são utilizados como área de captação as superfícies de telhados ou as superfícies do solo, sendo esta última pouco usual em sistemas urbanos (LEE, 2000; LYE, 2009). Na Figura 9 apresenta-se a configuração geral de um sistema de captação e aproveitamento de água de chuva.

Figura 9 – Esquema de um sistema predial de CAAC.



Fonte: EMBRAPA (2015).

- **Área de captação**

Como área de captação da água de chuva, normalmente são utilizadas as coberturas, construídas em telhas cerâmicas, telhas de fibrocimento, telhas de zinco galvanizadas, telhas de concreto armado, telhas de plástico, telhado plano e revestido com asfalto. A configuração da cobertura pode ser inclinada ou plana, sendo que os telhados são

projetados e construídos seguindo normas técnicas e especificações dos fabricantes das telhas (TOMAZ, 2003).

Cabe mencionar que o tipo de revestimento das telhas interfere diretamente no sistema de aproveitamento da água da chuva, já que os materiais apresentam diferentes coeficientes de escoamento, possuindo desta forma maior ou menor poder de absorção.

De acordo com Anecchini (2005), outra solução utilizada como área de captação são as superfícies do solo, empregado com êxito em locais com grande área disponível, havendo necessidade de construção de rampas ou canais, objetivando direcionar a água da chuva para dentro do reservatório. Além disso, as soluções técnicas para este tipo de captação devem evitar coletar água da chuva de superfícies por onde passam veículos, objetivando impedir a contaminação da água por óleos e graxas.

- **Calhas e condutores**

As calhas e condutores são dispositivos responsáveis pelo transporte da água do ponto de coleta até o ponto de armazenamento, sendo dimensionados a partir da vazão captada, obedecendo a NBR 10844 (ABNT, 1989), que descreve os procedimentos para instalações prediais de águas pluviais (MAY, 2004; PETERS, 2006).

- **Filtros e telas**

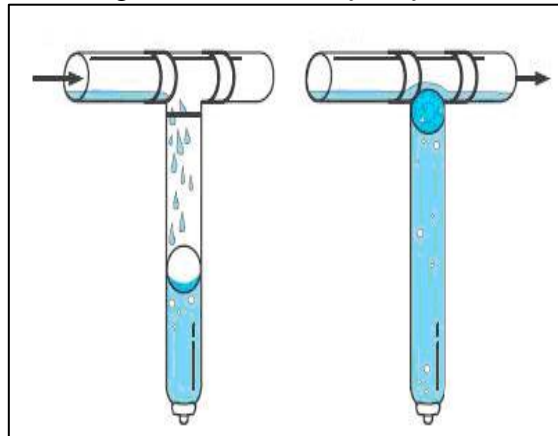
Devido ao acúmulo de materiais grosseiros como galhos e folhas, que podem obstruir danificar, ou até mesmo alterar a qualidade da água do sistema, é necessária a utilização de filtro ou telas, instalados na saída da calha, estendendo-se por ela ou na entrada de água do reservatório de autolimpeza.

- **Dispositivos de descarte da primeira chuva**

Os dispositivos para o descarte da primeira chuva ou água de lavagem do telhado, apresenta a função de receber a chuva inicial a ser descartada e melhorar a qualidade dos volumes posteriores (ANNECCHINI, 2005).

Para Bertolo (2006), o dispositivo de descarte da primeira chuva, também denominado de *first-flush* é construído de diversas formas, sendo o mais comum à adoção de reservatório, provido de uma boia flutuante que após atingir seu volume máximo fecha a passagem de água que segue para o reservatório de armazenamento (Figura 10).

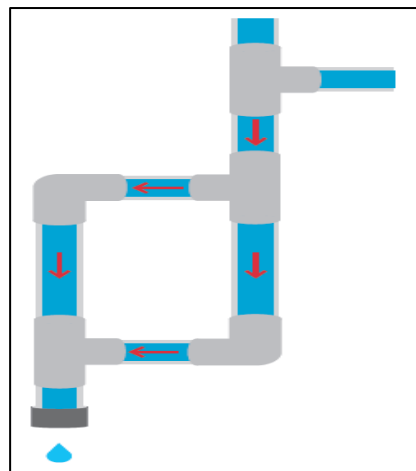
Figura 10 – Sistema *first-flush*.



Fonte: Collect-Rainwater (2016).

Outro mecanismo utilizado para o descarte da lâmina inicial é o reservatório de tubos, que é interligado ao tubo de queda do sistema de captação para o qual a água é conduzida até preencher totalmente o volume disponível, sendo posteriormente encaminhada para o reservatório (Figura 11). Devido sua configuração, o reservatório de tubos impede que a água limpa se misture com a água suja (IPT, 2015).

Figura 11 – Reservatório para descarte da primeira água.



Fonte: IPT (2015).

O esvaziamento do reservatório de descarte é realizado de forma manual, com auxílio de um registro instalado no fundo deste, onde ao final de cada chuva o operador abre o registro e retira a água de descarte, ou de forma automática, (casos do reservatório com boia flutuante e reservatório de tubos) através de um orifício de aproximadamente 0,5 cm pelo qual a água escoava lentamente, neste caso não necessitando de visita diária do operador.

De acordo com May (2004) a eficiência dos sistemas de descarte automáticos está ligada ao tamanho da área de projeção e captação de água de chuva, já que em pequenas

áreas, as chuvas de baixa intensidade não são aproveitadas, pois atendem apenas a vazão do orifício.

- **Reservatórios de armazenamento**

Além de armazenar a água captada, o reservatório ou cisterna também é responsável pela qualidade da água no ponto de consumo, assim, sua limpeza e desinfecção se tornam indispensáveis para o bom funcionamento do sistema.

O dimensionamento do reservatório de armazenamento de água de chuva é uma etapa primordial para o projeto de captação e aproveitamento, já que representa o item de maior custo de implantação (MURÇA, 2014). Na literatura são verificados vários métodos para a concepção e cálculo dos reservatórios de armazenamento, sendo recomendado pela NBR 15527 (ABNT, 2007): o método de Rippl; o método da Simulação; o método Azevedo Neto; o método Prático Australiano; o método Prático Alemão; e o método Prático Inglês.

Para Lopes e Santos (2002), os métodos de dimensionamento podem ser determinísticos (aqueles que tratam os resultados, baseados apenas em séries históricas existentes) e estocásticos (aqueles baseados em probabilidades).

A maior parte dos métodos elencados utilizam as mesmas variáveis para o dimensionamento do reservatório, ou seja, a demanda de atendimento, as séries históricas de precipitação, a área de captação e o coeficiente de escoamento superficial (YOSHINO, 2012).

3.3.2 O volume de descarte nos projetos de CAAC

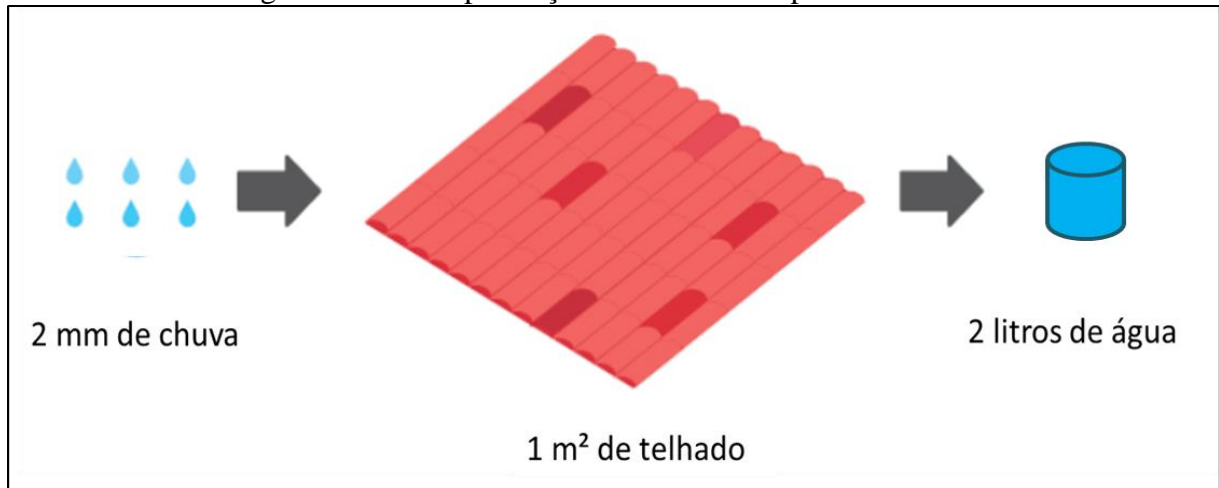
Além de algumas impurezas decorrentes da poluição atmosférica, a água de chuva em sua passagem pela superfície de captação, pode carrear substâncias prejudiciais a sua qualidade, a exemplo de poeira, folhas, galhos e fezes de animais, sendo necessário o descarte do primeiro volume de chuva do dia (NAWAZ et al., 2012; TEIXEIRA et al., 2015; TOMAZ, 2003; TORDO, 2004). Deste modo, o volume de descarte é a água utilizada para a limpeza dos dispositivos de captação de água de chuva.

De acordo com a NBR 15527 (ABNT, 2007), o volume de chuva a ser descartado nos projetos de CAAC deve ser baseado em estudos locais e definido pelo projetista, porém na ausência de dados pode ser utilizado 2 mm como valor de referência.

Para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2015), é recomendável o descarte do primeiro milímetro de chuva de qualquer evento, contudo, nas grandes cidades, devido a maior quantidade de poluentes e poeira no ar, é recomendada uma lâmina de descarte de 2

milímetros, ou seja, para cada 1 m² de telhado, é necessário descartar 2 litros de água (Figura 12).

Figura 12 – Exemplificação do descarte da primeira chuva.



Fonte: Adaptado do IPT (2015).

Cabe ressaltar que nos trabalhos de Dornelles et al. (2010), em Porto Alegre (RS); Cardoso (2009), em Belo Horizonte (MG); Minikowski (2009), em Irati (PR); Sousa et al. (2011), em Pernambuco; Murça et al. (2014), no Rio Janeiro (RJ), são utilizados 2 mm como valor de referência para o descarte da água de lavagem da área de captação.

3.4 ESTATÍSTICA APLICADA AO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

3.4.1 Estatística descritiva

De acordo com Naghettini e Pinto (2007), e Amorim (2014), as estatísticas descritivas podem ser agrupadas três tipos distintos: (a) medidas de tendência central; (b) medidas de dispersão; e (c) medidas de assimetria e curtose.

a) Medidas de tendência central

Para Naghettini e Pinto (2007), os dados hidrológicos, em geral, se aglomeram em torno de um valor central, que pode ser calculado através das medidas de tendência central ou de posição (Quadro 5), que são escolhidas de acordo com objetivo do estudo, sendo as mais usuais a média, a moda e a mediana.

Quadro 5 – Descrição das medidas de tendência central.

Medidas de tendência central	Descrição
Média (\bar{x})	Se uma amostra de tamanho N é constituída pelos elementos $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, a média aritmética é obtida pela aplicação da Equação 1: $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$
Mediana (x_{md})	Definida como o valor da variável X que separa a frequência total em duas metades iguais, sendo, portanto, equivalente ao segundo quartil Q_2 . Se as observações amostrais são ordenadas de modo que $\{x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(N)}\}$, a mediana pode ser calculada pelas Equações (2) e (3): $x_{md} = x_{\left(\frac{N+1}{2}\right)} \text{ se } N \text{ por ímpar} \quad (2)$ $x_{md} = \frac{x_{\left(\frac{N}{2}\right)} + x_{\left(\frac{N}{2}+1\right)}}{2} \text{ se } N \text{ for par} \quad (3)$
Moda (x_{mo})	A moda x_{mo} é definida como o valor amostral que ocorre com maior frequência, sendo geralmente obtido a partir do polígono de frequências relativas.

Fonte: Naghettini e Pinto (2007); Amorim (2014).

É importante observar que a média aritmética de uma amostra, pelo fato de considerar todos os seus elementos, apresenta desvantagem de ter seu valor afetado pela eventual presença de pontos atípicos, sendo a mediana mais resistente, por ser imune à eventual presença de valores extremos discordantes na amostra (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

b) Medidas de dispersão

De acordo com Amorim (2014), o grau de variabilidade dos pontos, em torno do valor central de uma amostra, é dado pelas medidas de dispersão (Quadro 6), sendo as mais usuais: a amplitude, a amplitude interquartis, o desvio médio absoluto e o desvio padrão.

Quadro 6 – Descrição das medidas de dispersão.

Medidas de dispersão	Descrição
Amplitude (A)	É dada por $A = x_{(N)} - x_{(1)}$, onde $x_{(N)}$ e $x_{(1)}$ são, respectivamente, o N -ésimo e o primeiro dos elementos classificados em ordem crescente.
Amplitude interquartis (AIQ)	A amplitude interquartis AIQ é dada pela diferença entre o terceiro e o primeiro quartis, respectivamente Q_3 e Q_1 .
Desvio Médio Absoluto (d)	O <i>desvio médio absoluto</i> (d) representa a média aritmética dos valores absolutos dos desvios amostrais, em relação à média. Para uma amostra $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, d é definido por Equação 4: $d = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N x_t - \bar{x} \quad (4)$
Desvio Padrão (s)	Define-se o <i>desvio padrão</i> como a raiz quadrada do desvio quadrático médio, ou seja, a raiz quadrada da variância S^2 , sendo expresso pela Equação 5: $s = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$

Fonte: Naghettini e Pinto (2007); Amorim (2014).

c) Medidas de assimetria e curtose

As medidas de assimetria e curtose (Quadro 7) caracterizam a forma de um histograma ou do polígono de frequências, ambas baseadas em valores acumulados, decorrentes de potências superiores a 2 dos desvios dos pontos amostrais em relação à média. A principal medida de assimetria é denominada coeficiente de assimetria, enquanto a de curtose é dada pelo coeficiente de curtose.

Quadro 7 – Descrição das medidas de assimetria e curtose.

Medidas de assimetria e curtose	Descrição
<p>Coeficiente de assimetria (g)</p>	<p>Para uma amostra $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, define-se o coeficiente de assimetria (g) pelo número adimensional dado pela Equação 6:</p> $g = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{s^3} \quad (6)$ <p>Se o coeficiente g é positivo, diz-se que o histograma (ou o polígono de frequências) possui assimetria positiva, o contrário será observado caso o coeficiente g determinasse um histograma com assimetria negativa. Caso os desvios positivos e negativos se equivalerem, o coeficiente g terá valor nulo (ou próximo de zero) e as três medidas de tendência central tenderiam a se concentrar em um único valor de X.</p>
<p>Coeficiente de curtose (k)</p>	<p>O coeficiente de curtose (k) mede o quão pontiagudo ou achatado é o histograma (ou o polígono de frequências) em torno da média amostral, sendo calculado pela Equação 7:</p> $k = \frac{N^2}{(N-1)(N-2)(N-3)} \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{s^4} \quad (7)$ <p>Por tratar-se de um coeficiente cuja base de cálculo é a soma das quartas potências dos desvios em relação à média, a amostra deve ser de tamanho suficientemente grande ($N > 200$), para produzir estimativas confiáveis do grau de achatamento da correspondente função de distribuição de frequências.</p> <p>O coeficiente k indica quão aglomerados estão os pontos amostrais em torno da média, tem-se também a noção da distribuição dos valores muito distantes daquele valor central e, por conseguinte, das frequências que se concentram nas caudas inferior e superior.</p>

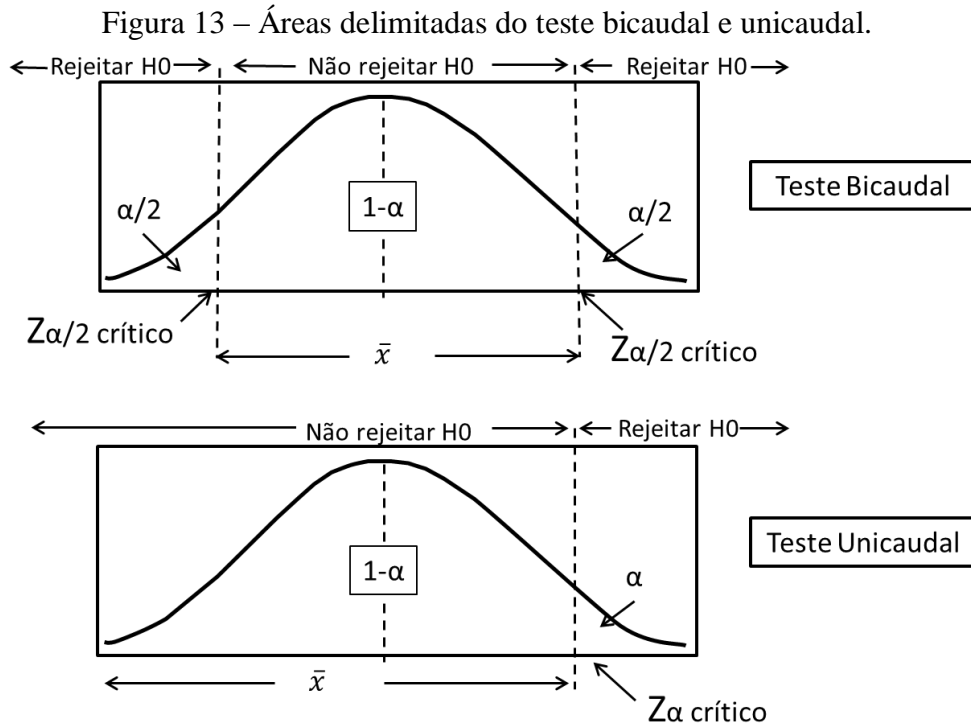
Fonte: Adaptado de Naghettini e Pinto (2007); Amorim (2014).

3.4.2 Testes de hipóteses

Um teste de hipótese clássico é aquele que considera a existência de uma hipótese nula (H_0), entendida como aquela que declara inexistência de relação entre o parâmetro testado e a estatística alvo da comparação, sendo que a hipótese alternativa (H_1) é oposta a hipótese nula (COOPER e SCHINDLER, 2003; RODRIGUES e IEMMA, 2009).

De acordo com Tondolo e Schneider (2006), os testes de hipóteses podem ser bicaudal ou unicaudal, sendo que o primeiro considera que uma média pode ser inferior ou superior a determinado valor, o que divide a zona de rejeição em duas áreas e não direciona a

hipótese alternativa, enquanto o segundo atribui toda probabilidade a determinado valor a uma extremidade, considerando uma única área de rejeição (Figura 13).



Fonte: Cooper e Schindler (2003).

Sendo α o nível de significância do teste, ou seja, a probabilidade de ocorrer erro, Z , $1-\alpha$, o nível de confiança do teste, $Z_{\alpha/2}$ é o valor crítico bilateral com probabilidade de separar uma área $\alpha/2$ na cauda direita e esquerda da distribuição normal padronizada.

Considerando o teste bicaudal, são apresentados na Tabela 1, os valores de $Z_{\alpha/2}$ para cinco graus de confiança testáveis.

Tabela 1 – Valores de Z para diferentes níveis de significância e graus de confiança.

Nível de Significância (α)	Grau de confiança ($1-\alpha$)	Valor crítico ($Z_{\alpha/2}$)
1%	99%	2,58
5%	95%	1,96
6%	94%	1,88
8%	92%	1,75
10%	90%	1,65

Fonte: Hollander e Wolfe, 1999 apud Loureiro et al., (2015).

- **Análise de normalidade (Teste de Anderson-Darling)**

O sucesso da aplicação de testes estatísticos paramétricos ou não paramétricos está associado à aderência dos dados a uma distribuição normal, sendo que os testes paramétricos não apresentam resultados satisfatórios quando a distribuição não é gaussiana (NORMANDO et al., 2010). Entre os testes de normalidade difundidos na literatura estão: D'Agostinho, D'Agostinho-Pearson, Jarque-Beta, Anderson-Darling, Cramer-Von Mises, Valores Extremos (base nos desvios) e Valores Extremos (base nos quartis), Kolmogorov-Smirnov (K-S), Lilliefors, Shapiro-Francia e Shapiro-Wilk (S-W).

Utiliza-se o teste Anderson-Darling (STEPHENS, 1974) para verificar se uma amostra de dados provém de uma determinada distribuição, ou seja, o teste realiza uma comparação da função de distribuição acumulada empírica de determinado conjunto de dados amostrais, com a distribuição esperada se os dados fossem normais. Se essa diferença observada for suficientemente grande, o teste rejeitará a hipótese nula de normalidade da população.

O teste Anderson-Darling é descrito por Snedecor e Cochran (1989) pela Equação 8:

$$AD^2 = -n - n^{-1} \sum_{i=1}^n (2 \cdot i - 1) \cdot [\ln(p_i) + \ln(1 - p_{n+1-i})] \quad (8)$$

em que: p é a probabilidade que uma variável normal padronizada seja menor do que $(X_i - \mu)/\sigma$; n é o número de amostras; μ é a média da amostra; e σ é o desvio padrão da amostra.

Grandes valores de AD^2 indicam que a distribuição da amostra é diferente de uma população normal. O valor p , probabilidade de se aceitar uma hipótese nula, da estatística AD é dado por Snedecor e Cochran (1989) pela Equação 9:

$$p = 1 - (1 - \alpha)^n \quad (9)$$

em que: α é o nível de significância (5%); e n é o número de amostras.

Se o valor p para o teste Anderson-Darling for menor do que o nível de significância, conclui-se que os dados não seguem uma distribuição normal (ALBIERO et al., 2012).

- **Análise de tendência (teste de Mann-Kendall)**

Entre os testes estatísticos difundidos na literatura para verificação de tendências em séries de dados tem-se o teste dos coeficientes de Regressão linear (paramétrico), Mann-Kendall (não paramétrico), Kendall Sazonal (não paramétrico), entre outros.

A verificação de tendências em séries temporais é normalmente obtida através testes de hipóteses não paramétricos, envolvendo a elaboração de uma hipótese fundamentada na declaração do comportamento probabilístico da variável da série estudada (LOUREIRO et al., 2015).

De acordo com Scofield et al. (2014), para análise de precipitação dentre os testes estatísticos não paramétricos, o teste Mann- Kendall é recomendado pela OMM e têm sido frequentemente utilizados para confirmar o que já é percebido por meio de técnicas mais usuais, como médias móveis e análise de regressão.

O teste de Mann-Kendall trabalha os dados da série temporal comparando cada valor com outro correspondente elaborando uma sequência lógica (YUE et al., 2001, apud LOUREIRO et al., 2012), (Equação 10):

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (10)$$

em que: x_j são os valores sequenciais; n o tamanho da série temporal; e para a variação $(x_i-x_j)<0$ é -1, para $(x_i-x_j)=0$ é 0 e para $(x_i-x_j)>0$ é 1. A variância $Var(S)$ da estatística S é dada como (Equação 11):

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (11)$$

em que: n é o número de valores; q o número de grupos repetidos; e t_p o número de pontos de dados em p^{th} valores de grupos. Considerando-se a hipótese nula e ausência de repetição de valores na série temporal a variância, $Var(S)$ é expressa pela Equação 12:

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (12)$$

O segundo termo da equação representa o número de termos repetitivos. O teste estatístico normalizado (Z_{MK}) é dado por (Equação 13):

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (13)$$

Após a obtenção de Z_{MK} é realizado o teste de hipótese bicaudal, partindo do princípio de que não há tendência estatística (hipótese nula), ou de que há tendência estatística (hipótese alternativa), para tanto é associado um nível de significância, considerando 5% de significância, $|Z_{MK}| > |Z_{\alpha/2}| = 1,96$ se Z_{MK} for positivo indica tendência de crescimento, caso contrário de decrescimento. As características dos resultados possíveis do teste Mann-Kendall são apresentadas no Quadro 8.

Quadro 8 – Características dos resultados possíveis do teste de Mann-Kendall.

Z_{MK} positivo	Z_{MK} maior do que nível de significância	Tendência de crescimento
Z_{MK} negativo	Z_{MK} menor do que nível de significância	Tendência de decrescimento
Z_{MK} entre o valor do nível de significância		Não há tendência

- **Análise de Variância (teste de Kruskal-Wallis)**

O teste de Kruskal-Wallis é utilizado para avaliar a igualdade de medianas de duas ou mais populações, oferecendo uma alternativa não paramétrica para análise de variância, sendo suas hipóteses: as medianas das populações são todas iguais (hipótese nula: $H_0: M_1=M_2=\dots=M_k$), ou as medianas não são todas iguais (hipótese alternativa: $H_1: M_i \neq M_j, i \neq j$) (KRUSKAL; WALLIS, 1952). A estatística do teste Kruskal-Wallis (Equação 14), representada pela letra H, é apresentada a seguir:

$$H = \left[\frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k n_j \bar{R}_j^2 \right] - 3(N+1) \quad (14)$$

Onde:

k = número de amostras ou grupos;

N = número total de escores da amostra j ;

n_j = número de escore da amostra j ; e

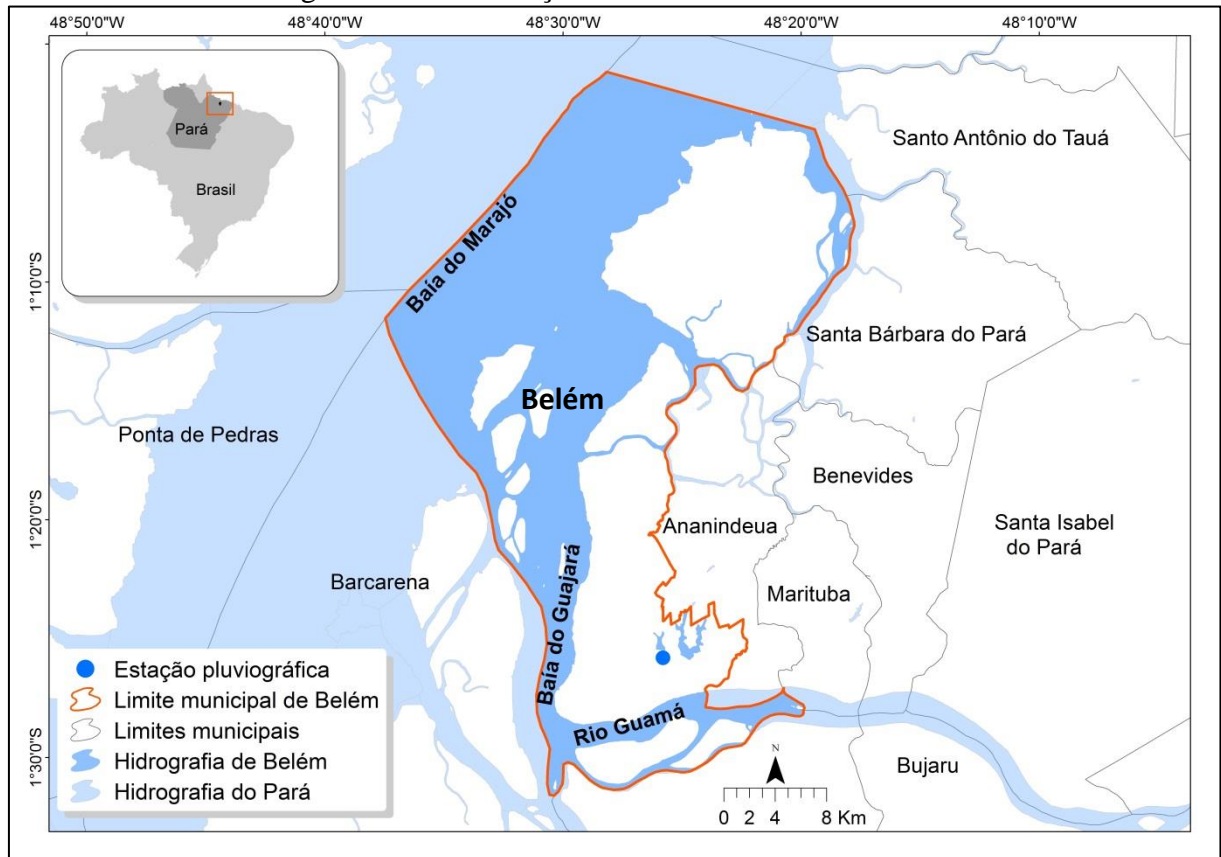
R_j = somatório dos postos da amostra j .

Os resultados do teste são interpretados comparando o p-valor calculado com o nível de significância geralmente utilizado (0,05), sendo que um p-valor maior que a significância do teste resultará na confirmação da hipótese alternativa. Se o valor observado da estatística de teste pertencer à região crítica, então isso significa que existem diferenças significativas entre as amostras.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no município de Belém (Figura 14), Estado do Pará, Brasil, que está localizado a $01^{\circ}27'20''$ na Latitude Sul e $48^{\circ}30'15''$ na Longitude Oeste.

Figura 14 – Localização da área de estudo no Brasil.



De acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), no censo de 2010, Belém apresentou uma população de 1.393.399 habitantes, sendo que a estimativa realizada em 2015 apontou para uma população de 1.439.561 habitantes.

As características morfoclimáticas (solo, vegetação, patrimônio natural, topografia, geologia, relevo, hidrografia e clima) da área de estudo são apresentadas no Quadro 9.

Quadro 9 – Características morfoclimáticas do município de Belém, Estado do Pará.

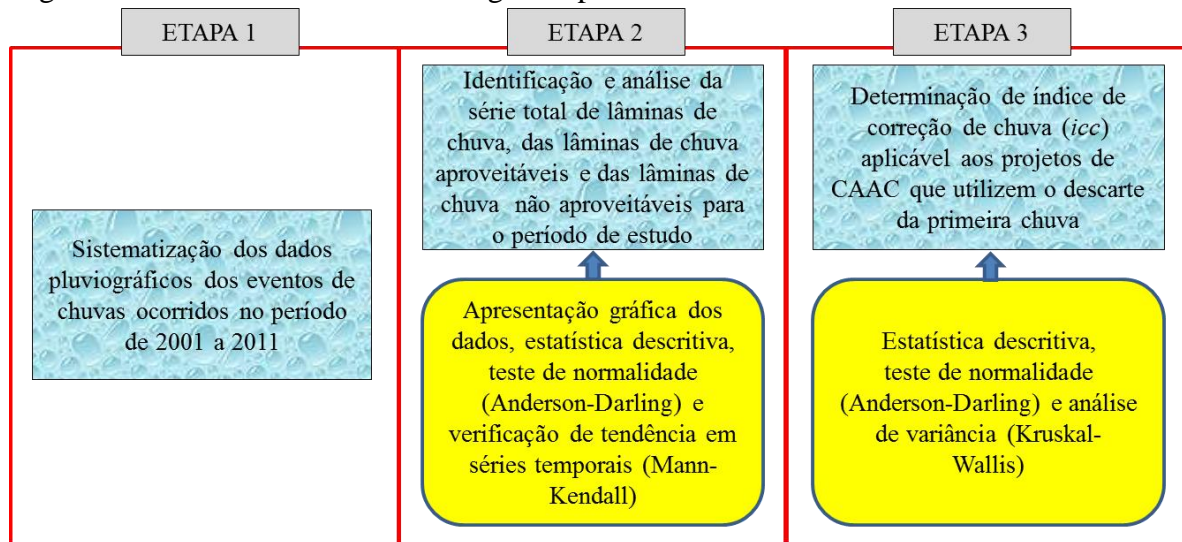
Componente morfoclimático	Descrição
Solos	Os solos do município têm as mesmas características dos solos da região Bragantina: latossolo amarelo distrófico textura média, concrecionários lateríticos indiscriminados textura indiscriminada; Glei eutrófico e distrófico, solos aluviais eutróficos, texturas indiscriminadas.
Vegetação	A vegetação dos mangues acompanha as porções fluviais e semi-litorâneas do setor estuarino, enquanto a Floresta Ombrófila domina os tratos marginais dos cursos d'água e as baixadas, onde prevalecem formações herbáceas, subarbustiva e arbustiva. A cobertura vegetal do Município compõe-se de floresta secundária ou capoeiras que substituíram a antiga floresta densa dos baixos platôs, da qual testemunhos ainda são encontrados em Mosqueiro, Caratateua e áreas adjacentes.
Patrimônio natural	A alteração da cobertura vegetal foi observada utilizando-se imagens LANDSAT - TM/1996 era de 54,73%. A situação é preocupante, quando se considera o tamanho do município, a velocidade do desmatamento, a crescente ocupação urbana e a dilapidação das florestas remanescentes, restando florestas pobres, com funções e estruturas alteradas. O rio Guamá e as baías do Guajará e Marajó são acidentes geográficos importantes na sua conformação, e as ilhas mais importantes são: Grande, Ilhinha, Marinheiro, Combu, Patos, Jararaca, Uruboca, Nova Paquetá, Jutuba, Croinha, Cotijuba, Mosqueiro, Caratateua, Papagaio, Camurau, Conceição e Maruim.
Topografia	No município a topografia é pouco variável e baixa, atingindo 25 metros na ilha de Mosqueiro, ponto de altitude máxima. Na área urbana da cidade de Belém, grandes áreas estão abaixo da cota de quatro metros, sofrendo influência das marés altas e tendo dificuldade no escoamento nas águas da chuva. São áreas chamadas “baixadas de Belém”.
Geologia e relevo	O território do Município de Belém é constituído por restos da formação Barreiras e terrenos do Quaternário Subatual e do Recente. Refletindo a litologia, suas formas de relevo caracterizam-se pelos baixos platôs e planícies litorâneas, fazendo parte neste contexto, junto com áreas limítrofes, na unidade morfoestrutural Planalto Rebaixado do Amazonas (Baixo Amazonas).
Hidrografia	Os principais acidentes geográficos do município são: as Baías do Marajó, ao norte e do Guajará, a oeste. Nesta última deságua o rio Guamá que em conjunto, contribui para a conformação peninsular do município. Na Baía do Guajará deságuam os Igarapés: Bacuri, Val-de-Cães, Una e o furo do Maguari que separa a ilha de Caratateua (Outeiro) do continente.
Clima	O clima é quente e úmido com precipitação média anual alcançando os 2.834 mm. A temperatura média é de 25° C em fevereiro e 26° C em novembro. Está na zona climática Af _i (classificação de Köppen), que coincide com o clima de floresta tropical, permanente úmido, com ausência de estação fria e temperatura do mês menos quente, acima de 18° C.

Fonte: CODEM (2010).

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos aplicados ao trabalho foram desenvolvidos conforme apresentado Figura 15.

Figura 15 – Procedimentos metodológicos aplicados ao trabalho.



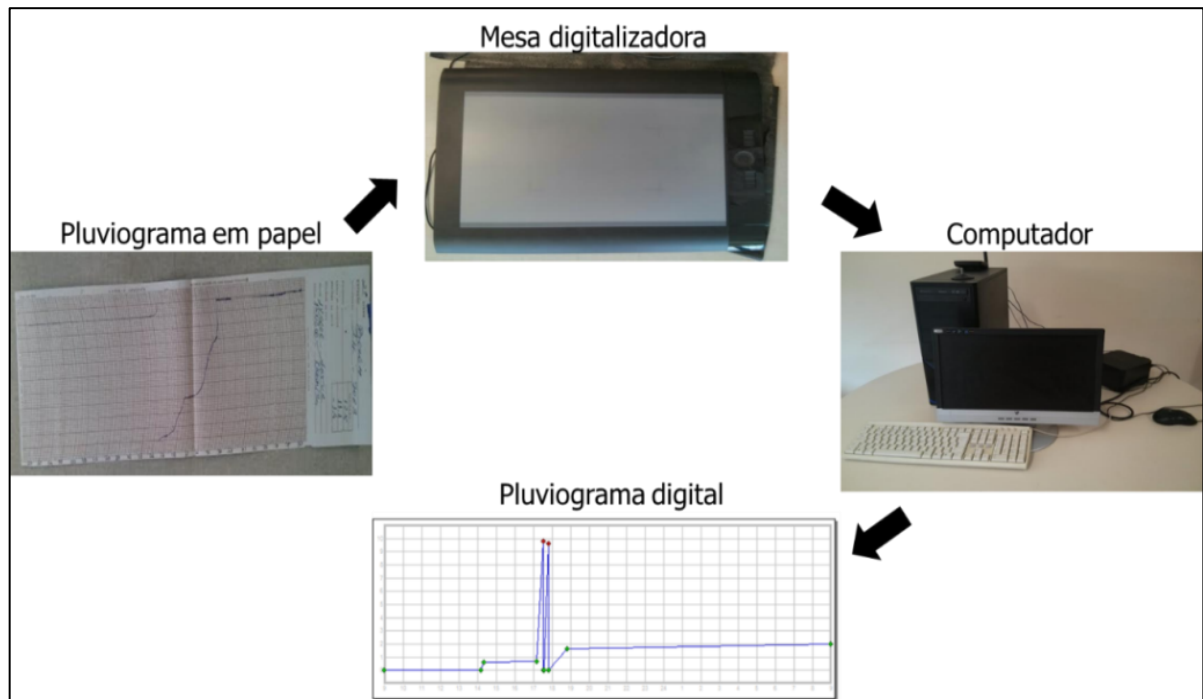
5.1 ETAPA 1 – SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS PLUVIOGRÁFICOS DOS EVENTOS DE CHUVAS OCORRIDOS NO PERÍODO DE 2001 A 2011

No estudo foram utilizados pluviogramas da estação operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada no Município de Belém (Zona Urbana), na Latitude - 1.43° e Longitude -48.43°, na altitude de 10 m e com código OMM 00082191, no período de janeiro de 2001 a dezembro de 2011.

A digitalização dos pluviogramas foi realizada por Melo et al. (2014), com uso de uma mesa digitalizadora acoplada em um computador e do Sistema para Digitalização de Pluviogramas HydroGraph 1.02, programa desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, através do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos – GPRH, que auxilia na digitalização e leitura de pluviogramas.

O procedimento de digitalização consistiu na introdução do pluviograma em papel na mesa digitalizadora, de sua demarcação digital, e seu processamento no software HydroGraph 1.02 (Figura 16).

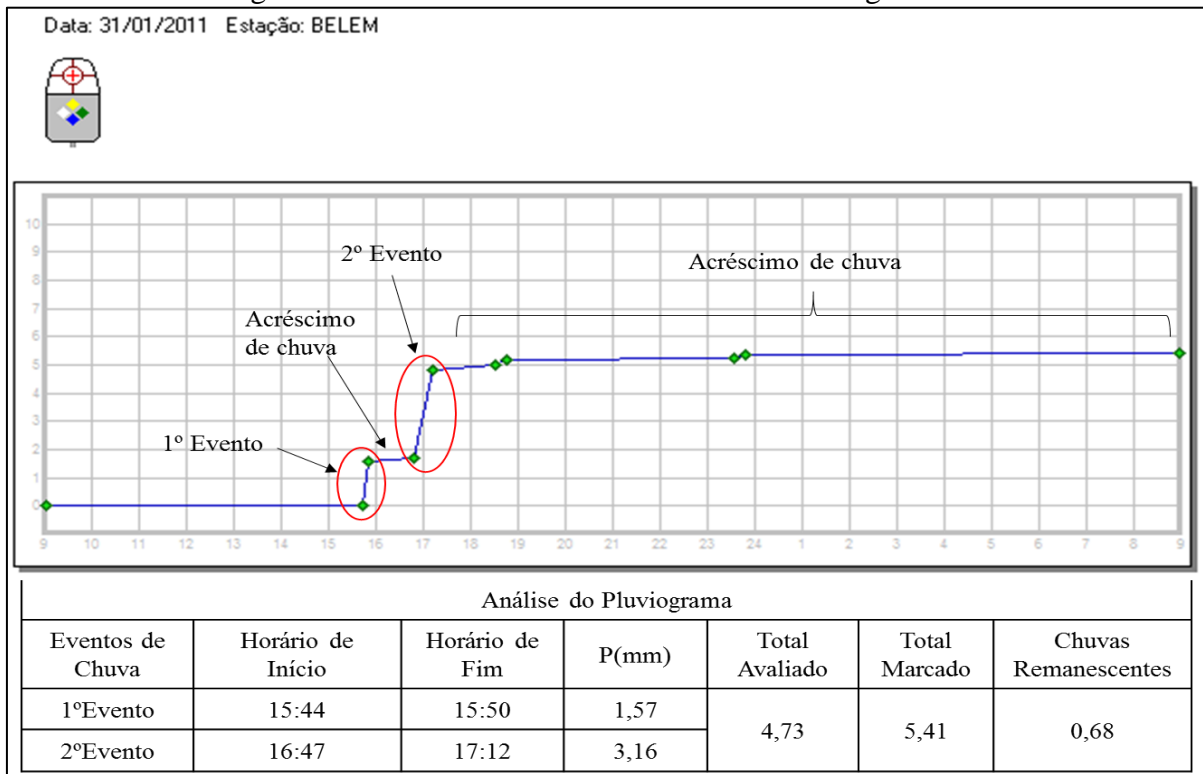
Figura 16 – Exemplificação do processo de digitalização dos pluviogramas.



Fonte: Adaptado de Melo et al. (2014).

Para a estruturação dos dados, foi inicialmente realizada a análise dos pluviogramas digitais, objetivando definir um critério para a extração das informações dos eventos de chuva ocorridos. Na referida análise foram observados pequenos acréscimos na lâmina de chuva em determinados gráficos, atribuídos principalmente a precipitação remanescente no aparelho que ao longo do dia é incorporada à medição (Figura 17). Estas pequenas variações são de difícil mensuração já que no decorrer de suas ocorrências, na maior parte dos casos, uma nova chuva é iniciada por isso não foram consideradas no trabalho.

Figura 17 – Análise do acréscimo de chuva ao longo do dia.



Fonte: Adaptado de Melo et al. (2014).

Para extração das informações dos pluviogramas adotou-se um horário de referência para contabilização do primeiro evento do dia, assim, visando à viabilidade do estudo, foi estabelecido como eventos de um dia qualquer, aqueles compreendidos de 9 horas da manhã de um dia presente até as 8 horas 59 minutos e 59 segundos da manhã de um dia posterior, perfazendo 24 horas de análise por pluviogramas. O horário escolhido coincide com o horário utilizado no eixo horizontal do papel empregado na estação pluviográfica avaliada, conforme apresentado na Figura 18.

Figura 18 – Visualização da amplitude temporal utilizada nos pluviogramas da estação avaliada.



Com utilização do software Excel[®], elaborou-se uma planilha com as informações referente aos eventos de chuvas ocorridos no período avaliado (2001 a 2011) sendo registrados, a data do evento, o horário de início e fim do evento e a lâmina precipitada.

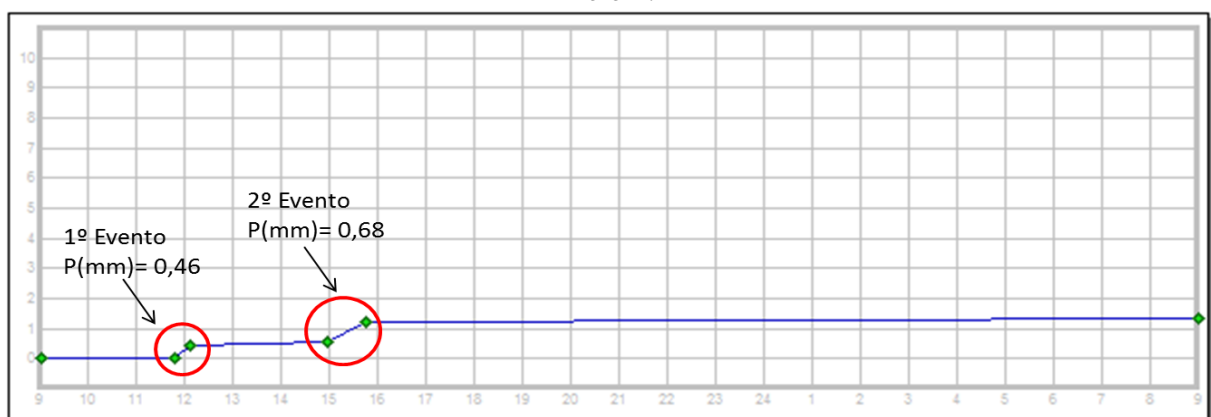
5.2 ETAPA 2 – ANÁLISE DOS EVENTOS OCORRIDOS E SUAS LÂMINAS, E IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS E DAS LÂMINAS DE CHUVA APROVEITÁVEL, DOS EVENTOS E DAS LÂMINAS DE CHUVA NÃO APROVEITÁVEL

A apresentação e análise preliminar da série foi realizada através da elaboração de gráficos comparativos e planilhas, contemplando os eventos ocorridos (EO), eventos aproveitáveis (EA), eventos não aproveitáveis (ENA), lâminas ocorridas (LO), lâminas aproveitáveis (LA) e lâminas não aproveitáveis (LNA).

A exemplificação de lâmina aproveitável e não aproveitável é apresentada na Figura 19, tendo como exemplo:

–No dia 02 de fevereiro de 2011, foram registrados dois eventos de chuva, ambos menores que 2 mm (ABNT, 2007). No contexto da análise proposta, estas lâminas de chuva seriam classificadas como ENA e LNA, já que foram menor que a lâmina de descarte adotada no trabalho (2 mm).

Figura 19 – Distribuição dos eventos de chuva no dia 2 de fevereiro de 2011 para a estação Belém.

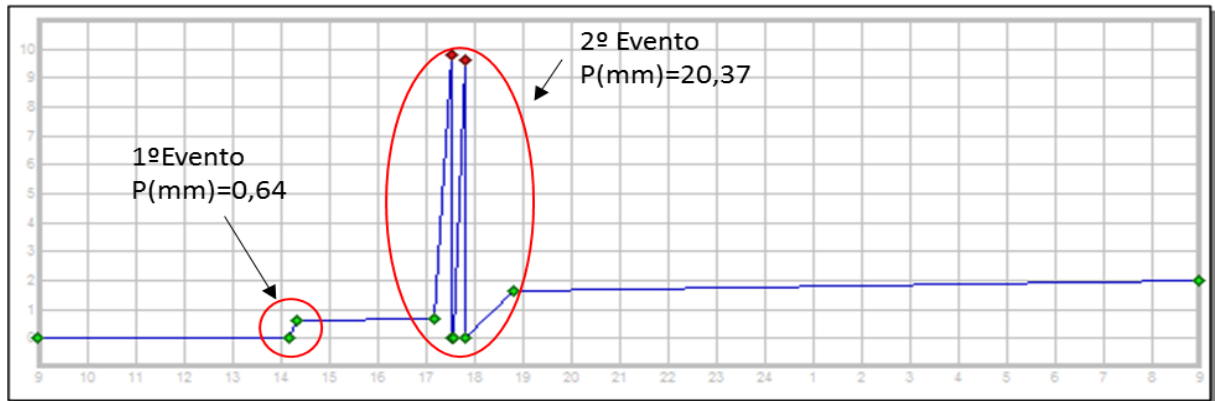


Fonte: Adaptado de Melo et al. (2014).

–No dia 9 de março de 2011, foram verificados dois eventos chuvosos, sendo que o primeiro gerou uma lâmina menor que 2 mm e o segundo maior que 2 mm

(Figura 20). Dessa forma, o primeiro evento e sua respectiva lâmina foram considerados ENA e LNA, já o segundo EA e LA.

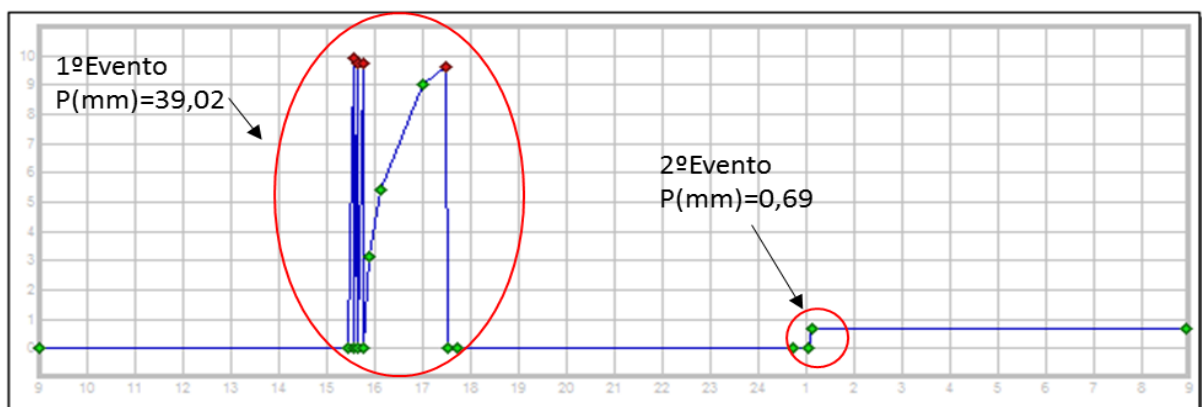
Figura 20 – Distribuição dos eventos de chuva no dia 9 de março de 2011 para a estação Belém.



Fonte: Adaptado de Melo et al. (2014).

–No dia 11 de março de 2011, foram verificados dois eventos de chuva, sendo que o primeiro gerou uma lâmina maior que 2 mm e o segundo menor que 2 mm (Figura 21). Neste dia o primeiro evento e sua respectiva lâmina (39,02 mm) foram considerados EA e LA, já o segundo, de lâmina 0,69 mm, foi considerado ENA e LNA.

Figura 21 – Distribuição dos eventos de chuva no dia 11 de março de 2011 para a estação Belém.



Fonte: Adaptado de Melo et al. (2014).

Objetivando testar a aderência da série de lâminas ocorridas, série de lâminas aproveitável e série de lâminas não aproveitável a uma distribuição Normal e definir o uso do teste de tendência (paramétrico ou não paramétrico), foi realizado o teste de normalidade de

Anderson-Darling (A-D), sendo considerado um nível de significância de 5% e grau de confiança de 95%. Para realização do teste A-D foi utilizado o *software* XLSTAT 2017. 01.

Para análise de tendência nas três séries (ocorrida, aproveitável e não aproveitável), foi aplicado o teste não paramétrico de Mann-Kendall (bicaudal), com nível de significância de 5% e grau de confiança de 95%, sendo utilizado o *software* XLSTAT 2017. 01 para realização dos cálculos.

Além de verificar a existência de tendência nas séries, o teste de Mann-Kendall serviu como base para justificar o uso do icc calculado (Etapa 3), ou seja, a não existência de tendência na série de precipitação gera indicativos da não variação do índice ao longo do tempo.

5.3 ETAPA 3 – DETERMINAÇÃO DE ÍNDICE DE CORREÇÃO DE CHUVA (ICC) APLICÁVEL AOS PROJETOS DE CAAC QUE UTILIZEM O DESCARTE DA PRIMEIRA CHUVA

Considerando a dificuldade de obtenção e sistematização de dados oriundos de pluviógrafos, a necessidade de otimização no dimensionamento dos projetos CAAC e objetivando a redução de custos, foi proposto no trabalho um índice de correção de chuva (icc), que se refere a um fator adimensional oriundo da relação entre a lâmina efetivamente aproveitável (LEA) e lâmina total ocorrida (LTO).

A LEA se trata da quantidade de água de chuva que chegará ao reservatório de acumulação, influenciando diretamente em seu dimensionamento após a retirada das lâminas não aproveitáveis (menores que o descarte) e os descartes provenientes de lâminas aproveitáveis (maiores que o descarte).

Para a determinação da LEA foi proposta a Equação 15, sendo os cálculos efetuados mensalmente.

$$LEA = \sum_{i=1}^n LO - \sum_{i=1}^n LNA - (NEA \cdot d) \quad (15)$$

em que:

LO: Lâminas ocorridas;

LNA: Lâminas não aproveitáveis;

NEA: Número de eventos aproveitáveis; e

d: descarte

Na análise proposta será utilizado 2 mm, lâmina de descarte recomendada pela NBR 15.527 (ABNT, 2007), porém, o cálculo poderá ser realizado para outros valores de d.

É importante observar que a ocorrência de chuva é um fenômeno aleatório, que o descarte é realizado no início da chuva assim, de todos os eventos aproveitáveis, foram retirados os volumes de descarte.

Para a determinação do icc foi proposta a Equação 16:

$$icc = \frac{LEA}{LTO} \quad (16)$$

em que:

icc : índice de correção de chuva

LEA: Lâmina efetivamente aproveitável

LTO: Lâmina total ocorrida

O icc apresenta a função de corrigir os dados de chuva provenientes de pluviômetros, ou seja, antes de introduzir a precipitação nos métodos de dimensionamento de reservatório, esta poderá ser multiplicada por um icc , o que reduzirá a chuva disponível para aproveitamento, ou seja, explicitará a lâmina efetivamente aproveitável.

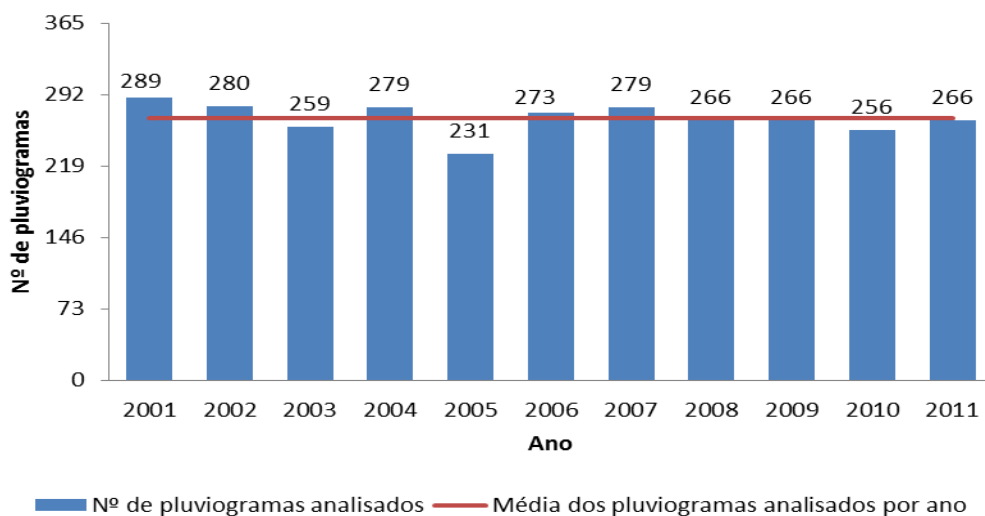
Foram calculados icc 's mensais sendo posteriormente realizado teste para verificação de normalidade (teste de Anderson-Darling) da distribuição de icc 's agrupados anualmente e sazonalmente. Objetivando observar a igualdade das medianas dos dados e escolher um icc representativo, foi aplicado o teste de variância de Kruskal-Wallis (Realizado no *Software BioEstat* versão 5.0). Assim, baseado nos achados dos testes, foi escolhido o icc mediano como representantes dos icc 's mensais e sazonais.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 ETAPA 1 – SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS PLUVIOGRÁFICOS DOS EVENTOS DE CHUVAS OCORRIDOS NO PERÍODO DE 2001 A 2011

Foram analisados 2944 pluviogramas digitais com registro de chuva de janeiro de 2001 a dezembro de 2011, em média 268 pluviogramas por ano, conforme apresentado na Figura 22.

Figura 22 – Quantitativo anual dos pluviogramas com registro de chuva no período de janeiro de 2001 a dezembro de 2011.



Após análise dos pluviogramas foi gerado um conjunto de dados no Microsoft Excel[®] conforme modelo da Figura 23, contendo 4.105 eventos de chuvas, destes, 2.545 (62%) classificados como EA e LA, sendo 1.560 (38%) classificados ENA e LNA.

Figura 23 – Exemplificação do conjunto de dados elaborado no trabalho.

Data	Horário do início do evento	Horário do fim do evento	Chuva (mm)	Classificação do evento
01/01/2001	14:12	14:21	0.55	ENA / LNA
01/01/2001	16:30	17:49	9.22	EA / LA
02/01/2001	14:42	15:07	1.44	ENA / LNA
02/01/2001	16:26	04:00	15.87	EA / LA
03/01/2001	13:16	13:28	1.14	ENA / LNA
03/01/2001	17:07	20:19	11.81	EA / LA
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
26/12/2011	15:39	15:49	0.55	ENA / LNA
27/12/2011	15:55	18:23	14.88	EA / LA
28/12/2011	17:00	17:09	0.67	ENA / LNA
29/12/2011	15:50	16:01	1.29	ENA / LNA

6.2 ETAPA 2 – ANÁLISE DOS EVENTOS OCORRIDOS E SUAS LÂMINAS, E IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS E DAS LÂMINAS DE CHUVA APROVEITÁVEL, DOS EVENTOS E DAS LÂMINAS DE CHUVA NÃO APROVEITÁVEL

A apresentação gráfica da série de lâminas de chuva ocorridas no período de 2001 a 2011 (Apêndice A) mostrou que o valor da média se manteve maior que mediana durante os 11 anos de análise demonstrando que a média apresenta maior sensibilidade à ocorrência de eventos extremos, sendo a mediana menos sensível a grandes variações. O gráfico da média móvel para 3 anos não apresentou comportamento de tendência de crescimento ou decréscimo.

A observação dos gráficos Box Plot (Figura 24, Figura 25 e Figura 26) que apresentam as medianas, o primeiro e o terceiro quartil das lâminas dos eventos ocorridos (comparando-se meses iguais) e do gráfico de dispersão que mostra as medianas das lâminas dos eventos ocorridos considerando a sequência temporal dos meses durante os 11 anos avaliados (Figura 27) demonstrou a existência de aproximação entre as medianas das precipitações, indicando que a referida medida de tendência central, pode ser utilizada como alternativa para sintetizar séries com grande número de dados.

Figura 24 – Box Plot da distribuição das lâminas dos eventos ocorridos no período de 2001 a 2011, para os meses de janeiro a abril.

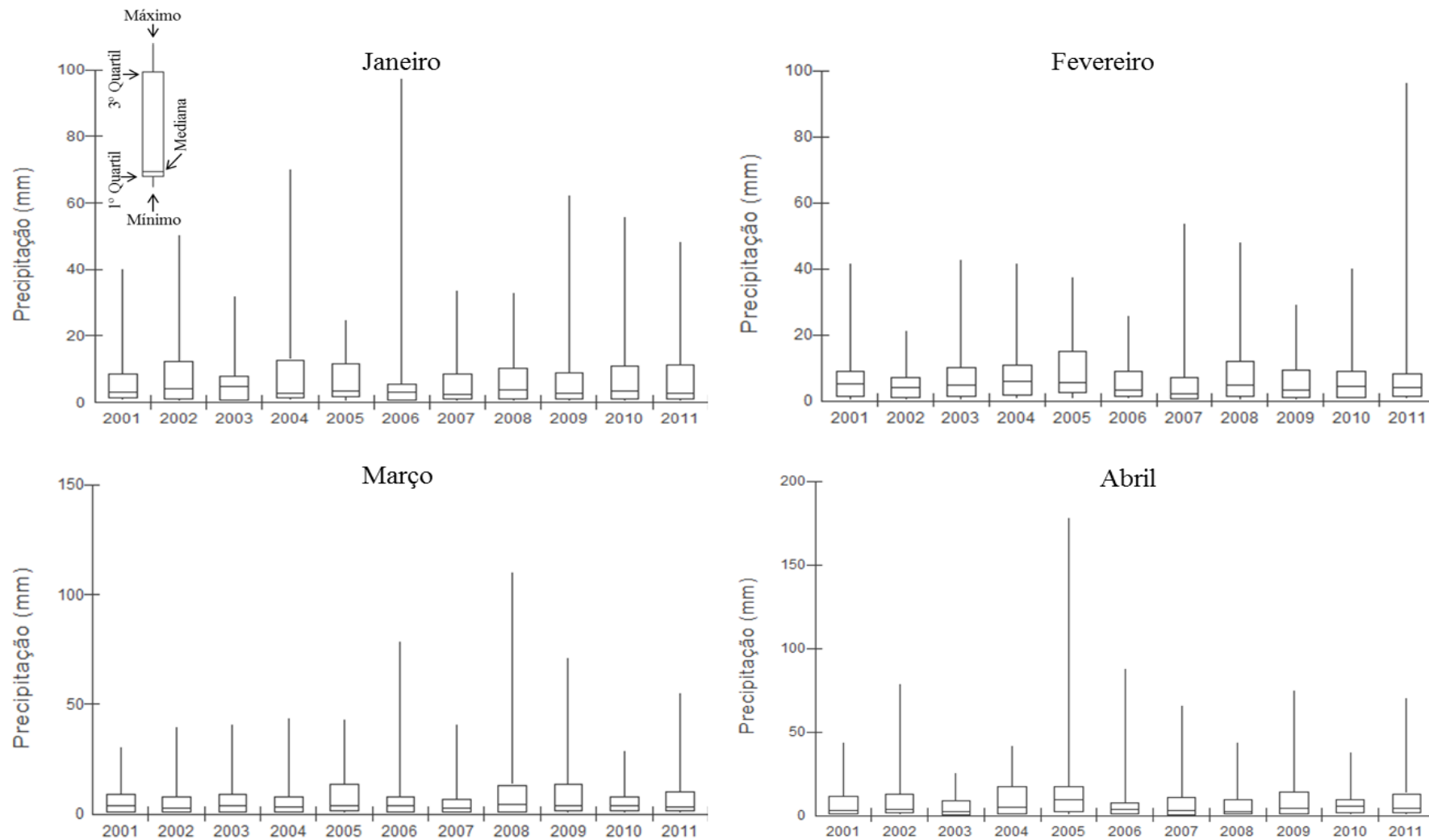


Figura 25 – Box Plot da distribuição das lâminas dos eventos ocorridos no período de 2001 a 2011, para os meses de maio a agosto.

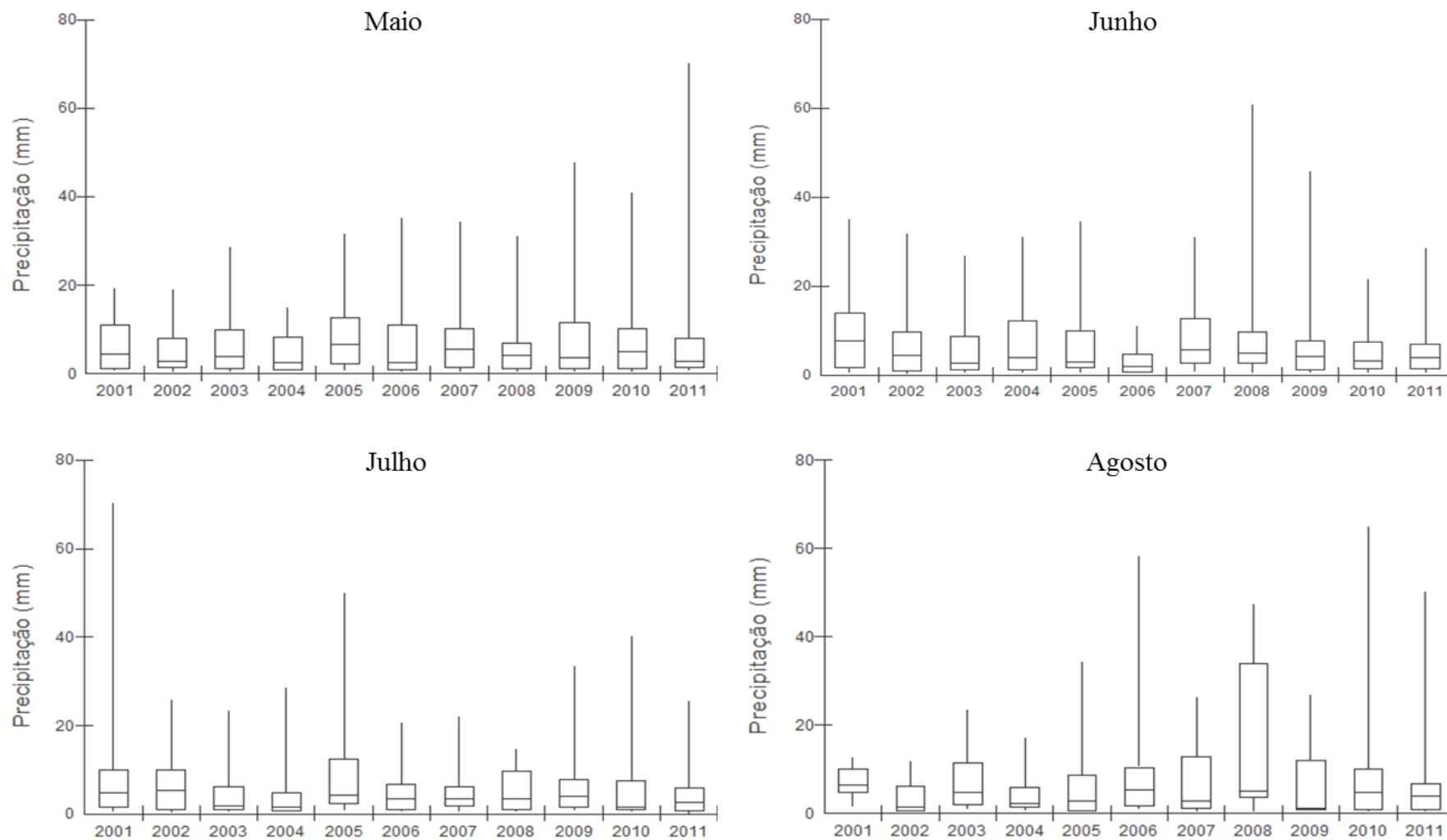


Figura 26 – Box Plot da distribuição das lâminas dos eventos ocorridos no período de 2001 a 2011, para os meses de setembro a dezembro.

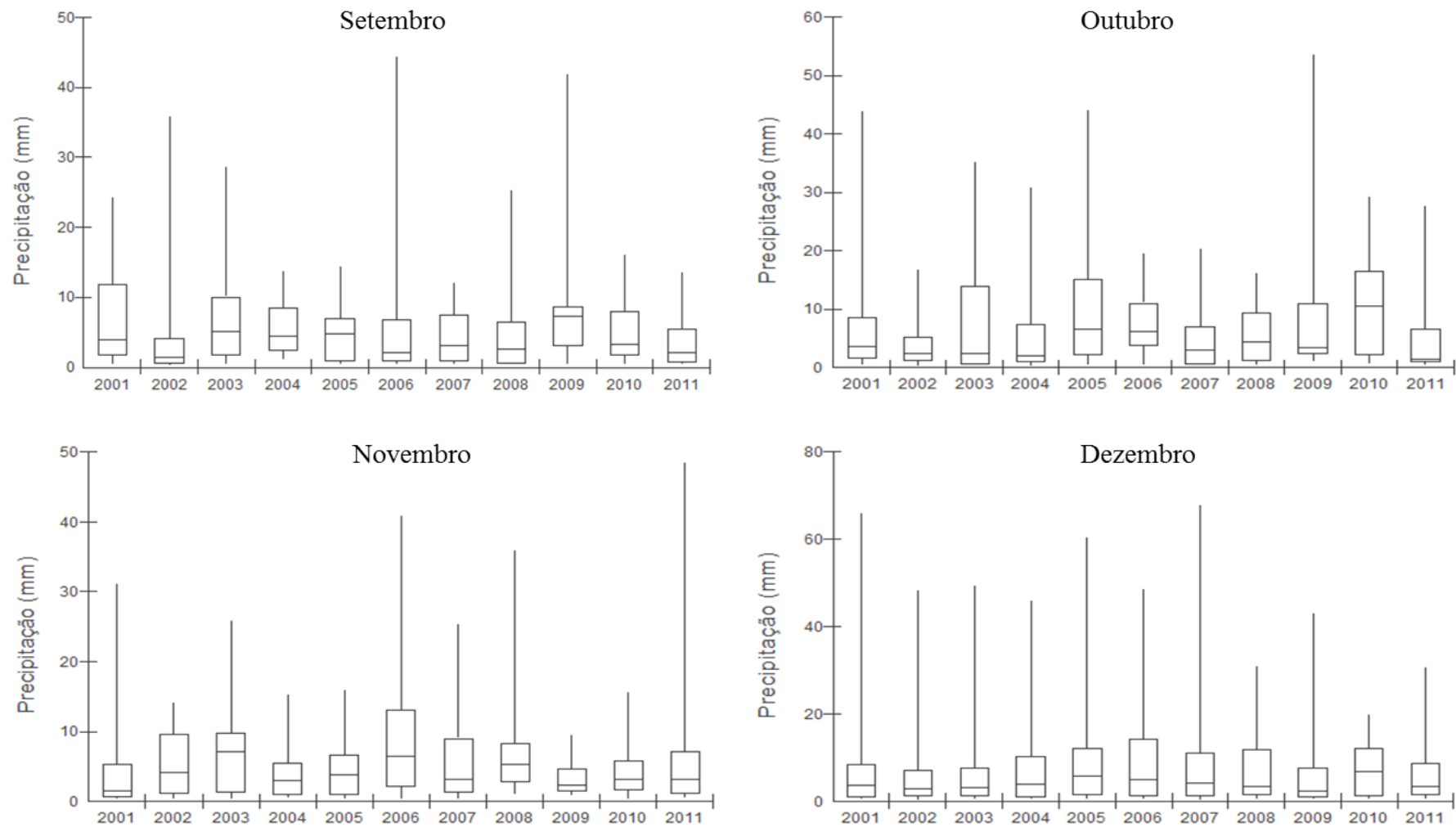
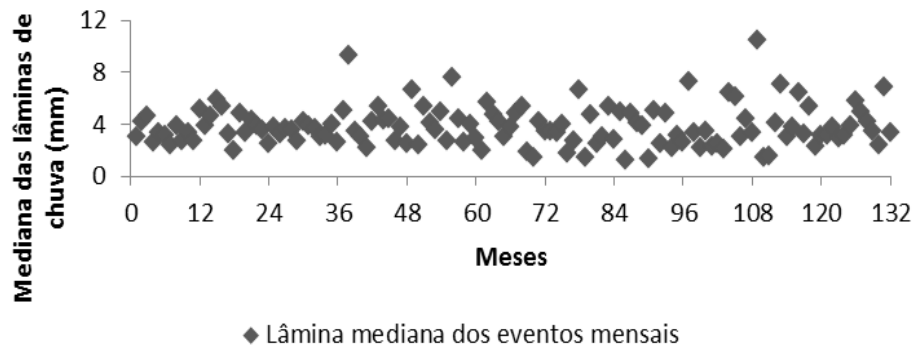


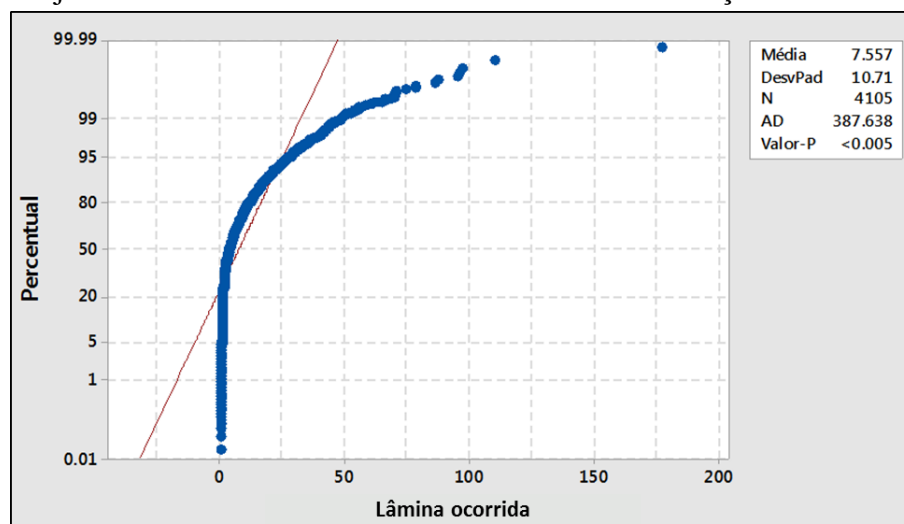
Figura 27 – Dispersão das lâminas medianas corridas durante 132 meses da série de dados.



O resultado do teste de aderência de Anderson-Darling (Figura 28) mostrou que a distribuição das LO não segue uma curva normal (hipótese alternativa), sendo encontrado um p-valor abaixo de 0,005, menor que o grau o grau de confiança do teste (5%), o que significa que, com 95% de confiança a série de chuva não se adere uma distribuição gaussiana, este resultado indica que a aplicação de testes não paramétricos para verificação de tendência são mais recomendados para avaliação da série histórica.

Os achados do teste A-D, seguem os resultados encontrados no trabalho de Alves et al. (2013), onde foi concluído que a distribuição das lâminas de chuva na cidade Cuiabá, Estado de Mato Grosso, Brasil, não se aproxima de uma distribuição Gaussiana.

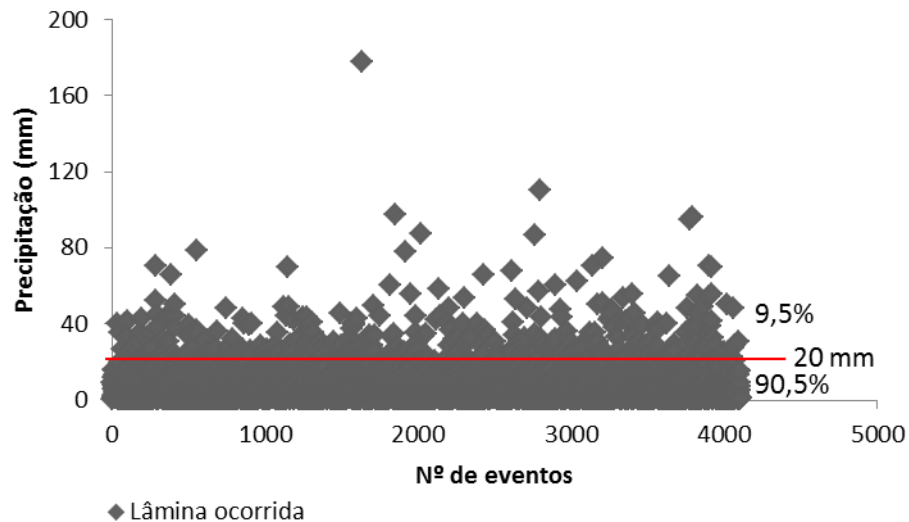
Figura 28 – Gráfico de probabilidade da aderência da distribuição das lâminas ocorridas de janeiro de 2001 a dezembro de 2011 a uma distribuição normal.



A apresentação da dispersão das lâminas ocorridas (Figura 29) revelou a ocorrência de grande variabilidade nos dados durante os 11 anos de análise (0,08 mm a

177,74 mm), porém foi observado que 90,5% dos eventos, apresentaram lâminas inferiores a 20 mm, sendo que 9,5% apresentam lâminas superiores a 20 mm.

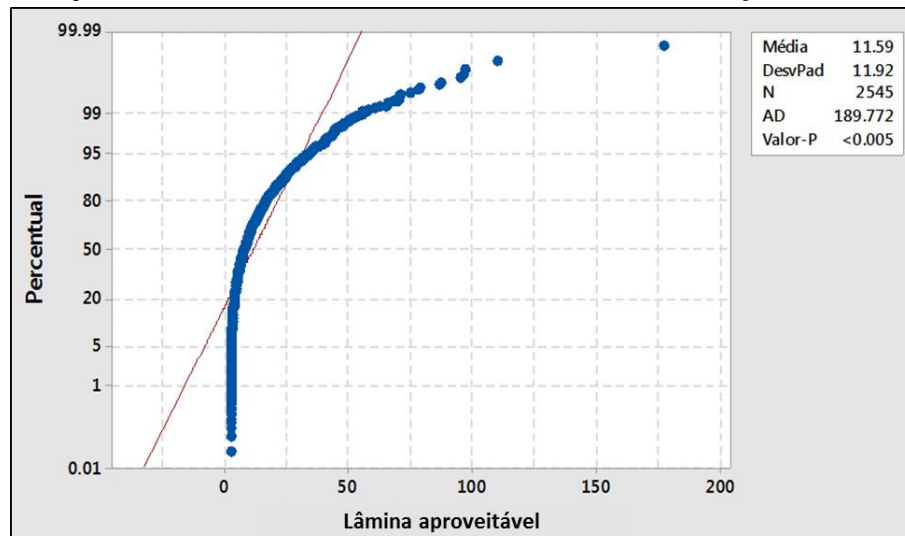
Figura 29 – Dispersão das lâminas ocorridas no período de 2001 a 2011.



Após aplicação do teste de Mann-Kendall (bicaudal) verificou-se que não há tendência significativa de crescimento ou decréscimo tanto da série de LO, sendo p-valor calculado igual 0,707. Considerando o nível de significância de 5%, tem-se a confirmação da hipótese nula (não há tendência na série), dentro do intervalo dos valores críticos de $\pm 1,96$ com extremidades iguais a $\pm 0,025$. O resultado do teste Mann-Kendall foi favorável a determinação do ICC, já que a não existência de crescimento ou decréscimo na série indicam a possibilidade de menor variação no índice ao longo do tempo.

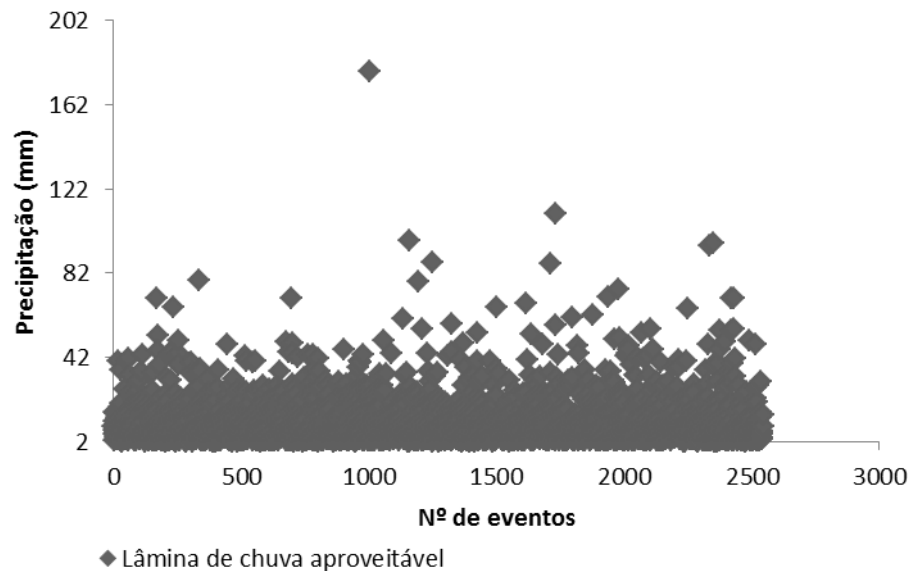
O resultado do teste de aderência de Anderson-Darling (Figura 30) mostrou que a distribuição das LA não segue uma distribuição Gaussiana, sendo encontrado um p-valor menor que 0,005, aceitando-se a hipótese alternativa, o que significa que para análise de tendência da série os testes não paramétricos são mais recomendados.

Figura 30 – Gráfico de probabilidade da aderência da distribuição das lâminas aproveitáveis de janeiro de 2001 a dezembro de 2011 a uma distribuição normal.



Apesar das características do gráfico da série de LA (Figura 31) se assemelharem as da série de LO (Figura 30), do total de eventos ocorridos ao longo do período de estudo, apenas 68% ultrapassaram a lâmina de descarte (2mm), assim, 38% dos eventos foram demandados no descarte da primeira chuva.

Figura 31 – Dispersão das lâminas aproveitáveis período de 2001 a 2011.

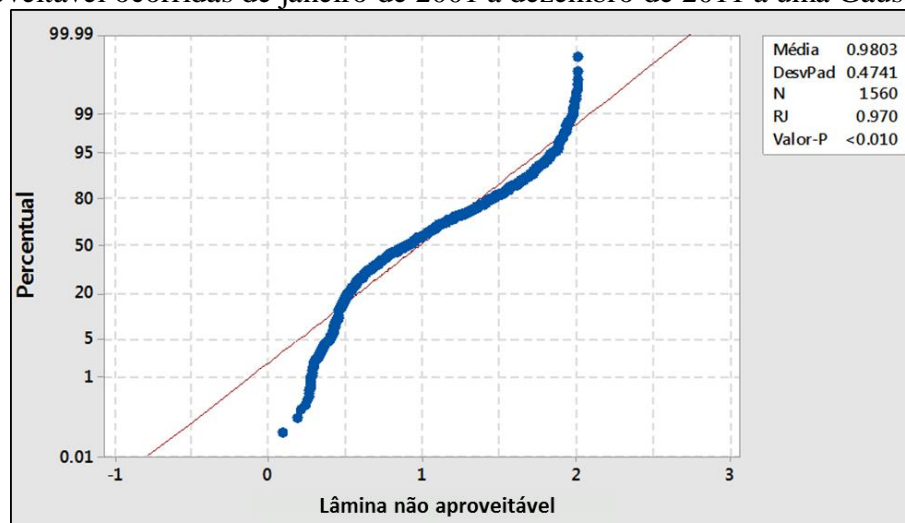


Com aplicação do teste de Mann-Kendall verificou-se a não existência de tendência significativa (hipótese nula) para a série histórica de LA, sendo p-valor calculado igual a 0,619, maior que significância do teste (0,025 - teste bicaudal), aceitando-se a hipótese de nulidade. O resultado do teste Mann-Kendall foi favorável a determinação do icc, já que a

não existência de crescimento ou decrescimento na série indicam a possibilidade de menor variação no índice ao longo do tempo.

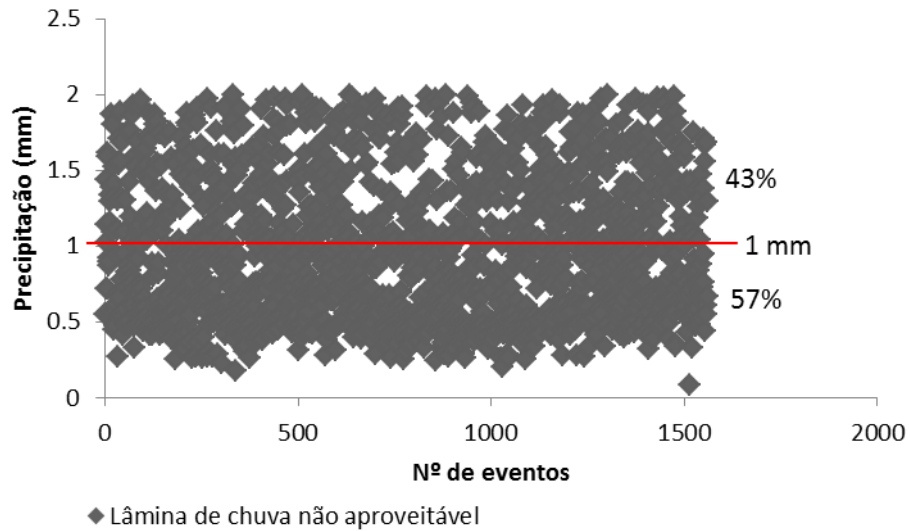
O resultado do teste de aderência de Anderson-Darling (Figura 32) mostrou que a distribuição das LNA não segue uma distribuição Gaussiana (hipótese alternativa), sendo encontrado um p-valor menor que o nível de significância (5%), aceitando-se a hipótese alternativa, o que significa que para realização de análise de tendência na série os testes não paramétricos são mais recomendados.

Figura 32 – Gráfico de probabilidade da aderência da distribuição das lâminas de chuva não aproveitável ocorridas de janeiro de 2001 a dezembro de 2011 a uma Gaussiana.



Considerando as observações da dispersão da série de LNA (Figura 33), dos 1560 eventos ocorridos, 57% são menores que 1 mm o que sugere que mesmo considerando um descarte menor do que o usado no trabalho (2 mm), há relevância na análise de eventos não aproveitáveis. É importante ressaltar que do total de eventos ocorridos no período de 2001 a 2011, aproximadamente 38% são menores ou iguais ao descarte (2 mm), ou seja, não contribuirão na lâmina de chuva utilizada no dimensionamento dos reservatórios.

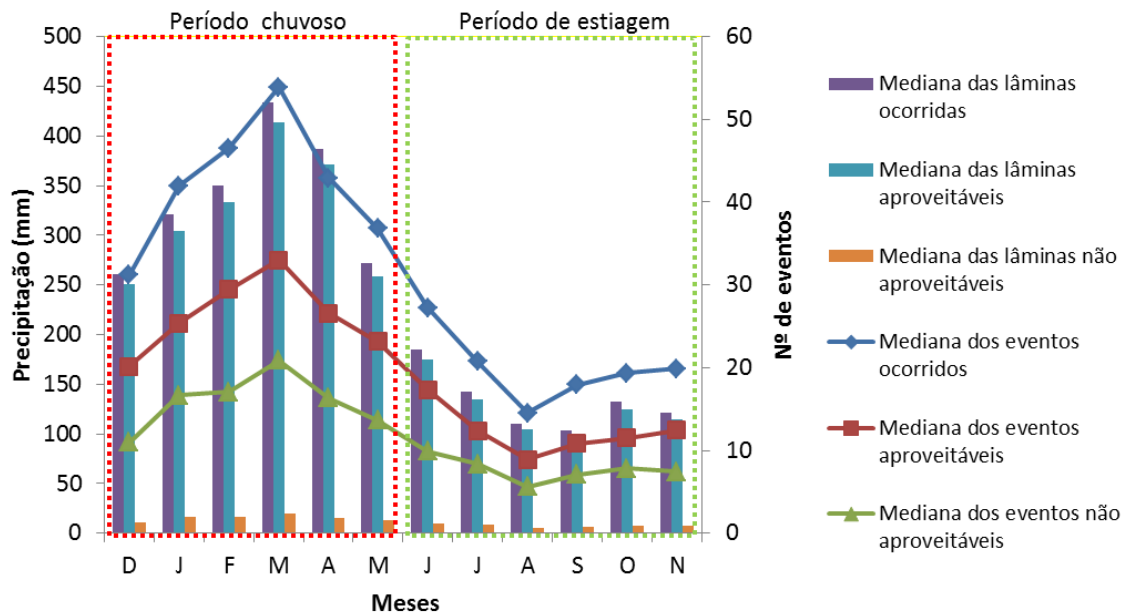
Figura 33 – Dispersão das lâminas não aproveitáveis no período de 2001 a 2011.



Após aplicação do teste de Mann-Kendall (bicaudal) verificou-se que não há tendência significativa de crescimento ou decrescimento na série de LNA (p-valor: 0,166), considerando o nível de significância de 5%, o que confirma a hipótese nula, dentro do intervalo dos valores críticos de ± 1.96 com extremidades iguais a ± 0.025 . O resultado do teste Mann-Kendall foi favorável a determinação do icc, já que a não existência de crescimento ou decrescimento na série indica a possibilidade de menor variação no índice ao longo do tempo.

A mediana das lâminas mensais (com agrupamento em meses iguais) confirmaram a existência de um período mais chuvoso (dezembro a maio) e outro de estiagem (junho a novembro), conforme apresentado na Figura 34. Os resultados mostraram que há um comportamento semelhante no crescimento e/ou decrescimento das lâminas precipitadas e número de eventos considerando o período mais chuvoso, por outro lado, no período de estiagem, nos meses de setembro e novembro, o aumento e/ou redução das lâminas precipitadas não forma acompanhados por crescimento e/ou decrescimento do número de eventos, ou seja, nos referidos meses houve muitas ocorrências de eventos com pequenas lâminas.

Figura 34 – Medianas das lâminas mensais (agrupamento dos dados em meses iguais) aproveitáveis e não aproveitáveis agrupados sazonalmente no período de 2001 a 2011.



Na Tabela 2 é apresentado a síntese dos dados de precipitação no período de 2001 a 2011, agrupados mensalmente, sendo apresentados os eventos ocorridos (EO), eventos aproveitáveis (EA), eventos não aproveitáveis (ENA), lâminas ocorridas (LO), lâminas aproveitáveis (LA) e lâmina não aproveitável (LNA).

Durante os 11 anos de análise foram identificados o maior número de eventos de chuva no mês de março (em média 54 eventos e lâmina média de 434 mm) o que perfaz aproximadamente 2 eventos por dia, sendo que no mês de agosto foram registrado os menores quantitativos de eventos (em média 15 eventos e lâmina média de 110 mm) perfazendo 1 evento a cada 2 dias. Portanto para o aproveitamento de água de chuva, os resultados demonstram que Belém não possui períodos totalmente secos, possibilitando um aproveitamento de água de chuva durante o ano todo.

Tabela 2 – Síntese da série de precipitação no período de 2001 a 2011.

Ano	Janeiro						Fevereiro						Março						Abril					
	EO	EA	ENA	LO	LA	LNA	EO	EA	ENA	LO	LA	LNA	EO	EA	ENA	LO	LA	LNA	EO	EA	ENA	LO	LA	LNA
	Quantidade			(mm)			Quantidade			(mm)			Quantidade			(mm)			Quantidade			(mm)		
2001	55	33	22	356	330	25	46	30	16	354	340	14	59	36	23	424	403	20	52	29	23	396	373	23
2002	42	27	15	377	364	13	45	27	18	237	221	16	47	25	22	339	319	20	34	23	11	366	355	12
2003	33	20	13	213	201	11	52	34	18	408	387	21	59	36	23	398	378	20	48	27	21	254	238	16
2004	33	20	13	346	331	15	54	39	15	436	419	17	59	40	19	474	459	16	38	23	15	394	380	15
2005	32	22	10	237	227	10	31	24	7	304	296	8	36	24	12	370	356	14	35	27	8	530	524	6
2006	42	26	16	328	314	13	39	24	15	249	231	18	72	41	31	565	537	28	47	28	19	391	371	20
2007	37	21	16	223	208	15	54	26	28	364	341	23	65	37	28	369	344	25	44	26	18	366	353	13
2008	59	38	21	451	433	18	51	32	19	395	378	17	40	24	16	516	501	15	48	24	24	333	309	24
2009	47	24	23	308	282	26	59	34	25	387	362	25	60	39	21	596	576	21	40	24	16	407	393	14
2010	41	23	18	369	349	20	43	27	16	315	301	14	42	28	14	247	232	14	44	31	13	369	355	14
2011	41	25	16	327	311	16	38	27	11	405	395	10	54	33	21	473	450	23	42	30	12	448	434	13
MÁX	59	38	23	451	433	26	59	39	28	436	419	25	72	41	31	596	576	28	52	31	24	530	524	24
MÍN	32	20	10	213	201	10	31	24	7	237	221	8	36	24	12	247	232	14	34	23	8	254	238	6
MED	41	24	16	328	314	15	46	27	16	364	341	17	59	36	21	424	403	20	44	27	16	391	371	14

(continua...)

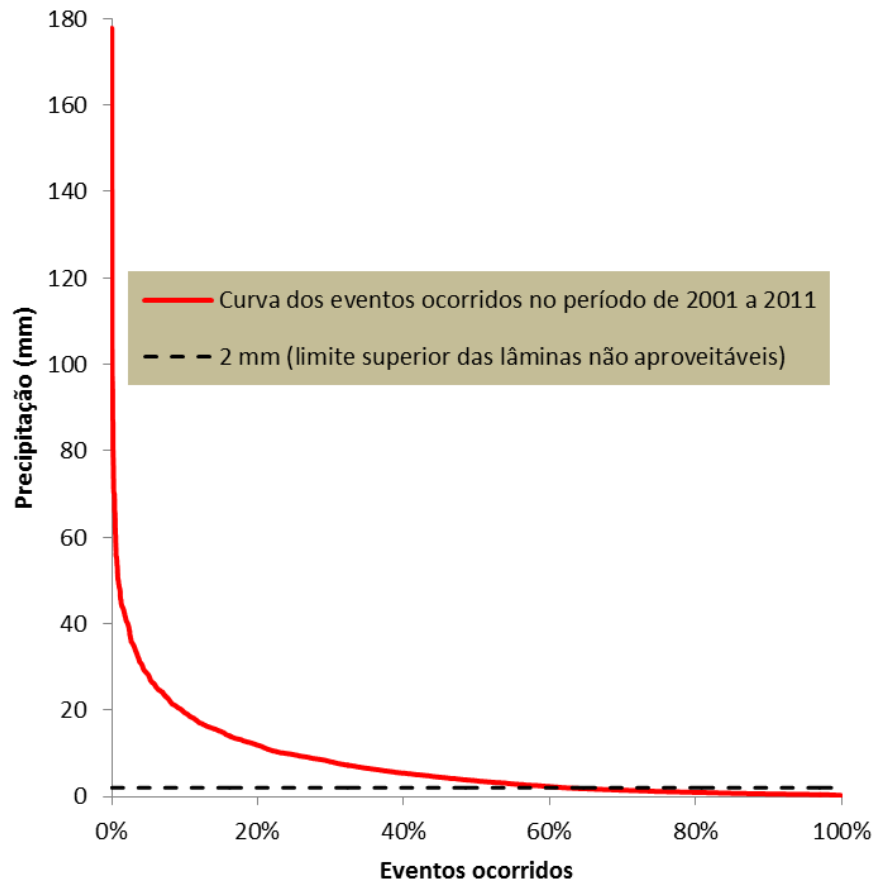
Ano	Maio						Junho						Julho						Agosto					
	EO	EA	ENA	LO	LA	LNA	EO	EA	ENA	LO	LA	LNA	EO	EA	ENA	LO	LA	LNA	EO	EA	ENA	LO	LA	LNA
	Quantidade			(mm)			Quantidade			(mm)			Quantidade			(mm)			Quantidade			(mm)		
2001	37	23	14	239	225	14	28	19	9	245	236	9	27	19	8	321	313	8	7	6	1	50	49	1
2002	34	20	14	159	144	15	35	19	16	235	220	15	21	14	7	161	155	6	13	6	7	51	45	5
2003	29	19	10	203	195	8	23	13	10	116	107	10	17	8	9	98	89	9	16	12	4	119	114	5
2004	23	13	10	112	102	10	21	13	8	168	160	9	23	8	15	138	123	15	24	13	11	101	87	14
2005	43	32	11	374	361	13	22	14	8	179	171	8	14	11	3	150	145	4	12	6	6	81	78	4
2006	42	23	19	285	270	16	26	13	13	76	66	10	18	12	6	98	93	4	20	14	6	205	198	8
2007	35	24	11	231	220	10	26	20	6	211	204	7	22	15	7	109	101	8	15	10	5	121	117	4
2008	37	26	11	264	256	8	28	22	6	254	248	7	20	11	9	108	98	10	6	5	1	105	105	0
2009	51	31	20	444	422	22	32	21	11	228	218	10	19	12	7	144	134	9	10	4	6	74	68	6
2010	39	23	16	305	287	18	24	15	9	121	111	10	18	8	10	111	100	11	15	9	6	161	155	5
2011	35	21	14	373	357	17	35	22	13	195	182	13	29	18	11	136	128	8	22	13	9	142	133	8
MÁX	51	32	20	444	422	22	35	22	16	254	248	15	29	19	15	321	313	15	24	14	11	205	198	14
MÍN	23	13	10	112	102	8	21	13	6	76	66	7	14	8	3	98	89	4	6	4	1	50	45	0
MED	37	23	14	264	256	14	26	19	9	195	182	10	20	12	8	136	123	8	15	9	6	105	105	5

(continua...)

Ano	Setembro						Outubro						Novembro						Dezembro					
	EO	EA	ENA	LO	LA	LNA	EO	EA	ENA	LO	LA	LNA	EO	EA	ENA	LO	LA	LNA	EO	EA	ENA	LO	LA	LNA
	Quantidade			(mm)			Quantidade			(mm)			Quantidade			(mm)			Quantidade			(mm)		
2001	19	13	6	134	127	7	23	14	9	175	164	11	20	7	13	93	80	13	25	17	8	233	227	6
2002	16	6	10	92	83	9	26	14	12	117	105	12	27	18	9	159	150	9	36	22	14	270	257	14
2003	20	14	6	152	146	7	16	8	8	136	130	7	20	13	7	141	134	7	31	20	11	252	241	11
2004	31	18	13	134	121	13	22	11	11	138	127	11	16	11	5	70	66	4	20	12	8	182	174	8
2005	21	15	6	104	100	4	18	13	5	176	171	5	21	11	10	94	84	10	42	29	13	390	376	14
2006	11	6	5	81	77	4	16	13	3	125	121	4	26	20	6	235	231	4	49	34	15	441	428	13
2007	20	10	10	88	78	10	31	19	12	145	136	9	20	12	8	115	106	9	40	25	15	403	388	15
2008	16	9	7	93	87	6	18	9	9	105	95	10	14	12	2	119	116	2	19	11	8	159	148	11
2009	13	10	3	121	118	3	11	8	3	113	109	4	10	5	5	37	30	7	30	18	12	200	188	12
2010	15	10	5	77	71	6	11	8	3	119	116	3	22	13	9	102	91	11	29	20	9	205	196	8
2011	15	8	7	57	51	5	21	10	11	107	96	11	23	15	8	174	166	8	22	14	8	138	130	8
MÁX	31	18	13	152	146	13	31	19	12	176	171	12	27	20	13	235	231	13	49	34	15	441	428	15
MÍN	11	6	3	57	51	3	11	8	3	105	95	3	10	5	2	37	30	2	19	11	8	138	130	6
MED	16	10	6	93	87	6	18	11	9	125	121	9	20	12	8	115	106	8	30	20	11	233	227	11

Na Figura 35 é apresentado a curva que relaciona o percentual de eventos ocorridos e as lâminas ocorridas no período de 2001 a 2011.

Figura 35 – Curva que relaciona o percentual de eventos ocorridos e as lâminas ocorridas no período de 2001 a 2011.



Apesar do número de eventos descartados representarem 38% do total de eventos ocorridos, corresponde a apenas 5% do total precipitado (em milímetro), porém, considerando o descarte de 2 mm de cada evento aproveitável, há um acréscimo de 17% na lâmina descartada, correspondendo a 22% do total precipitado.

6.3 ETAPA 3 – DETERMINAÇÃO DE ÍNDICE DE CORREÇÃO DE CHUVA (ICC) APLICÁVEL AOS PROJETOS DE CAAC QUE UTILIZEM O DESCARTE DA PRIMEIRA CHUVA

Após aplicação das equações 15 e 16, e considerando o cálculo mensal dos dados foram gerados 132 icc's (Tabela 3), que variaram de 0,53 (em junho de 2006) a 0,90 (em agosto de 2008), ou seja, do total precipitado no mês de junho de 2006, 47% do volume gerado seria demandado na lavagem do sistema, e do total precipitado no mês de agosto de 2008, 10% do volume gerado seria demandado no descarte da primeira chuva.

Tabela 3 – Distribuição de icc's mensais no período de 2001 a 2011.

Meses	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Janeiro	0.74	0.82	0.76	0.84	0.77	0.80	0.75	0.79	0.76	0.82	0.80
Fevereiro	0.79	0.71	0.78	0.78	0.82	0.74	0.79	0.79	0.76	0.78	0.84
Março	0.78	0.79	0.77	0.80	0.83	0.81	0.73	0.88	0.83	0.72	0.81
Abril	0.79	0.84	0.72	0.85	0.89	0.81	0.82	0.78	0.85	0.79	0.84
Maiο	0.75	0.65	0.77	0.68	0.80	0.78	0.75	0.77	0.81	0.79	0.84
Junho	0.81	0.77	0.69	0.79	0.80	0.53	0.78	0.80	0.77	0.67	0.71
Julho	0.86	0.79	0.74	0.78	0.82	0.71	0.65	0.71	0.77	0.76	0.68
Agosto	0.73	0.66	0.76	0.61	0.81	0.83	0.80	0.90	0.81	0.86	0.76
Setembro	0.75	0.77	0.77	0.64	0.67	0.80	0.66	0.75	0.81	0.66	0.62
Outubro	0.78	0.66	0.83	0.76	0.82	0.76	0.68	0.73	0.82	0.84	0.71
Novembro	0.71	0.72	0.76	0.63	0.66	0.81	0.71	0.78	0.54	0.64	0.78
Dezembro	0.83	0.79	0.80	0.82	0.82	0.82	0.84	0.79	0.76	0.76	0.74

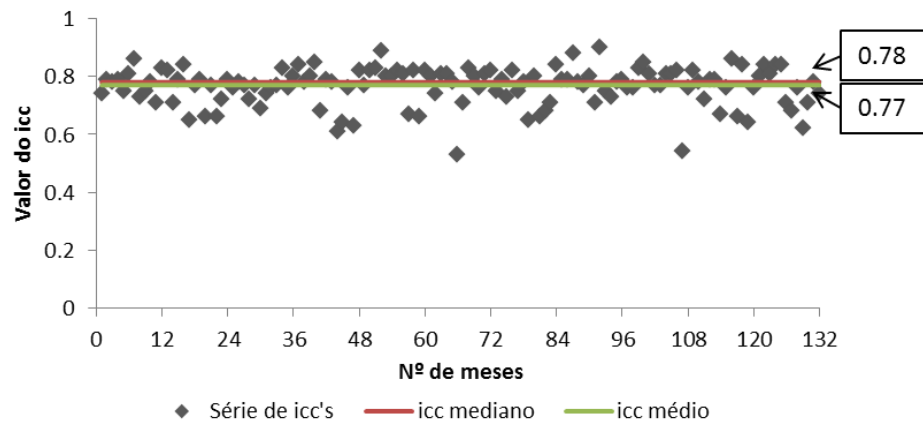
Os resultados do teste de normalidade de Anderson-Darling (Tabela 4 e Apêndice B) mostraram que três grupos anuais de icc's se aderem a uma distribuição Gaussiana, justificando o uso de testes não paramétricos para a análise de variância.

Tabela 4 – Resultados do teste de aderência de Anderson-Darling para os icc's agrupados anualmente.

Ano	p-valor calculado	Hipótese aceita
2001	0.921	Nula
2002	0.147	Nula
2003	0.478	Nula
2004	0.061	Nula
2005	0.007	Alternativa
2006	<0.005	Alternativa
2007	0.824	Nula
2008	0.106	Nula
2009	<0.005	Alternativa
2010	0.415	Nula
2011	0.574	Nula

A análise de medidas de tendência central (Figura 36) mostrou que a distribuição de icc's possui média e mediana próximas, sendo, respectivamente, 0,77 e 0,78, porém como três das distribuições de icc's se aderem a uma distribuição gaussiana, aplicou-se o teste de variância não paramétrico de Kruskal-Wallis, onde se verificou a homogeneidade das medianas (hipótese nula), sendo p-valor calculado 0,5802, maior que o nível de significância do teste (0,05).

Figura 36 – Dispersão de icc's mensais no período de 2001 a 2011.



Baseados nos resultados do teste de Kruskal-Wallis é proposto neste trabalho o uso do icc mediano (0,78) como representante da distribuição. Desta forma, infere-se que do total do volume precipitado na área de estudo, 78% chegará efetivamente no reservatório, levando em consideração os projetos CAAC que utilizem o descarte da primeira chuva de 2 mm.

Considerando a precipitação média anual do município de Belém (2.834 mm), após aplicação do índice há uma redução de 623,48 mm, o que corresponde a 22% da lâmina total.

Considerando a distribuição de icc's agrupados sazonalmente, os achados do teste de Anderson-Darling (Tabela 5, Apêndices C e D) mostraram que dois dos grupos de icc's no período chuvoso e dois do período de estiagem não se aderiram a uma distribuição Gaussiana, indicando a aplicação de testes não paramétricos para a análise de variância.

Tabela 5 – Resultados do teste de aderência de Anderson-Darling para os icc's agrupados sazonalmente.

Ano	p-valor calculado (período chuvoso)	Hipótese aceita	p-valor calculado (período de estiagem)	Hipótese aceita
2001	0.594	Nula	0.867	Nula
2002	0.366	Nula	0.150	Nula
2003	0.508	Nula	0.521	Nula
2004	0.126	Nula	0.096	Nula
2005	0.491	Nula	0.024	Alternativa
2006	0.05	Alternativa	0.071	Nula
2007	0.296	Nula	0.332	Nula
2008	0.006	Alternativa	0.381	Nula
2009	0.101	Nula	0.006	Alternativa
2010	0.394	Nula	0.217	Nula
2011	0.124	Nula	0.798	Nula

Como não houve aderência de todos os grupos de icc's do período chuvoso e do período menos chuvoso a uma distribuição normal, foi aplicado o teste de variância de Kruskal-Wallis para verificação das igualdades das medianas dos agrupamentos.

Para o período chuvoso, os resultados do teste de variância (p-valor igual 0,3764) indicaram a igualdade das medianas dos grupos, aceitando-se a hipótese nula, sendo a igualdade das medianas confirmada no teste aplicado aos grupos de icc do período menos chuvoso (p-valor igual a 0,5713).

Considerando os resultados do teste de Kruskal-Wallis, foi proposto o uso de um icc mediano igual a 0,79 para o período chuvoso (dezembro a maio), sendo proposto um icc mediano para o período de estiagem de 0,76, ou seja, no período chuvoso será descartado 21% do total da lâmina precipitada, e no período de estiagem o descarte aumentará para 24%.

7. CONCLUSÕES

A sistematização de dados pluviográficos dos eventos de chuva proporcionou a identificação de eventos que são demandados no sistema de descarte da primeira chuva, pois, geram lâminas menores ou iguais a lâmina de descarte utilizada em projetos de captação e aproveitamento de água pluvial, representando 38% em relação ao total de eventos ocorridos, considerando o descarte de 2 mm.

Os resultados obtidos no teste de Anderson-Darling na série de lâminas ocorridas, lâminas aproveitáveis e lâminas não aproveitáveis, subsidiaram a escolha do teste de tendência, assim, como todas as séries avaliadas não se aderiram a uma distribuição Gaussiana optou-se pela utilização do teste não paramétrico de Mann-Kendall.

Observou-se que a série de lâminas ocorridas, lâminas aproveitáveis e lâminas não aproveitáveis não apresentaram tendência de aumento ou redução ao longo tempo, o que favoreceu aos índices de correção de chuva propostos no estudo, que não tenderão à variação.

A análise da série histórica pluviográfica de lâminas de chuva mostrou que Belém apresenta um grande potencial para aproveitamento de água de chuva, sendo identificado um período mais chuvoso e outro menos chuvoso, e ausência de período sem precipitação ao longo do ano.

Os resultados do teste de aderência de Anderson-Darling nas séries anuais e sazonais de índices de correção chuva indicaram qual teste de variância (paramétrico ou não paramétrico) melhor se ajusta a análise dos dados, servindo como base para escolha de um icc que represente o conjunto de dados. Para o caso, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis, onde se registrou a igualdades das medianas dos índices.

Foram propostos no estudo três índices de correção de chuva: um que determina lâmina efetivamente aproveitável ao longo do ano (0,78); um que determinada a lâmina efetivamente aproveitável no período mais chuvoso (0,79); e outro que determinada lâmina efetivamente aproveitável no período de estiagem (0,76).

A utilização de índices de correção de chuva otimizam o dimensionamento de reservatórios de armazenamento de água chuva, pois, reduzem a precipitação de entrada no cálculo do volume, ou seja, consideram apenas a lâmina efetivamente aproveitável.

A determinação do índice de correção de chuva poderá ser realizada para qualquer lâmina de descarte da primeira chuva, sendo que quanto maior o descarte menor será o módulo do coeficiente.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Água de chuva: Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: Requisitos.** Rio de Janeiro, 2007.

AKTER, A.; AHMED, S. Potentiality of rainwater harvesting for an urban community in Bangladesh. **Journal of Hydrology**, v. 528, p. 84- 93, set. 2015.

ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. S.; MILAN, M.; MONTEIRO, L. A.; MION, R. L. Avaliação da distribuição de sementes por uma semeadora de anel interno rotativo utilizando média móvel exponencial. **Revista Ciência Agronômica**. v.43, n. 1, p. 86 - 95, 2012.

ALVES, A. V. P.; SANTOS, G. B. S.; MENEZES FILHO, F. C. M.; SANCHES, L. Análise dos métodos de estimativa para os parâmetros das distribuições de Gumbel e GEV em eventos de precipitações máximas na cidade de Cuiabá- MT. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**. v.6, n. 1, p. 32 - 43, 2013.

ALT, R. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis estudo baseado no curso ABNT de 11-02-2009 SP/SP do Eng.º Plínio Tomaz.** 2009.

AMORIM, V. C. S. **Estatística descritiva: breve histórico conceitos e exemplos aplicáveis no ensino médio.** 2014. 84f. Dissertação (Mestrado em Matemática) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2014.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Medição de descarga líquida em grandes rios: manual técnico.** Brasília, 2014. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2014/MedicaoDeDescargaLiquidaEmGrandesRiosManualTecnico2ed.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema de Informações Hidrológicas-HIDROWEB.** Brasília, 2016. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 22 abr. 2016.

ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)**. 2005. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

ASSAYED, A.; HATOKAY, Z.; ZOUBI, R. A.; AZZAM, S.; QBAILAT, M.; ULAYYAN, A. A.; SALEEM, M. A.; BUSHNAQ, S.; MARONI, R. On-site rainwater harvesting to achieve household water security among rural and peri-urban communities in Jordan. **Resources, Conservation and Recycling**, v.73, p. 72–77, abr. 2013.

AVILA, A. M. H. **Estimativa de precipitação em regiões tropicais utilizando imagens do satélite GOES 12**. 2006. 122f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

BARBOZA, D. S. **Aproveitamento de águas pluviais em residências**. 2008. 91f. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental nos Municípios) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2008.

BERTOLO, E. **Aproveitamento da Água da Chuva em Edificações**. 2006. 204f. Dissertação (Mestrado em engenharia do Ambiente) - Universidade do Porto, Portugal, 2006.

CALHEIROS, R. V. **Resolução espacial de estimativas de precipitação com radar hidrometeorológico**. 1982. 229f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento).- Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

CAMPOS, M. A. S.; AMORIM, S. V. Aproveitamento de água pluvial em um edifício residencial multi-familiar no município de São Carlos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL: QUALIDADE AMBIENTAL E RESPONSABILIDADE SOCIAL, 4., 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABES, 2004.

CAMPOS, M. M.; AZEVEDO, F. R. Aproveitamento de águas pluviais para consumo humano: **Jornal Eletrônico**, v. 5, mai. 2013.

CARDOSO, M. P. **Viabilidade do aproveitamento de água de chuva em zonas urbanas: Estudo de caso no município de Belo Horizonte- MG.** 2009. 192f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2009.

CAVALCANTE, A. L.; SILANS, A. M. B. P. Modelo estocástico de desagregação da chuva diária em eventos sub-diários para a região litorânea do Nordeste. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 38-48, jul./set. 2012.

CHAIB, E. B.; RODRIGUES, F. C.; MAIA, B. H.; NASCIMENTO, N. O. Avaliação do potencial de redução do consumo de água potável por meio da implantação de sistema de aproveitamento de água de chuva em edificações unifamiliares. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 605-614, jul./set. 2015.

CODEM- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO E ADMINISTRAÇÃO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM. **Anuário estatístico do município de Belém- Caracterização do território.** Disponível em: <http://www.belem.pa.gov.br/app/ANUARIO_2010/1_01_caracterizacao%20do%20territoriox.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2016.

COLLECT RAINWATER – **Equipamento “first flush”.** Disponível em: <<http://www.reuk.co.uk/Collect-Rainwater.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2016.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Métodos de pesquisa em administração.** 7. ed. Trad.: L. O. Rocha. Porto Alegre: Bookman, 2003.

CORREA, R. S. **Estudo da Viabilidade Econômica com o Aproveitamento de Água de Chuva Numa Metrópole da Amazônia.** 2016. 63f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

CRISPIM, D. L.; LEITE, R. P.; CHAVES, A. D. C. G.; FERREIRA, A. C.; MARACAJÁ, P. B. Impactos ambientais no açude do bairro nova vida em Pombal - PB. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental.** v. 7, n. 1, p. 102 - 129, 2013.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA-GANDRA, C. F. A.; VILLELA, F. A.; DOS SANTOS, J. P.; WINKLER, A.S. Analysis of the relationship intensity, duration, frequency of disaggregated daily rainfall in southern Rio Grande do Sul, Brazil. **Engenharia Agrícola., Jaboticabal**, v.34, n.4, p.660-670, jul./ago. 2014.

DOMÈNECH, L. **Decentralized Water Management: Household Use of Rainwater and Greywater in Spain and Nepal**. 2011. 221 f. Thesis (Doctor in Environmental Sciences) — Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, 2011.

DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação das técnicas de dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 59-68, abr./jun. 2010.

DOS SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M.R.V.B.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; LAUTERT, L.F. **Hidrometria Aplicada**. 1º Edição. Curitiba – PR. Editora CEHPAR, 2001. 372p.

DUARTE, A. A. A. M. **O Valor Econômico e Estratégico das Águas da Amazônia**. 2006. 136p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

EPA. **Stream Corridor Restoration – principles, processes and practices**. Environmental Protection Agency, EUA.1988.

FERNANDES, L. F. S.; TERÊNCIO, D. P. S.; PACHECO, F. A. L. Rainwater harvesting systems for low demanding applications. **Science of The Total Environment**, v.529, p. 91–100, Out. 2015.

FLORES, R. A.; MENDES, R. L. R.; OLIVEIRA, D. R. C., COSTA, T. C. D. Potencial de captação de água de chuva para abastecimento: o caso da cidade de Belém (Pa/Brasil). **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 8, n. 2, p. 69-80, jul./dez. 2012.

FREUND, J.; SIMON, G. **Estatística aplicada**. 9. ed. Trad.: A. A. Farias. Porto Alegre: Bookman, 2002.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2ª ed., São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

GIACCHINI, M. **Estudo quali-quantitativo do aproveitamento da água da chuva no contexto da sustentabilidade dos recursos hídricos**. 2010. 132 f. Dissertação (Mestrado Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

GIBBONS, R. D.; COLEMAN, D. E. **Statistical Methods for Detection and Quantification of Environmental Contamination**, Wiley-Interscience, July 2001.

GOMES, U. A. F.; DOMENECH, L. PENA; J. L., HELLER, L.; PALMIER, L. R. A captação de água de chuva no Brasil: novos aportes a partir de um olhar internacional. **RBRH: revista brasileira de recursos hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 7-16, jan./mar. 2014.

GOVONE, J. S. **Avaliação do desempenho da técnica de filtro de Kalman na estimação de precipitação por radar meteorológico**. 1996. 164 f. Tese (Doutorado. em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo. São Carlos, 1996.

GUIMARÃES, B. V.C.; SOUZA, E. B.; ABREU, A. M. A.; DONATO, S. L. R.; ASPIAZU, I.. Captação e aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis e potáveis: **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, p. 2926, jul.2015.

HASHIM, H.; HUDZORI, A.; YUSOP, Z.; HO, W.S. Simulation based programming for optimization of large-scale rainwater harvesting system: Malaysia case study. **Resources, Conservation and Recycling**, v.80, p. 1–9, nov. 2013.

HEYWORTH, J. S.; GLONEK, G.; MAYNARD, E. J.; BAGHURST, P. A.; FINLAY-JONES, J. Consumption of untreated tank rainwater and gastroenteritis among young children in South Australia. **International Journal of Epidemiology**, v. 35, n. 4, , p. 1051- 1058, mai. 2006.

HOBECO. **Catálogo eletrônico de instrumentos e telemetria de Hidrometeorologia**. Hobeco Sudamericana Ltda, Rio de Janeiro. 2003. Disponível em: <

http://www.hobeco.net/sites/default/files/estacao_hidrometeorologica.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2017.

HOLLANDER, M.; WOLFE, D.A. **Nonparametric Statistical Methods**. 2 ed, John Wiley & Sons, New York, 1999.

IPT. Instituto De Pesquisas Tecnológicas. **Manual para captação emergencial e uso doméstico de água de chuva**. São Paulo, 2015.

ISHIHARA, J. H. **Avaliação quantitativa e espacial da precipitação na Amazônia brasileira (Amazônia Legal) – no período de 30 anos, de 1978 a 2007**. 2010. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

KAISER, I. M.; PORTO, R. M. Campos de precipitação Parte I: Fundamentos teóricos e estudos preliminares. **RBRH: revista brasileira de recursos hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 99-111, out./dez. 2005.

KAHINDA, J. M.; TAIGBENU, A. E.; BOROTO, J. R. Domestic rainwater harvesting to improve water supply in rural South Africa. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 32, p. 1050-1057, ago. 2007.

LEE, K. T. et al. Probabilistic design of storage capacity for rainwater cistern systems. **J. agric. Engng Res**, v. 3, n. 77, p. 343-348, 2000.

LIM, K. Y.; JIANG, S. C. Reevaluation of health risk benchmark for sustainable water practice through risk analysis of rooftop-harvested rainwater. **Water Research**, v.47, p. 7273–7286, dez. 2013.

LOPES, J. E. G.; SANTOS, R. C. P. **Capacidade de reservatórios**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

LOUREIRO, G. E; FERNANDES, L. L.; ISHIHARA, J.H. Spatial and temporal variability of rainfall in the Tocantins-Araguaia hydrographic region. **Acta Scientiarum**, v. 37, n.1, 89-98, 2015.

LYE, D. J. Rooftop runoff as a source of contamination: A review. **Science of the Total Environment**. v.407, 2009. p. 5429-5434.

MACHADO, P. J. de O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MAHMOUD, W. H.; ELAGIB, N. A.; GAESE, H.; HEINRICH, J. Rainfall conditions and rainwater harvesting potential in the urban area of Khartoum. **Resources, Conservation and Recycling**, v.91, p. 89–99, set. 2014.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, v.13, p.245-259, 1945.

MARINOSKI, A. K. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). - Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2007.

MARTINSON, B. M. **Improving the Viability of Roofwater Harvesting in Low-Income Countries**. Thesis (Doctor of Philosophy in Engineering) University of Warwick — Warwick, 355 p. 2007.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 2004.

MELO, A. M.; BLANCO, C. J. C.; BARBOSA, A. J. S.; DA SILVA, F. S. Digitalização de Pluviogramas para fins de determinação do fator Energético da Chuva (R) para cidade de Belém-Pará., **In: XI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**, 2014, João Pessoa-Paraíba.

MELLO, C. R.; SILVA, A.M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: Editora UFLA, 2013.

MINIKOWSKI, M.; MAIA, A. G. Sistemas de aproveitamento de água de chuva no município de Iratí (PR). **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**. Curitiba, v. 7, n. 2, p. 181-188, abr./jun. 2009.

MONTOYA, M. G.; MARTINEZ, A. B.; RIVERA, F. N.; GONZÁLEZ, M. S.; ORTEGA, J. M. O.; HALWAGI, M. M. E. Simultaneous design of water reusing and rainwater harvesting systems in a residential complex. **Computers & Chemical Engineering**, v.76, p. 104 –116, mai. 2015.

MULLER, A. **Pluviometros y Pluviografos- -Meteorologische Instrumente Kg. R. FUESS**, 2013, 221p.

MURÇA, M. C. R.; JULIO, M de.; MORUZZI, R. B. Metodologia de otimização para o dimensionamento de reservatórios de águas pluviais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 29-40, abr/jun. 2014.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte, Editora da CPRM, 2007. 552p.

NASCIMENTO, T. V.; FERNANDES, L. L.; YOSHINO, G. H. Potencial de aproveitamento de água de chuva na Universidade Federal do Pará. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 15, n.4, p. 105-116, jan./abr. 2016.

NAWAZ, M., HAN, M.Y., KIM, T. I., MANZOOR, U., AMIN, M.T. Silver disinfection of *Pseudomonas aeruginosa* and *E. coli* in rooftop harvested rainwater for potable purposes. **Science of The Total Environment**, v.431, p. 20–25, ago. 2015.

NÓBREGA, R. L. B.; GALVÃO, C. O.; PALMIER, L. R.; CEBALLOS, B. S. O de. Aspectos políticos –institucionais do aproveitamento de água de chuva em áreas rurais do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 109-124, out./dez. 2012.

NORMANDO, D.; TJADERHANE, L.; QUINTÃO, C. C. A. A escolha do teste estatístico – um tutorial em forma de apresentação em PowerPoint. **Revista Dental Press J. Orthod.** v. 15, n. 1, p. 101-106, jan./fev. 2010.

OKOYE, C. O.; SOLYALI, O.; AKINTUG, B. Optimal sizing of storage tanks in domestic rainwater harvesting systems: A linear programming approach. **Resources, Conservation and Recycling**, v.104, p. 131–140, nov. 2015.

OLIVEIRA, P. A. C.; MATTHIENSEN, A.; ALBINO, J. J.; BASSI, L. J.; GRINGS, V. H.; BALDI, P. C.. **Aproveitamento da Água da Chuva na Produção de Suínos e Aves.** Embrapa. Concórdia, SC, 2012, 38p.

OMM - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE METEOROLOGIA. **Guia de Práticas Hidrológicas. Adquisición y Proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones.** 5ª edição, no-158, Genebra – Suíça, 1994, Cap. 20, 259 – 278p.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Água para todos, água para La vida.** Paris – França. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). 2003.

PANDEY, D. N.; GUPTA, A. K.; ANDERSON, D. M. Rainwater harvesting as an adaptation to climate change. **Current Science**, v. 85, n. 1, p. 46-59, Jul. 2003.

PETERS, M. R. **Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial.** 2006. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

PETERSON, E. L. Transcontinental assessment of secure rainwater harvesting systems across Australia. **Resources, Conservation and Recycling**, v.106, p. 33–47, jan. 2016.

PROENÇA, L. C.; GHISI, E.. Water end-uses in Brazilian Office buildings. Magazine: **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, p.487 – 500, 2010.

REBOUÇAS, A. C. et al. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. Escrituras Editora – 3ª Edição, São Paulo, 2006.

REVISTA PRÉ. UNIVESP. 2014. **Satélite Meteorológico**. Disponível em <<http://pre.univesp.br/satelite-meteorologico#.VyC3zvkrK7Q>> Acesso em: 30 jan. 2016.

REIS, R. J.; GUIMARÃES, D.P.; LANDAU, E.C. **Chuvas em Minas Gerais**. Belo Horizonte: Editora PUC MINAS, 2012.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. Campinas: Casa do Pão Editora, 2.ed., 2009. 325p.

SALGUEIRO, J. H. P. B. **Avaliação de rede pluviométrica e análise de variabilidade espacial da precipitação: Estudo de caso na Bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco**. 2005. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

SCOFIELD, G. B.; ANGELIS, C. F de.; SOUSA JR, W. C de. Estudo das tendências do total de precipitação e do número de dias chuvosos na litoral norte de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 19-31, jul./set. 2014.

SHIKLOMANOV, I. A. Comprehensive assessment of the Freshwater resources to the world. **In: Assessment water resources and water availability in the world**. WMO/SEI,85p,1997.

SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statistical methods**. Ames: Iowa State University Press, 1989. 589 p.

SOUSA, S. H. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, S. M dos.; PESSOA, S. G. S., NÓBREGA, R. L. B. Avaliação da qualidade e da eficácia de barreiras sanitárias em sistemas de aproveitamento de água de chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 81-93, jul./set. 2011.

TEIXEIRA, Wilson et al. **Decifrando a terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia editora nacional, 2009.

TEIXEIRA, A. D. S.; PULZ, E.; SILVA, B. C. R.; IRASUSTA, S. P.; TEIXEIRA, E. P. Avaliação da qualidade de água de chuva para aproveitamento doméstico. **In: X Workshop de pós-graduação e pesquisa do centro Paula de Sousa**. São Paulo. Brasil. 2015.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Editora Navegar, 2003.

TONDOLO, V. G.; SCHNEIDER, L. C. A utilização de testes de hipótese paramétricos em pesquisas científicas. **Global Manager**, v. 7, n. 11, dez. 2006.

TORDO, O. C. **Caracterização e avaliação de águas de chuva para fins potáveis**. 2004. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2004.

TUCCI, C. E.M. (org). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ª Edição. Porto Alegre – RS. Editora da UFRGS e EDUSP ABRH, 2007. 944p.

UFCG. Universidade Federal de Campina Grande. Capítulo II – Chuvas. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Dren02.html>>. Acesso em: 18 fev. 2016.

VELOSO, N. S. L.; MENDES, R. L. R. Aproveitamento da água da chuva na Amazônia: Experiências nas ilhas de Belém/Pa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, V. 19, n.1 – Jan./Mar. 2014, 229-242.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, Editora McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgoto**. 3.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 452p.

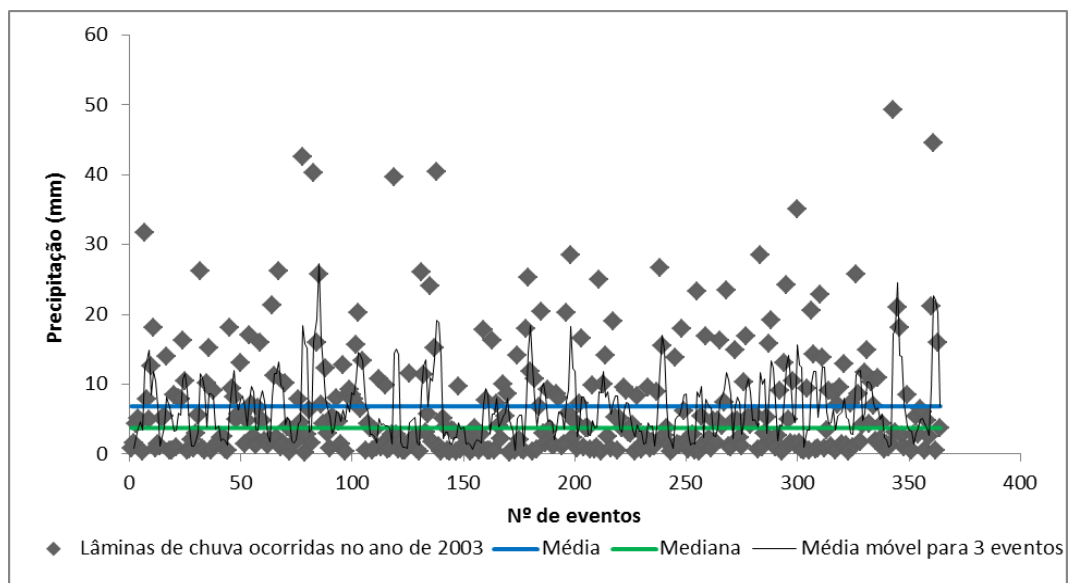
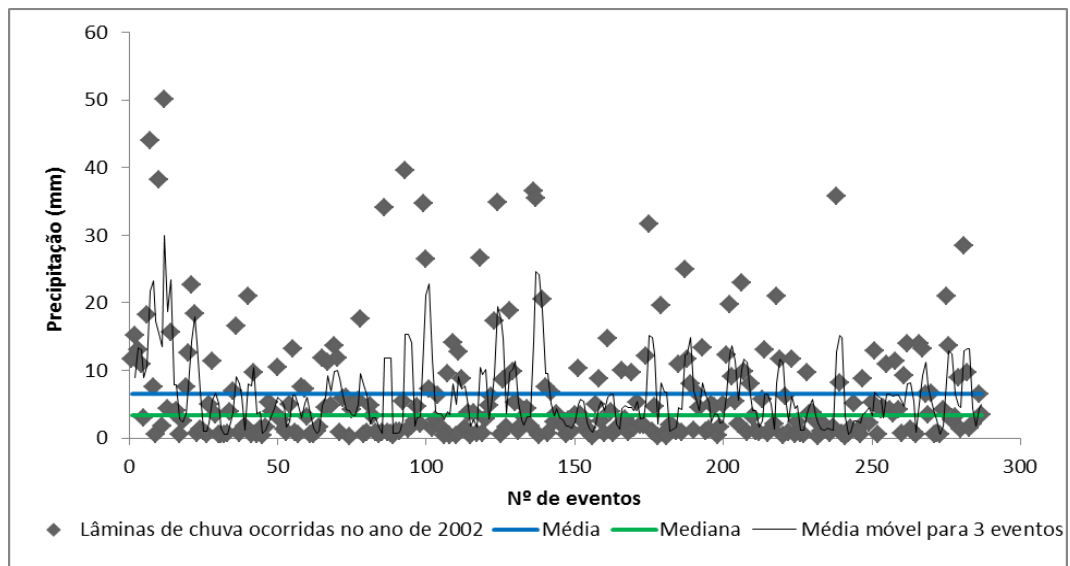
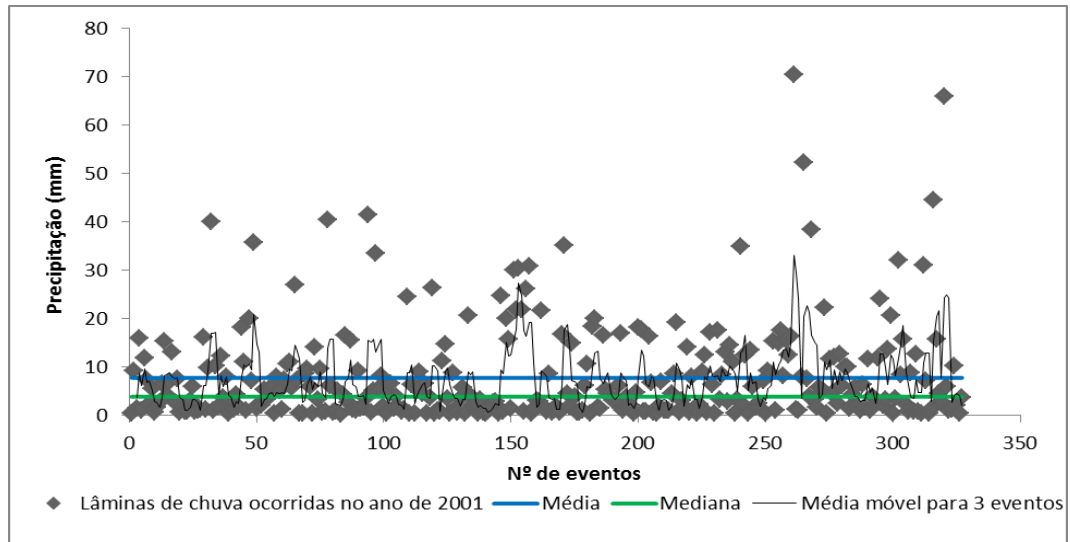
WANJIRU, E. M.; XIA, X. Energy-water optimization model incorporating rooftop water harvesting for lawn irrigation. **Applied Energy**, v.160, p. 521–531, dez. 2015.

YOSHINO, G. H. **Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis na cidade universitária professor José da Silveira Netto Belém-Pa.** 2012. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

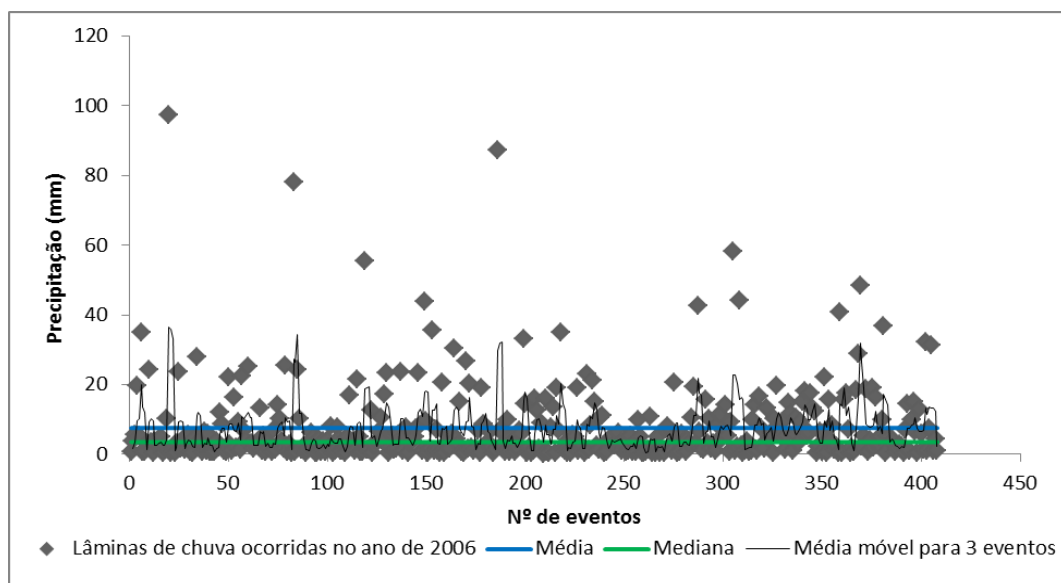
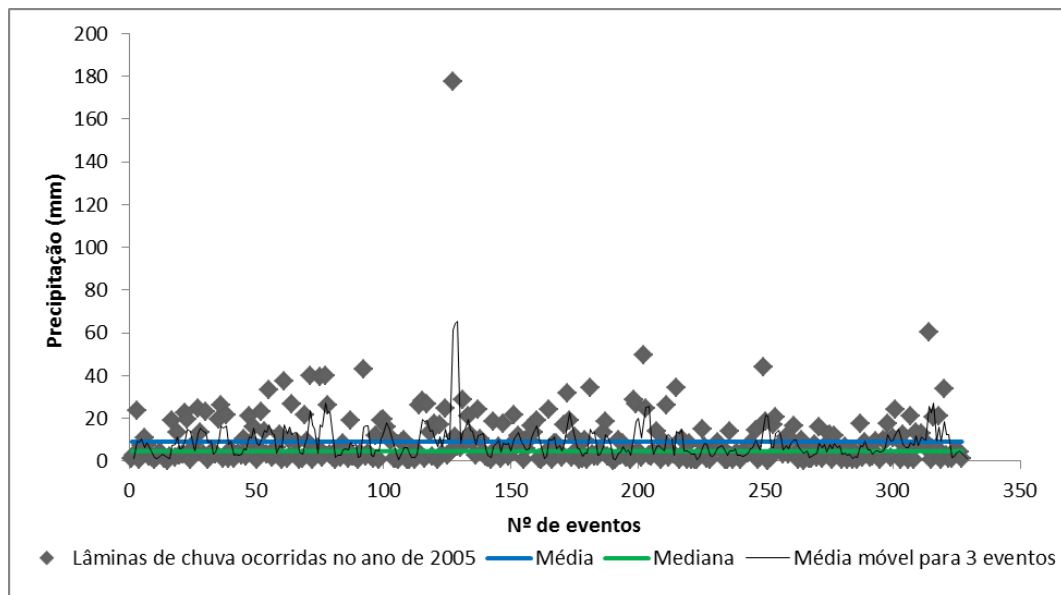
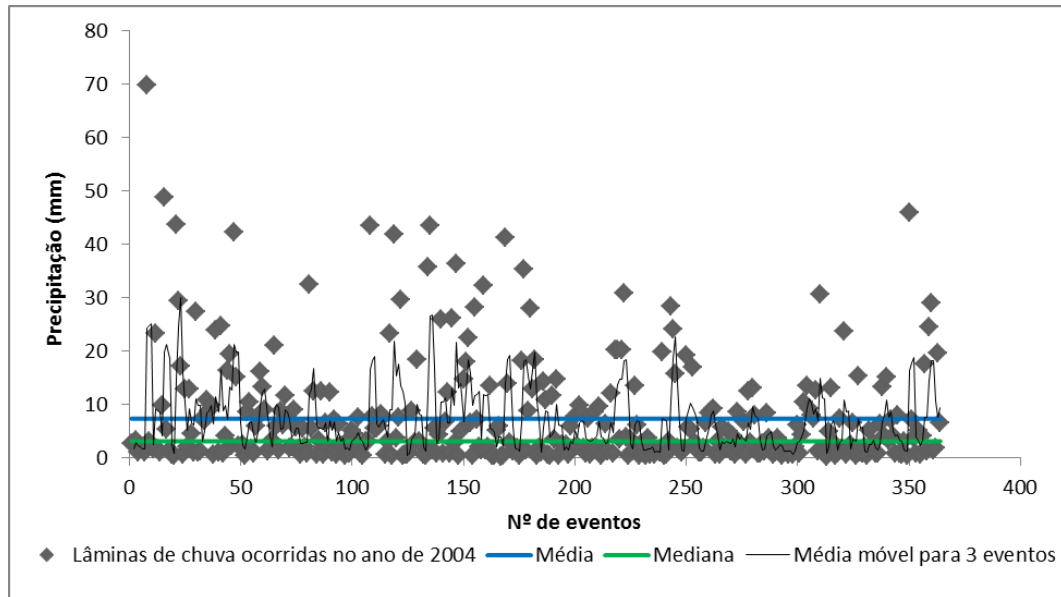
YUE, S. PILON, P. CAVADIAS. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. **Journal of Hydrology**, v.259, p 254-271, març. 2002.

APÊNDICES

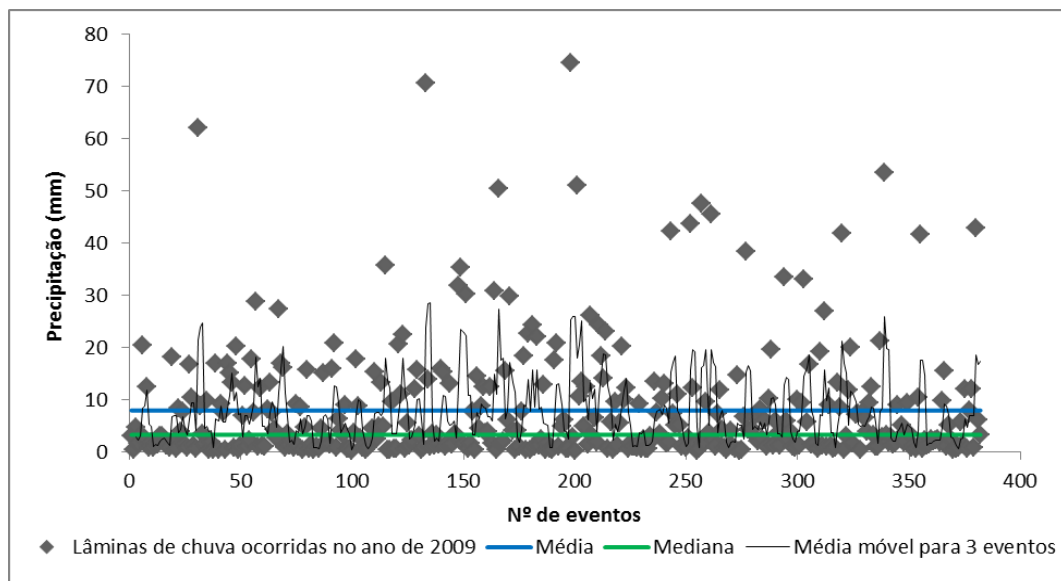
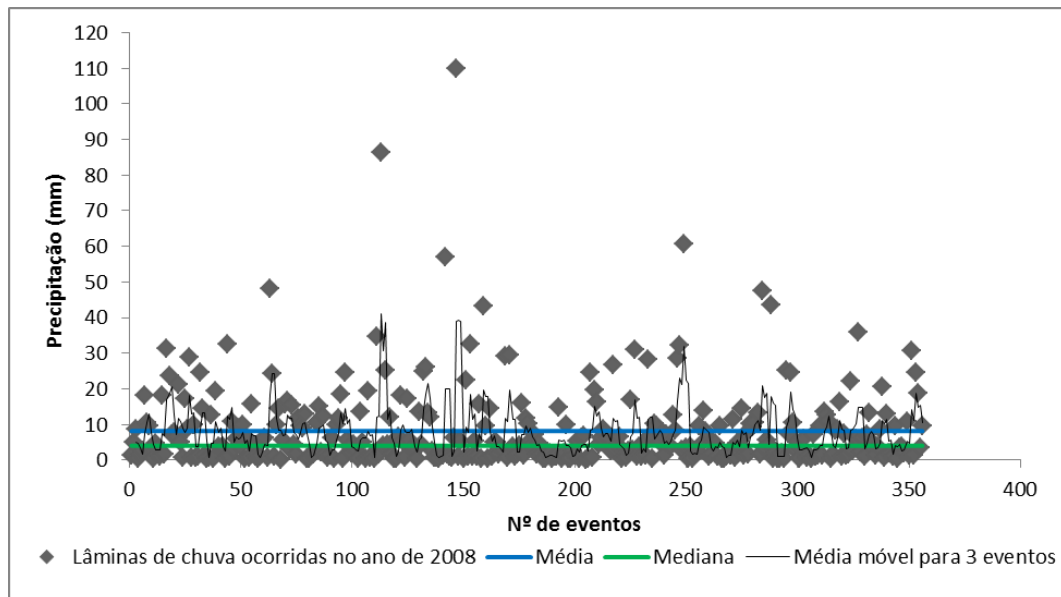
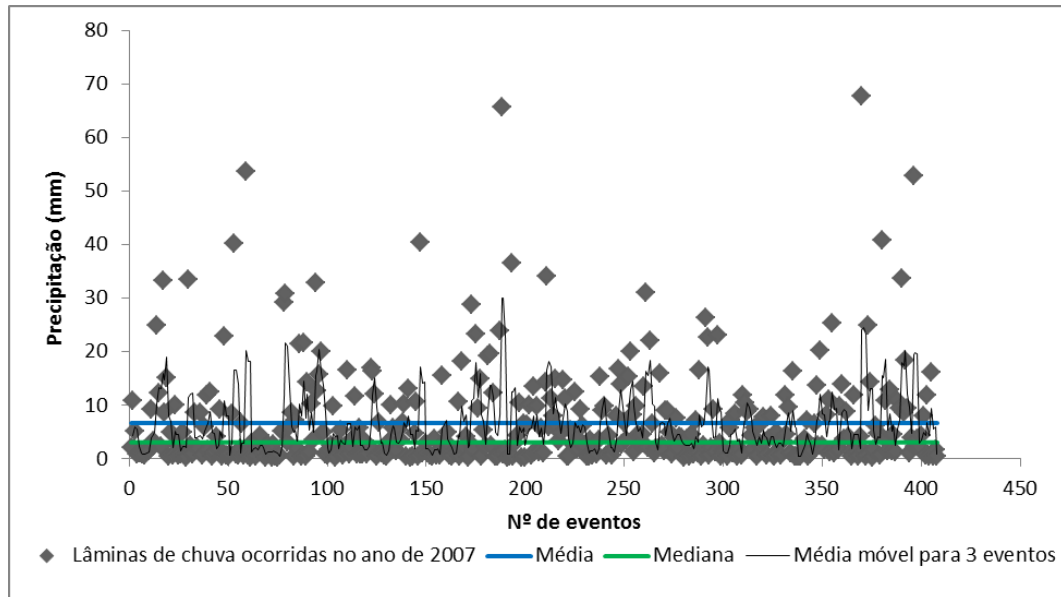
APÊNDICE A – DISPERSÃO DAS LÂMINAS DE CHUVA PARA OS ANOS DE 2001 A 2011.



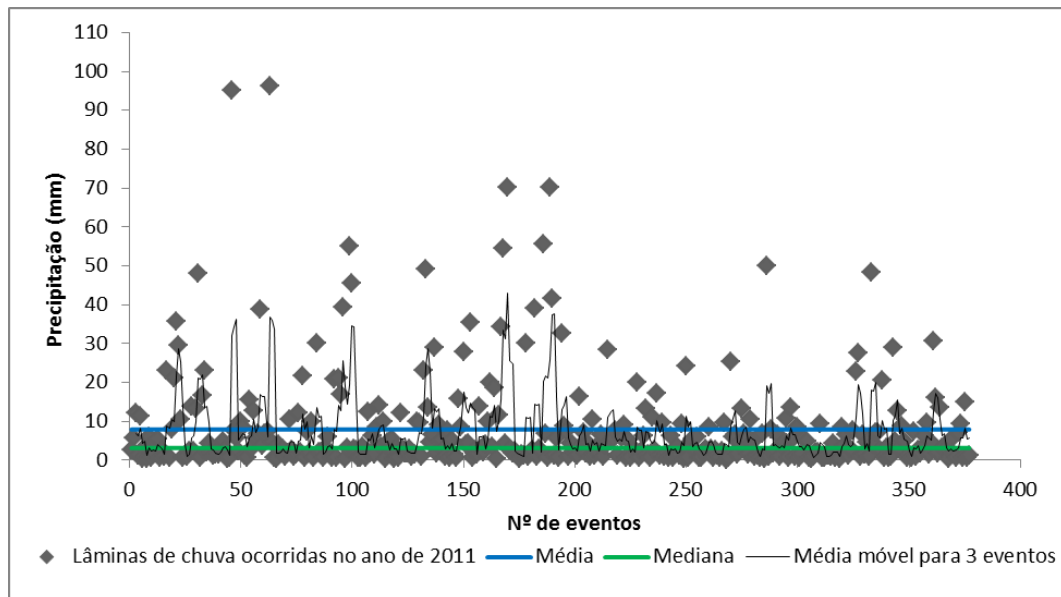
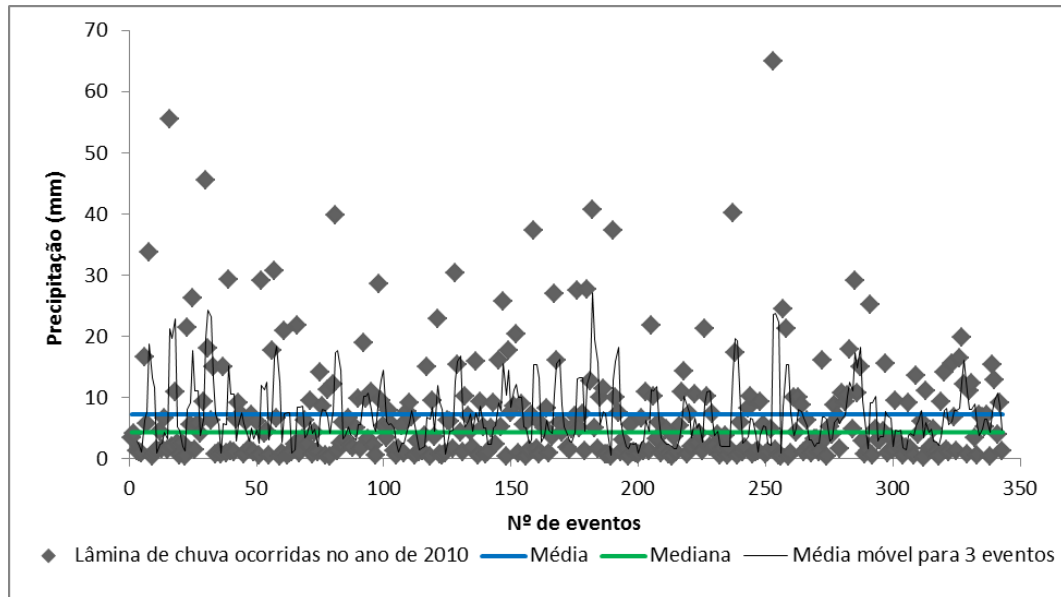
(continua...)



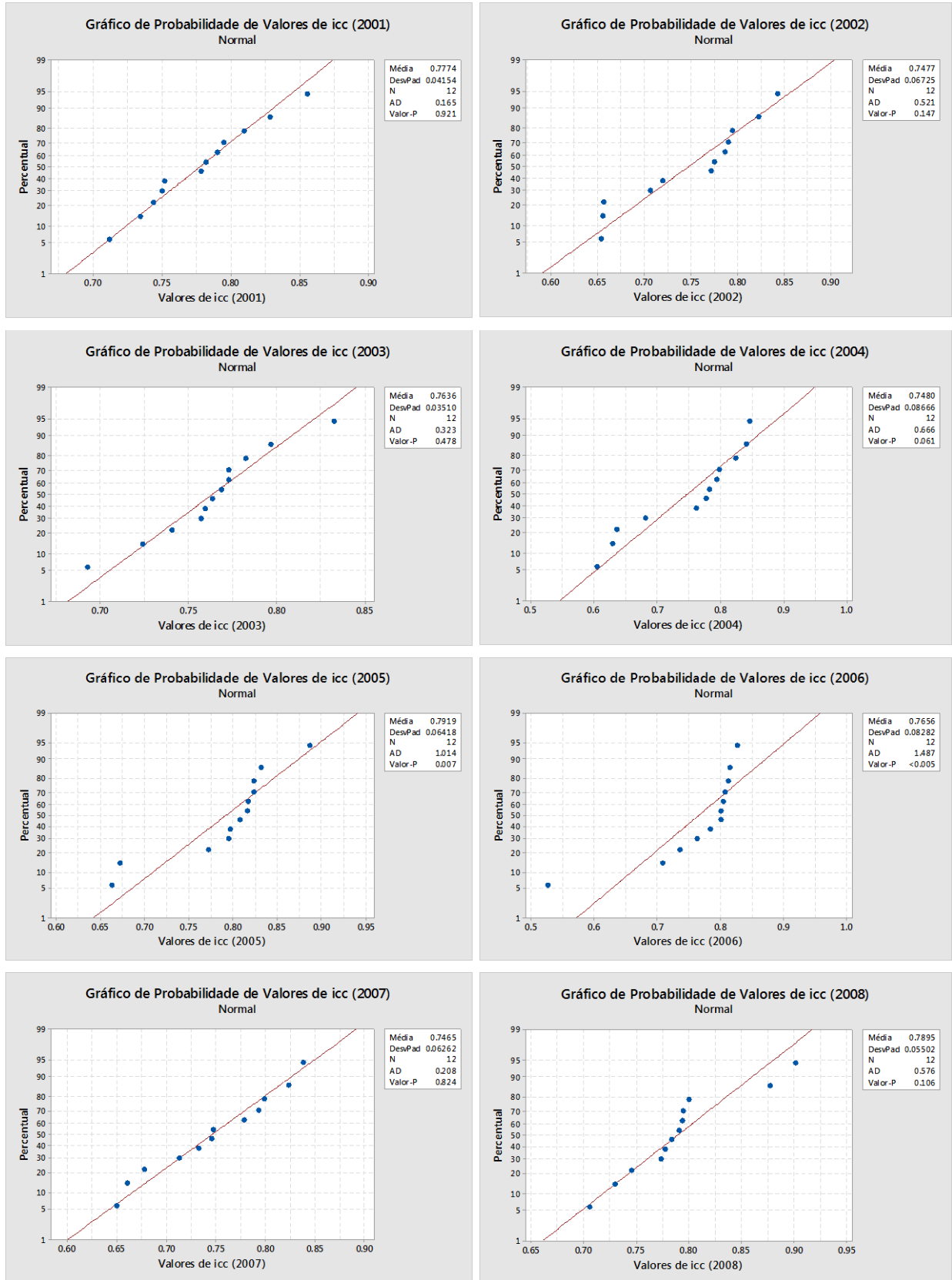
(continua...)



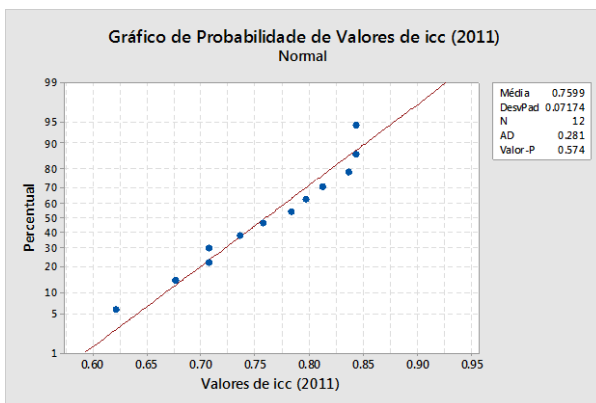
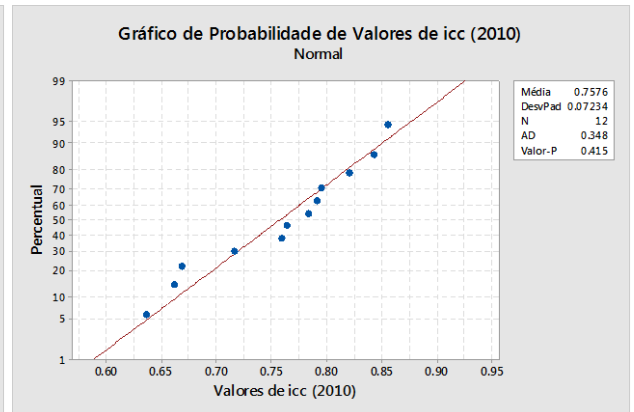
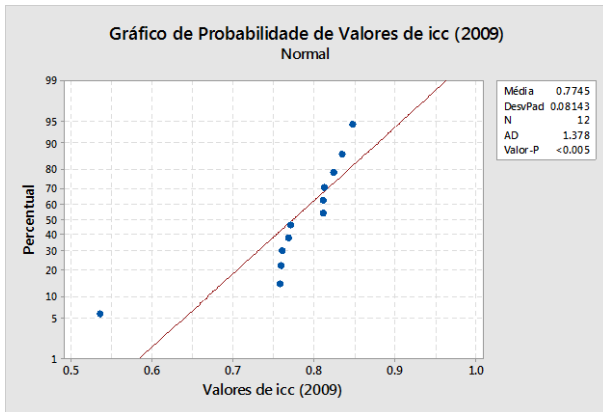
(continua...)



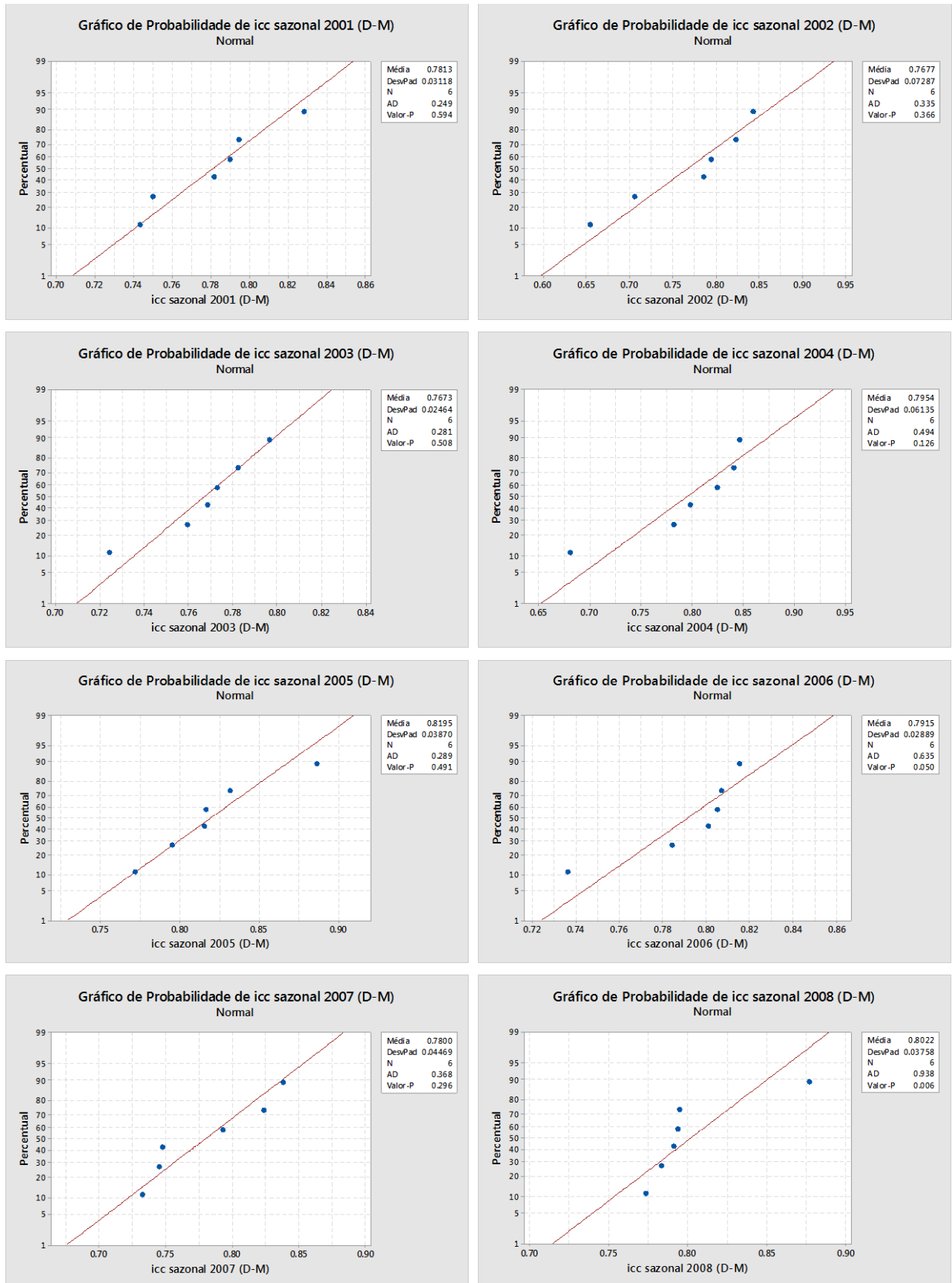
APÊNDICE B – RESULTADOS DO TESTE DE NORMALIDADE DE ANDERSON-DARLING PARA OS DADOS DE ICC’S AGRUPADOS ANUALMENTE.



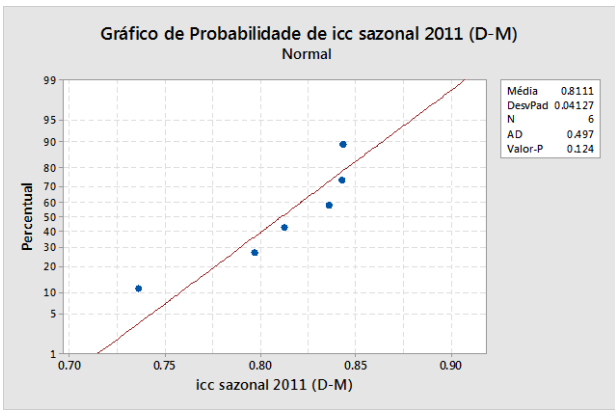
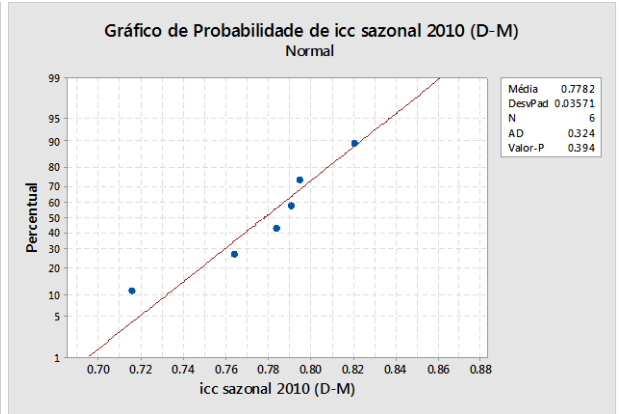
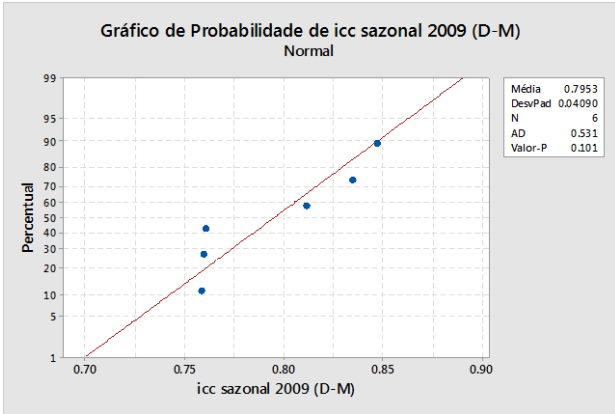
(continua...)



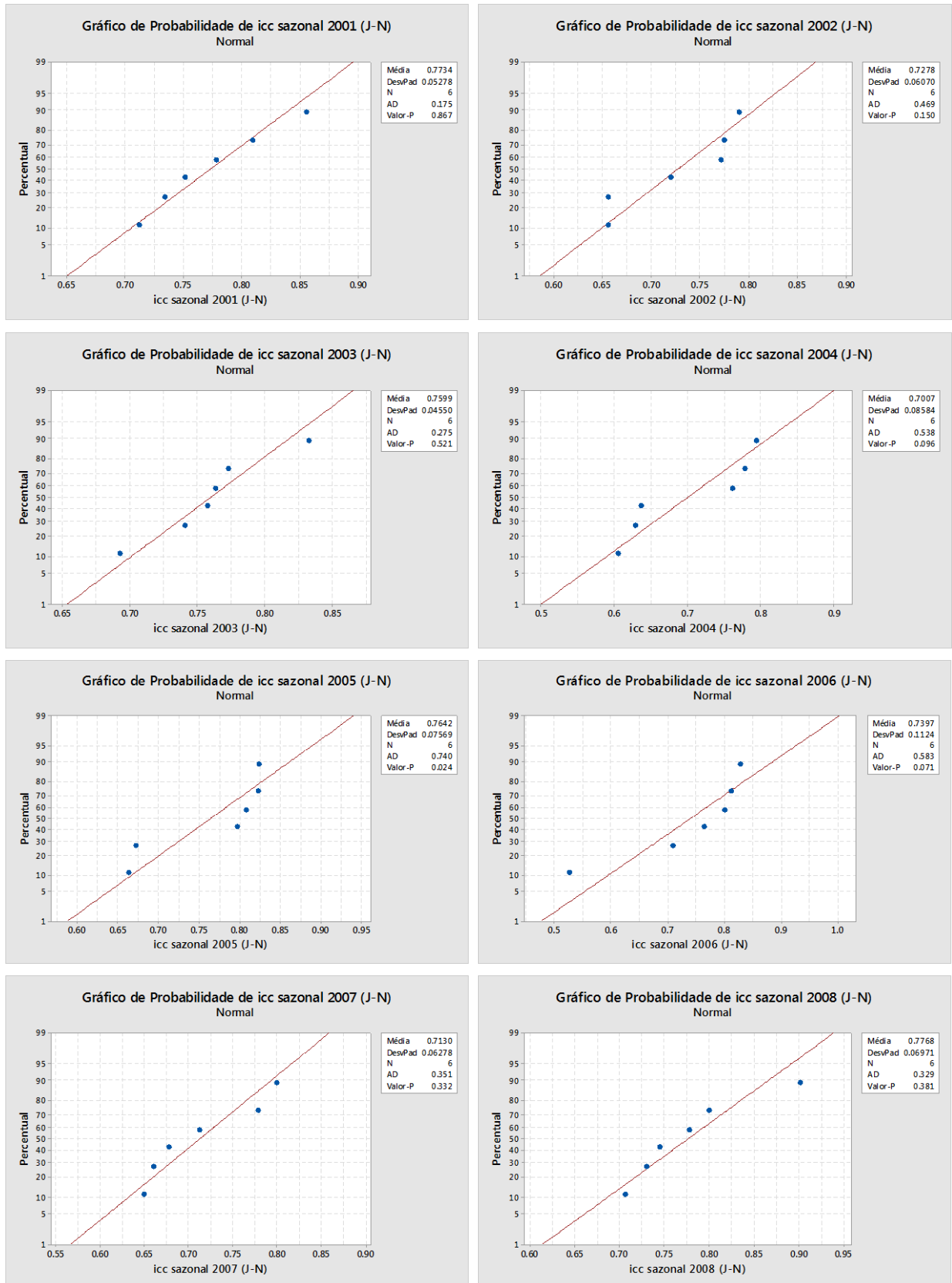
APÊNDICE C - RESULTADOS DO TESTE DE NORMALIDADE DE ANDERSON-DARLING PARA OS DADOS DE ICC'S ADRUPADOS SAZONALMENTE (PERIODO CHUVOSO).



(continua...)



APÊNDICE D – RESULTADOS DO TESTE DE NORMALIDADE DE ANDERSON-DARLING PARA OS DADOS DE ICC’S AGRUPADOS SAZONALMENTE (PERÍODO DE ESTIAGEM).



(continua...)

