

DETAILED ANALYSIS OF RAINFALL EVENTS IN A REPRESENTATIVE COASTAL WATERSHED FROM BRAZILIAN NORTHEAST

Luís Romero Barbosa¹; Alain Marie Bernard Passerat de Silans²; Cristiano das Neves Almeida³

Federal University of Paraíba - Department of Civil Engineering - Laboratory of Water Resources - email address: luisromero.eng@gmail.com¹; alainsilans@yahoo.com.br²; almeida74br@yahoo.com.br³

ABSTRACT --- This paper shows results from a study carried out for a representative watershed. Firstly, every subdaily measured rainfall event was classified into a synthetic hyetograph. Three rainfall gauges, located in the Gramame watershed, were considered in this study, in order to identify similar features between them. The study was focused on seven years, in which rainfall data were collected from the three gauges. Rainfall events were classified into possible hyetograph shapes: rectangular, bimodal, unimodal, unimodal with left peak, unimodal with right peak and not characterized. For each gauge, statistical analyses were done considering different variables: rainfall duration, peak, accumulated rainfall, initial time and intensity. The results showed that most of events were classified as rectangle shape. It was possible to correlate synthetic hyetograph with duration, peak and accumulated rainfall. Some results were similar for the different gauges. The results also show that the classification does not depend on the yearly rainfall.

Key words: representative watershed, subdaily events, rainfall data.

1 – INTRODUÇÃO

A variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial, face à sua incerteza e irregularidade ao longo do tempo, constitui-se num problema crucial em estudos climatológicos (Silva, 2003). Frente a isto, cada vez mais se vem realizando desagregações do total diário precipitado em escalas menores, objetivando maior precisão em pesquisas minuciosas sobre bacias hidrográficas que utilizam de modelos hidrológicos nos estudos dos ciclos hidrológicos.

Nas pesquisas os eventos chuvosos são representados, frequentemente, através de hietogramas observados, que por sua vez são associados à hietogramas sintéticos. Vischel & Lebel (2007) mostraram que a não consideração do tipo de hietograma em uma análise de sensibilidade de variabilidade temporal pode induzir erros de até 65% no valor calculado da vazão em um modelo hidrológico, o que evidencia a importância de uma discretização bem feita dos eventos chuvosos nas modelagens hidrológicas.

Já outros autores como Hershendorff & Woolhiser (1987) e Lambourne & Stephenson (1987) associaram os dados de pluviometria às características de altura de pico de hietograma, duração do evento chuvoso, total precipitado do evento, entre outros, no intuito de elaborar um modelo estocástico para a desagregação da chuva diária.

Procurar-se-á ao longo desse artigo realizar uma análise estatística de eventos pluviométricos subdiários tanto a nível anual quanto mensal. Para tanto, foram considerados dados de precipitação dos anos de 2008, 2009 e 2010 em três postos pluviográficos da bacia representativa do rio Gramame, localizada no litoral do estado da Paraíba.

A partir dos dados obtidos, verificar-se-á anualmente a existência de possíveis comportamentos tendenciosos dos eventos chuvosos, ao longo das análises estatísticas, com relação a algumas características da precipitação (duração do evento chuvoso, total precipitado, pico máximo, horário de início do evento e intensidade chuvosa), durante as quais cada evento estará associado a um tipo de hietogramas sintéticos (retangular, unimodal central, unimodal a esquerda, unimodal a direita, bimodal e não caracterizado). Além disto, serão notificadas semelhanças e diferenças nos resultados obtidos entre os postos, para que seja avaliado o nível de correspondência existente entre os eventos registrados em regiões próximas e distantes no interior da bacia estudada, analisando a variabilidade de ocorrência espacial dos mesmos e, posteriormente, sugerindo explicações plausíveis para as causas dos comportamentos explanados.

Já, a nível mensal, pretende-se averiguar os comportamentos dos eventos chuvosos associados aos hietogramas sintéticos, nos meses em que se registram as maiores e menores lâminas precipitadas. E, em seguida, examiná-los nos anos mais chuvosos, onde as lâminas d'água totais foram semelhantes e

superiores à média da série de precipitações anuais da região, e então saber se os resultados constatados serão similares entre si, estendendo, posteriormente, tal comparação ao ano subsequente, que fora seco.

Objetiva-se com este estudo propor uma metodologia simples, porém suficientemente eficaz, na caracterização e classificação dos eventos pluviométricos subdiários, e, por conseguinte, na diferenciação dos comportamentos pluviométricos pontuais, em quaisquer localidades de uma bacia hidrográfica. Espera-se que esta metodologia possa ser utilizada, inclusive, para a verificação de mudanças pluviométricas de uma dada bacia, podendo até mesmo, indicar a presença dos efeitos das mudanças climáticas.

Este estudo foi realizado no âmbito do projeto de estudo de bacias experimentais e representativas na região semi-árida nordestina, projeto BEER.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

2.1 – Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Gramame (Figura 1), que possui uma área aproximada de 590 km², banhando sete municípios importantes do litoral sul do Estado da Paraíba, incluindo a sua capital João Pessoa. Está localizada entre os paralelos 7° 11' e 7° 24' de latitude sul e 34° 48' e 35° 10' de longitude oeste. Possui grande importância para a região metropolitana de João Pessoa, devido a sua contribuição para o abastecimento d'água de cerca de um quarto da população do Estado da Paraíba, através do açude Gramame-Mamuaba, com capacidade de armazenamento na ordem de 56 milhões de m³ (PDRH, 2001).

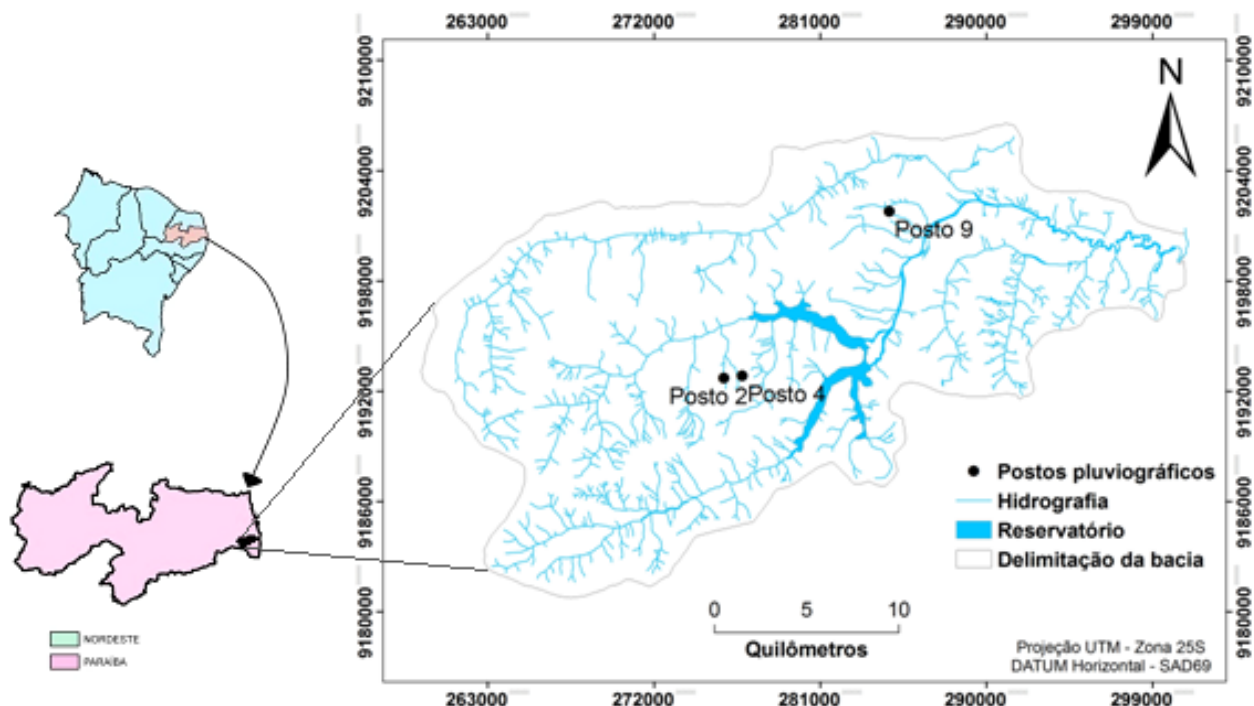


Figura 1 – Mapa de localização da bacia do rio Gramame e postos pluviográficos estudados.

A maior parte da bacia encontra-se assentada sobre os sedimentos da formação Barreiras, de idade Terciária, com aluviões e coberturas arenosas mais específicas. A classificação climática para a região de acordo com Köppen indica um clima tropical chuvoso do tipo As', quente e úmido, sem períodos frios e com chuva predominante de outono-inverno. Sua temperatura apresenta-se elevada durante o ano todo, com uma média de 26°C, enquanto que a precipitação média anual varia entre 1.400-1.800 mm.

Nesta bacia foram instalados postos pluviográficos a partir de 2003, pelo projeto IBESA – Instalação de Bacias Experimentais no Semi-Árido (LIRA et al., 2003) e a partir de 2006, com o projeto BEER (Bacias Experimentais e Representativas no Semi-Árido). Na Figura 1 são apresentados os 3 postos pluviográficos utilizados neste estudo, os postos 2 e 4 foram instalados em 2003 e o 9 em 2006.

2.2 – Metodologia

2.2.1 – Critérios para a caracterização dos eventos chuvosos

Esta pesquisa foi conduzida com os dados coletados por três postos pluviográficos, as quais foram identificadas por índices numéricos, são eles: posto 2, posto 4 e posto 9. Nestas estações estão instalados equipamentos do tipo basculante com a função de medir a lâmina d'água precipitada, normalmente conhecido por seu nome em inglês "Tipping Bucket", e são largamente utilizados em estações de monitoramento hidroclimatológico, Braga (2007).

A partir dos dados coletados ao longo dos anos de 2008, 2009 e 2010, as formas de todos os eventos chuvosos nesse intervalo de tempo foram caracterizadas. Neste trabalho, evento chuvoso foi definido como aquele em que o total precipitado fosse superior a 1,016 milímetros, o que corresponde a 4 basculadas do sensor, e que apresentasse o seu início ou o seu término separado por mais de 30 minutos do evento anterior ou posterior; conforme proposto por Cavalcante (2008)

A Figura 2 apresenta um exemplo de como os eventos chuvosos foram considerados para a posterior caracterização quanto a sua forma.

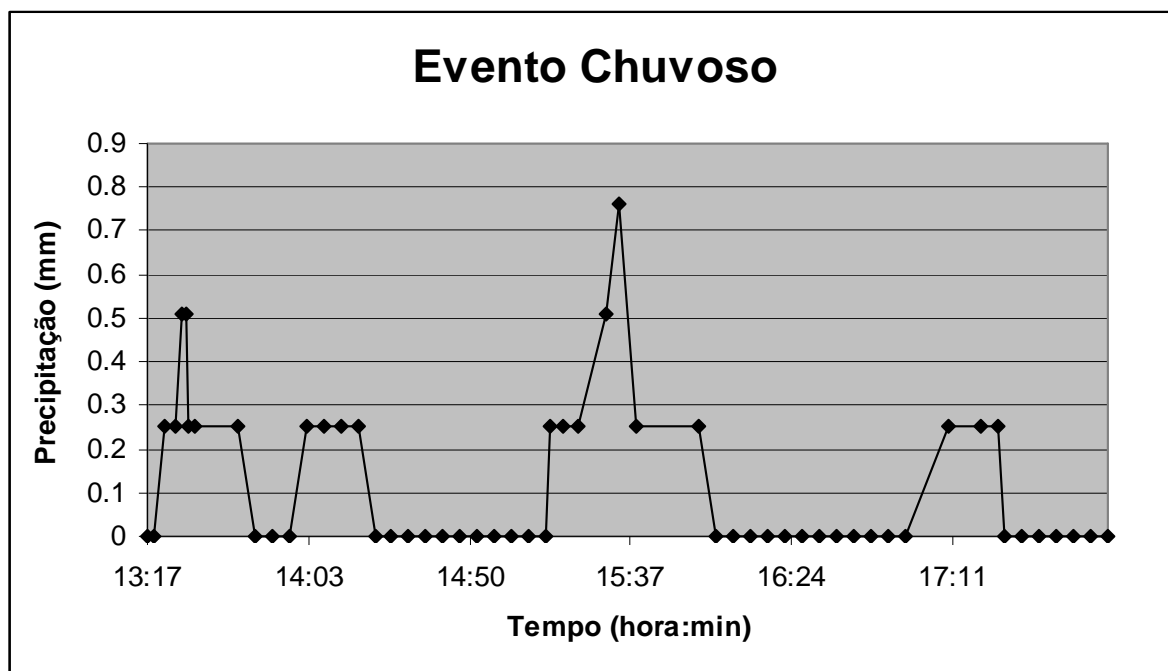


Figura 2 - Caracterização dos eventos chuvosos.

A Figura 2 apresenta uma seqüência de eventos chuvosos, onde inicialmente distinguem-se quatro eventos. Ao levar em consideração os critérios mencionados anteriormente, os dois primeiros eventos passam a ser considerados apenas um, devido ao intervalo de tempo entre eles ser inferior a 30 minutos, o terceiro que possui uma precipitação acumulada superior a 1,016 mm passa a ser o segundo evento desta série, e o quarto é desconsiderado, já que seu valor acumulado é inferior ao admitido.

Após a discretização dos hietogramas representativos de eventos chuvosos, realizou-se uma nova análise, onde os mesmos passaram a ser assemelhados a formas geométricas genéricas (triângulos e retângulos). Estes eventos foram então representados por hietogramas sintéticos a partir de uma compensação de áreas, no qual se buscou encontrar uma aproximação visual destas com as referidas formas geométricas, sem desconsiderar o volume precipitado do evento. Assim, os eventos poderiam ser classificados em: retangular, unimodal central, unimodal à esquerda, unimodal à direita, bimodal e não caracterizados. A necessidade de classificá-los como não caracterizados surge quando o perfil do evento não se enquadra nas classes anteriores devido a seu visual amorfo.

2.2.2 – Classes de hietogramas sintéticos

Após a discretização dos hietogramas observados, definiram-se classes nas quais eles pudessem ser agrupados para uma análise estatística mais específica. Estas classes são os tipos hietogramas sintéticos, que estão definidas abaixo:

- Retangular (R): existe uma constância aparente dos valores das precipitações instantâneas, ou seja, não há uma relevância nítida de nenhum pico (Figura 3.b);
- Unimodal: também denominado triangular, é a classe onde, no gráfico do hietograma é visível a presença de um pico, que pode estar centralizado ou não. Estando subdividido em mais três tipos: unimodal central (UC, na Figura 3.f), unimodal com pico à esquerda (UE, na Figura 3.a) e

unimodal com pico à direita (UD, na Figura 3.c); dependendo da inclinação que o pico admite em relação ao ponto médio da base do triângulo;

- Bimodal (B): hietograma que possui dois picos nitidamente destacados em relação aos menores picos adjacentes (Figura 3.e);

- Não Caracterizados (NC): nesta classe o comportamento do hietograma não se apresenta semelhante a nenhuma das anteriores, uma vez que o perfil deste gráfico é alternado por vezes entre trechos constantes e picos notáveis. A disparidade deste perfil faz com que se torne grosseira a associação do seu hietograma real com alguma classe geométrica. Assim sendo, este tipo de hietograma sintético agrupa todos os hietogramas reais que possuem comportamentos amorfos (Figura 3.d).

Em um contexto mais abrangente, a classificação dos hietogramas sintéticos é feita em seis classes. Portanto, assim foi considerado nas análises deste estudo. A seguir, a Figura 3 apresenta a associação de cada tipo de hietogramas sintéticos aos respectivos reais.

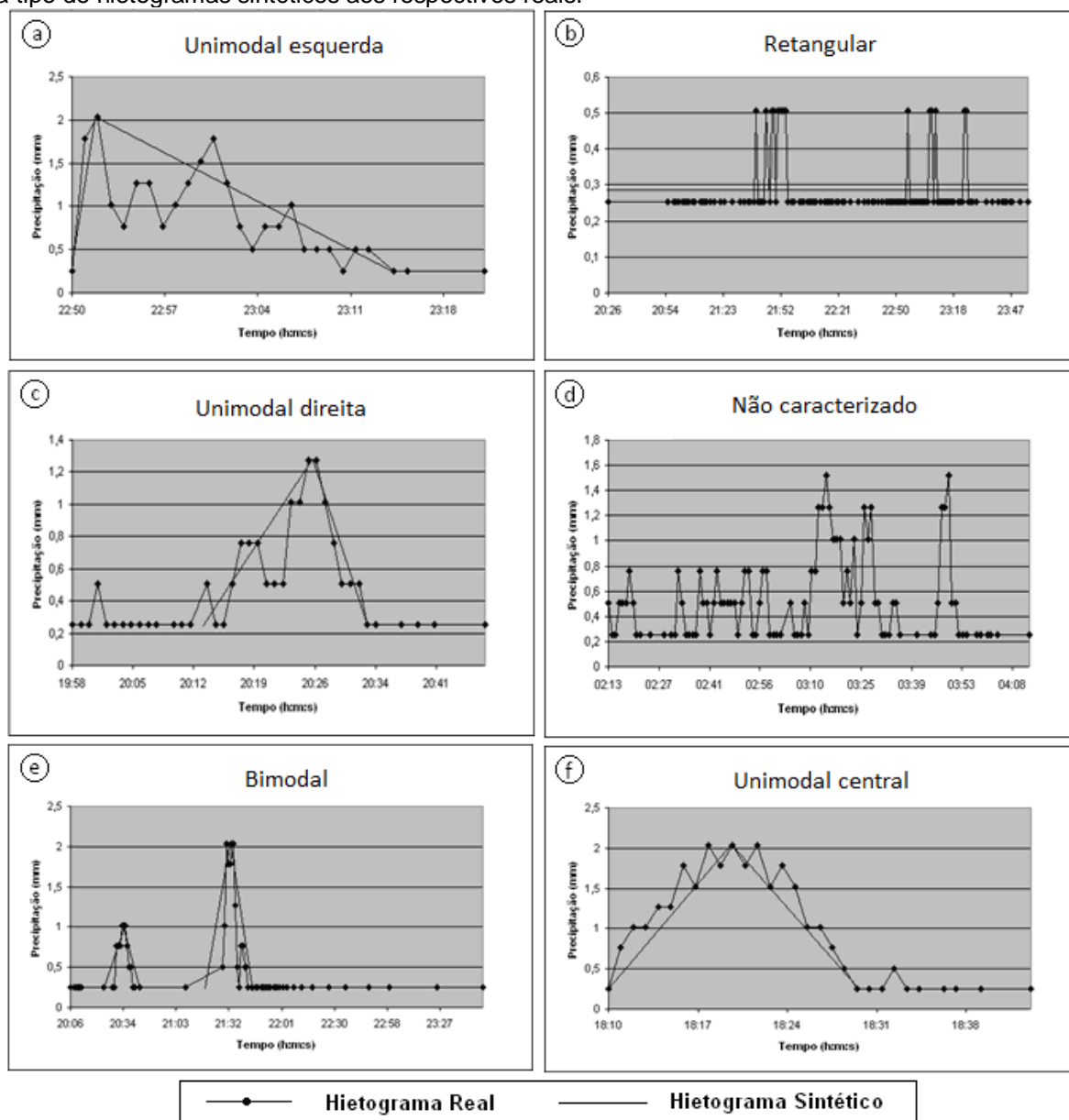


Figura 3 - Classificação dos hietogramas sintéticos.

2.2.3 – Análise estatística dos hietogramas sintéticos

Após a classificação dos eventos chuvosos, foram realizadas diversas análises estatísticas dos eventos caracterizados com relação aos seguintes parâmetros de precipitação:

- Momento inicial de ocorrência (hora:minuto:segundo);
- Duração (minutos) do evento chuvoso;
- Valor de pico máximo (milímetros)

- Valor do evento acumulado (milímetros);
- Intensidade do evento (milímetros/minuto);

Em cada posto pluviográfico (2, 4 e 9) foram conduzidos estudos similares de análise de frequência absoluta e relativa para cada um dos tipos de hietogramas sintéticos, do seguinte modo:

- Cada parâmetro de precipitação foi subdividido em categorias, denominadas condições, sendo estes intervalos de valores determinados por: estatística (no caso da precipitação acumulada e da intensidade), condições climatológicas (no caso de tempo inicial de ocorrência) e conveniência de estudo (no caso da duração e pico máximo do evento).
- Para as categorias definidas foram obtidos em porcentagem, as frequências de cada tipo de hietograma sintético, e com os mesmos desenharam-se gráficos de barras correlacionando as mesmas condições (intervalos) dos três postos estudados. Na abscissa desses diagramas estão os tipos de hietogramas e em sua ordenada as frequências relativas encontradas.
- Com os diagramas desenhados, procurou-se verificar entre os postos, semelhanças de comportamento das frequências relativas calculadas, e entre os gráficos, analisar a existência ou não de tendências para cada condição anteriormente definida.

Para todas as análises conduzidas neste trabalho foi utilizado o programa Excel com sua linguagem de programação, o VBA (*Visual Basic of Application*). Os programas foram criados no intuito de facilitar as análises realizadas.

2.2.4 – Distribuição mensal dos hietogramas sintéticos e das suas taxas de contribuição

Após a análise primordial de frequência relativa, onde se procurou associar os hietogramas sintéticos a alguns parâmetros de precipitação, ampliou-se a busca por maiores interpretações, realizando o estudo daqueles sob uma ótica macroscópica. Optou-se por associar a cada precipitação mensal acumulada, as suas respectivas: distribuição de frequências de hietogramas sintéticos e distribuição das parcelas de contribuição nas lâminas mensais. Com o propósito de configurar gráficos que permitissem comparar e analisar, diretamente, o comportamento dos mesmos, a fim de obter mais conclusões sobre tais.

As análises de frequências em nível mensal, como no método anterior, também foram realizadas do ano de 2008 até 2010, e englobaram todos os eventos dos postos 2, 4 e 9. Contudo nesta conjuntura, os procedimentos que culminam na diagramação das distribuições mensais dos hietogramas sintéticos, de suas porcentagens de contribuição, e das precipitações acumuladas, sucederam-se conforme os seguintes passos:

- Tabelaram-se todos os eventos, previamente classificados e quantificados segundo seu tipo de hietograma e sua precipitação acumulada, subseqüentemente em ordem cronológica para cada mês, de maneira a dispor de todos os valores totais de precipitação.
- Posteriormente, adotou-se dois procedimentos de cálculo; um para a estimativa das frequências relativas dos hietogramas sintéticos e outro para as parcelas de contribuição de cada tipo de hietograma. O primeiro priorizou a descoberta das porcentagens relativas mensais de ocorrência de todos os seis tipos de hietogramas, isto foi feito, para cada posto, somando-se a quantidades de eventos cujos hietogramas sintéticos eram análogos e dividindo, os valores resultantes, pelo número total de eventos ocorridos no mesmo mês.

Já o segundo procedimento visou a descoberta da taxa de contribuição de cada tipo de hietograma na precipitação mensal acumulada. Isto foi realizado, para cada posto, somando-se as precipitações absolutas dos eventos cujos hietogramas sintéticos eram análogos, e depois calculando a razão entre os valores totalizados e a respectiva precipitação mensal acumulada, obtendo-se, por fim, as parcelas de contribuição de cada tipo de hietograma no total acumulado. É importante observar, que as porcentagens totalizadas pelos hietogramas neste último procedimento, não correspondem aos 100% das precipitações mensais, devendo-se levar em conta que as porcentagens dos eventos tidos como não consideráveis, dispensados no início do estudo, também participam da precipitação acumulada.

- Tomando posse das frequências relativas de cada tipo de hietogramas sintéticos e de suas contribuições em cada mês, tabelaram-se estes resultados e em seguida foram feitos dois conjuntos de gráficos que acomodaram cada um, três diagramas relativos aos três anos de dados. No primeiro conjunto, para cada ano isolado, as linhas de precipitações mensais acumuladas de cada posto, separadamente, foram atreladas mês a mês aos valores de frequência relativa de cada tipo de hietogramas sintético (representados por gráficos de barras), isto é, gerando uma distribuição de porcentagem de hietogramas para cada valor total de lâmina de água precipitada por mês.

Já o segundo conjunto de gráfico associou ao invés das frequências relativas, as taxas de contribuição de cada tipo de hietograma sintético, gerando uma distribuição de porcentagens de hietogramas para cada valor mensal de lâmina de água precipitada, ao longo dos três anos de dados.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Numa estreita faixa litorânea, um componente aleatório bastante importante existe devido as brisas marítimas. Um estudo de regressão mostra uma dependência notória, no caso das ondas de leste, dos totais precipitados com a distancia à linha de costa e a altitude (RODRIGUES & SILANS, 2002). Assim sendo, as precipitações anuais registradas no posto 9 tenderam a valores superiores aos gravados nos outros postos, o que pôde ser percebido durante a análise dos dados pluviométricos, quando na forma de eventos chuvosos.

Levando-se em consideração as restrições, anteriormente descritas, para a caracterização de um evento, obtiveram-se 653 eventos para o posto 2, 656 eventos para o posto 4 e 706 eventos para o posto 9, ao longo dos três anos consecutivos. O que evidencia a sensível variabilidade da precipitação do último para os primeiros.

Tabela 1 – Total precipitado em cada posto analisado

Posto estudado	Precipitação anual (mm) Ano 2008	Precipitação anual (mm) Ano 2009	Precipitação anual (mm) Ano 2010
2	1.759,97	1.934,21	1.167,89
4	1.722,37	1.903,98	1.125,98
9	1.891,28	1.965,71	1.325,88

A Tabela 1 apresenta as precipitações anuais capturadas por cada posto pluviográfico estudado, onde se pode notar que os dois primeiros anos apresentaram precipitações acima do normal, já o terceiro, valores abaixo da média, sendo neste configurado um ano seco. Verifica-se entretanto, na Tabela 2, que diferentemente dos anos onde houve abundancia de chuvas, no ano que apresentou ausência delas, o posto 9 permaneceu com um número de eventos semelhante aos anteriores, demonstrando a possível influência das massas de ar litorânea na ocorrência de seus eventos chuvosos.

Tabela 2 – Número de eventos chuvosos caracterizados em cada posto analisado

Posto estudado	Eventos caracterizados Ano 2008	Eventos caracterizados Ano 2009	Eventos caracterizados Ano 2010
2	229	245	179
4	230	249	177
9	245	228	233

Após essa explanação inicial dos resultados, seguindo o contexto, todos os eventos estudados foram desenhados e seus respectivos hietogramas reais obtidos, para posterior associação com os hietogramas sintéticos predefinidos. Tudo isto para que fossem começadas as análises estatísticas destes.

Assim, calcularam-se as porcentagens relativas dos tipos de hietogramas sintéticos na distribuição de eventos entre anos. Nesta avaliação, optou-se pela representação das porcentagens em gráficos do tipo “pizza”, através dos quais se observou a predominância incontestável de hietogramas do tipo retangular, cujo valor médio de 70,1% não variou significativamente em relação ao resultado existente antes da inclusão do terceiro ano de dados, esse que era de 69,84%. Além disto, foi notada uma queda no número de hietogramas do tipo unimodal central com relação aos anos anteriores e uma elevação na porcentagem do hietogramas do tipo unimodal à esquerda para 9,17%, ambos verificados no ano de 2010. A seguir, na Figura 4, estão representados os valores das porcentagens relativas das classes de hietogramas sintéticos na análise entre os anos.

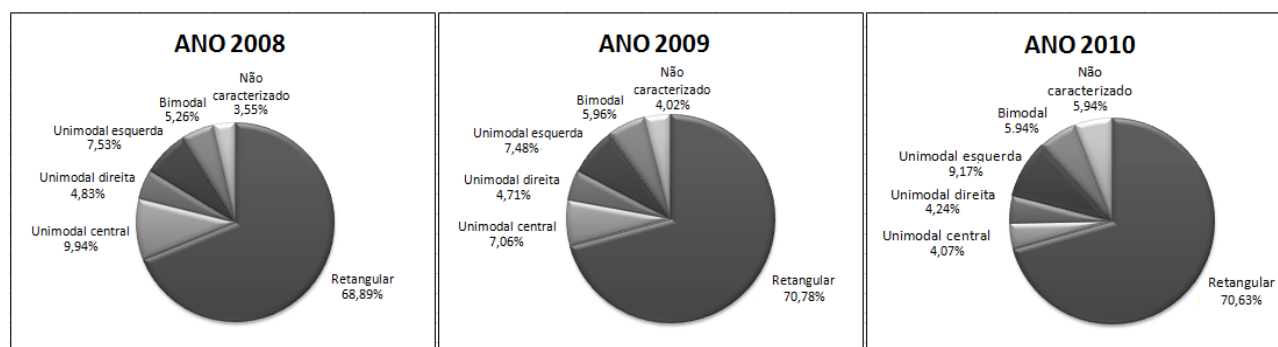


Figura 4 - Distribuição dos hietogramas sintéticos para cada ano estudado.

Logo após a primeira crítica estatística, verificou-se a existência de correlação entre os tipos de hietograma sintético e os parâmetros de precipitação dos eventos chuvosos, o que foi feito analisando a

média e o desvio-padrão destes parâmetros com os referidos hietogramas. Nesta ocasião, ao se sopesar todos os diagramas obtidos, verificou-se que os desvios padrões foram altos, sendo a intensidade do evento chuvoso aquele que possuiu maiores desvios, por isto foi dispensada das próximas análises. Visualizou-se ainda que nos itens de duração de evento chuvoso e total precipitado, as médias dos hietogramas sintéticos registraram sensíveis quedas no ano de 2010 (considerado seco). Tais resultados foram discutidos a partir da observação dos gráficos da Figura 5.

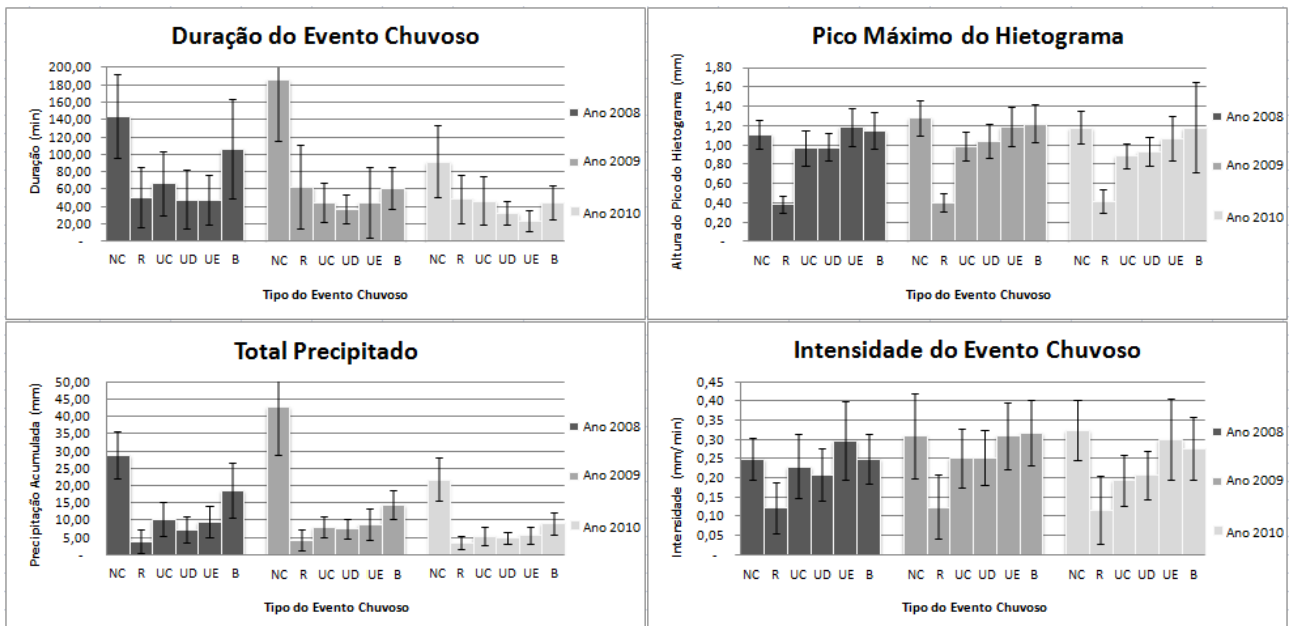


Figura 5 - Comparações entre os tipos dos hietogramas e os parâmetros dos eventos chuvosos.

Além dessa análise anterior, para cada característica (duração do evento, pico máximo, precipitação acumulada, tempo inicial de ocorrência) foram estabelecidos critérios para dividir em intervalos os eventos chuvosos de um mesmo tipo de hietograma sintético. Os critérios utilizados procuraram dividir os parâmetros em faixas de intervalos distintas, que permitissem da melhor maneira analisar a variação da frequência relativa de cada evento para cada condição considerada, além de permitir a diagramação dos mesmos, de modo que facilitasse a interpretação e discussão dos resultados. Assim, obtiveram-se diversos gráficos, dentre os quais foram selecionados aqueles que apresentaram resultados conclusivos, os quais serão mais bem avaliados no percurso deste artigo.

De posse dos intervalos bem definidos, para todos os parâmetros de precipitação, tabelaram-se todas as frequências absolutas e relativas de cada tipo hietograma sintético, que foram representados através de diagramas, no intuito de facilitar a visualização dos resultados. As principais observações feitas sobre estes gráficos partiram do comportamento dos hietogramas sintéticos dentro das classes dos parâmetros B e da verificação de tendências ao longo destas classes.

A primeira característica escolhida para ser analisada foi a duração do evento chuvoso. As classes foram escolhidas, convenientemente, para promover uma espacialização ótima dos eventos de durações diferentes. Selecionaram-se intervalos de 10 em 10 minutos até os primeiros 60 minutos, de 60 a 80 minutos, de 80 a 120 minutos e acima de 120 minutos, totalizando 9 classes de intervalos de duração.

Para a averiguação dos resultados, foram escolhidas três dentre os intervalos, como demonstrado na Figura 6, que relacionam as frequências relativas dos eventos aos intervalos de duração.

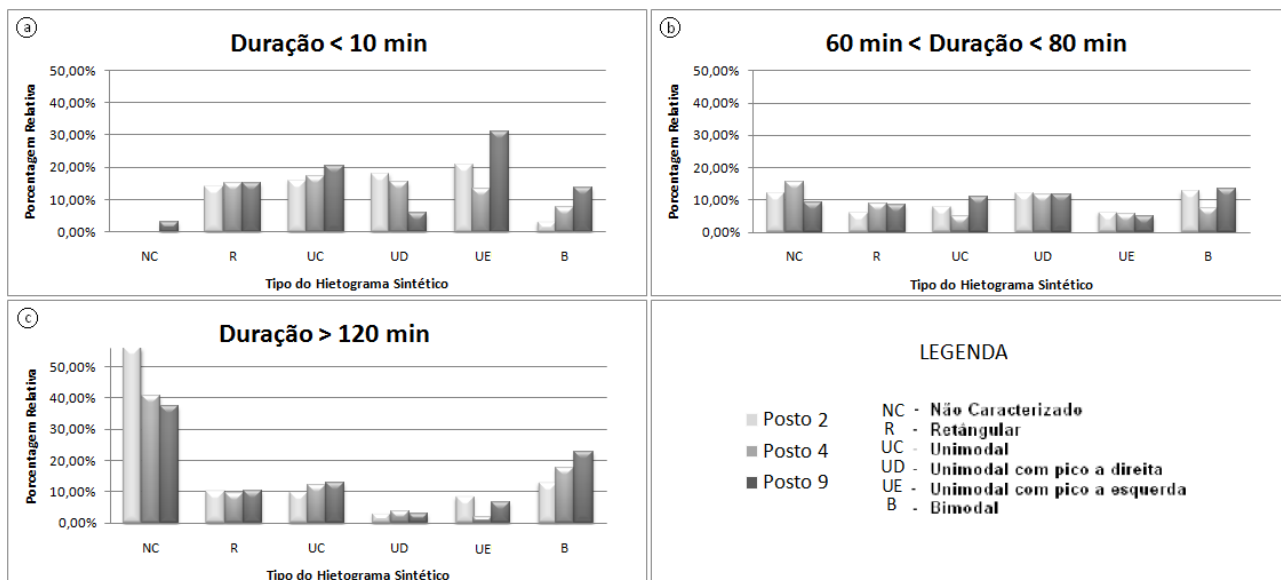


Figura 6 - Comparação entre duração do evento chuvoso e o tipo de hietograma sintético.

Na Figura 6.a, pode-se ver a ausência quase total de hietogramas sintéticos do tipo não caracterizado em todos os postos, mostrando que quanto menores forem as durações dos eventos, mais fácil será a associação destes aos hietogramas morfológicos. Já na Figura 6.b, nota-se a presença do tipo não caracterizados e uma certa aproximação nas freqüências de todos os hietogramas, indicando uma variedade de comportamento dos eventos chuvosos, quando estes apresentarem durações intermediárias.

Enfim, na Figura 6.c visualiza-se a predominância majoritária dos hietogramas do tipo não caracterizado, acompanhado de comportamentos relativamente semelhantes dos outros tipos, entre todos os postos, estando o tipo unimodal com pico à direita praticamente inexistente. Isto mostra que, à medida que os eventos chuvosos têm maior duração, há uma dificuldade de classificá-los nos formatos mais comuns. As outras classes desse parâmetro não foram apresentadas nesse artigo uma vez que não possuíam nenhum resultado relevante.

A próxima categoria analisada foi a altura de pico máximo, onde este foi dividido, convenientemente, em classes relacionadas à lâmina máxima precipitada medido com o número de basculadas executadas pelo pluviógrafo, são elas: igual a 0,254 mm, igual a 0,508 mm, igual a 0,762 mm, de 1 a 1,5 mm e maior que 1,5 mm.

A Figura 7 mostra a comparação feita entre o tipo de hietograma sintético e o pico máximo do evento chuvoso para cada um dos três postos estudados. Nas duas primeiras condições (Figura 7.a e Figura 7.b) verifica-se a existência quase totalitária de eventos do tipo retangular para picos de menores lâminas d'água (0,254 e 0,508 mm), caindo abruptamente sua dominância quando de picos superiores. Em eventos com picos de 0,762 mm (Figura 7.c), observa-se um fato notório relacionado à ocorrência de hietogramas do tipo unimodal central acima da porcentagem relativa de 50% em todos os postos. Quanto ao tipo unimodal com pico a direita nada pode ser concluído, pois o posto 2 apresenta valores indiferentes quando comparados aos dos outros postos. Já para picos máximos entre 1 e 1,5 mm (Figura 7.d), vê-se que exceto o tipo retangular, todos os outros em todos os postos possuíam freqüências relativas acima de 30%, demonstrando ser neste intervalo, onde a variabilidade de hietogramas apresentou-se maior.

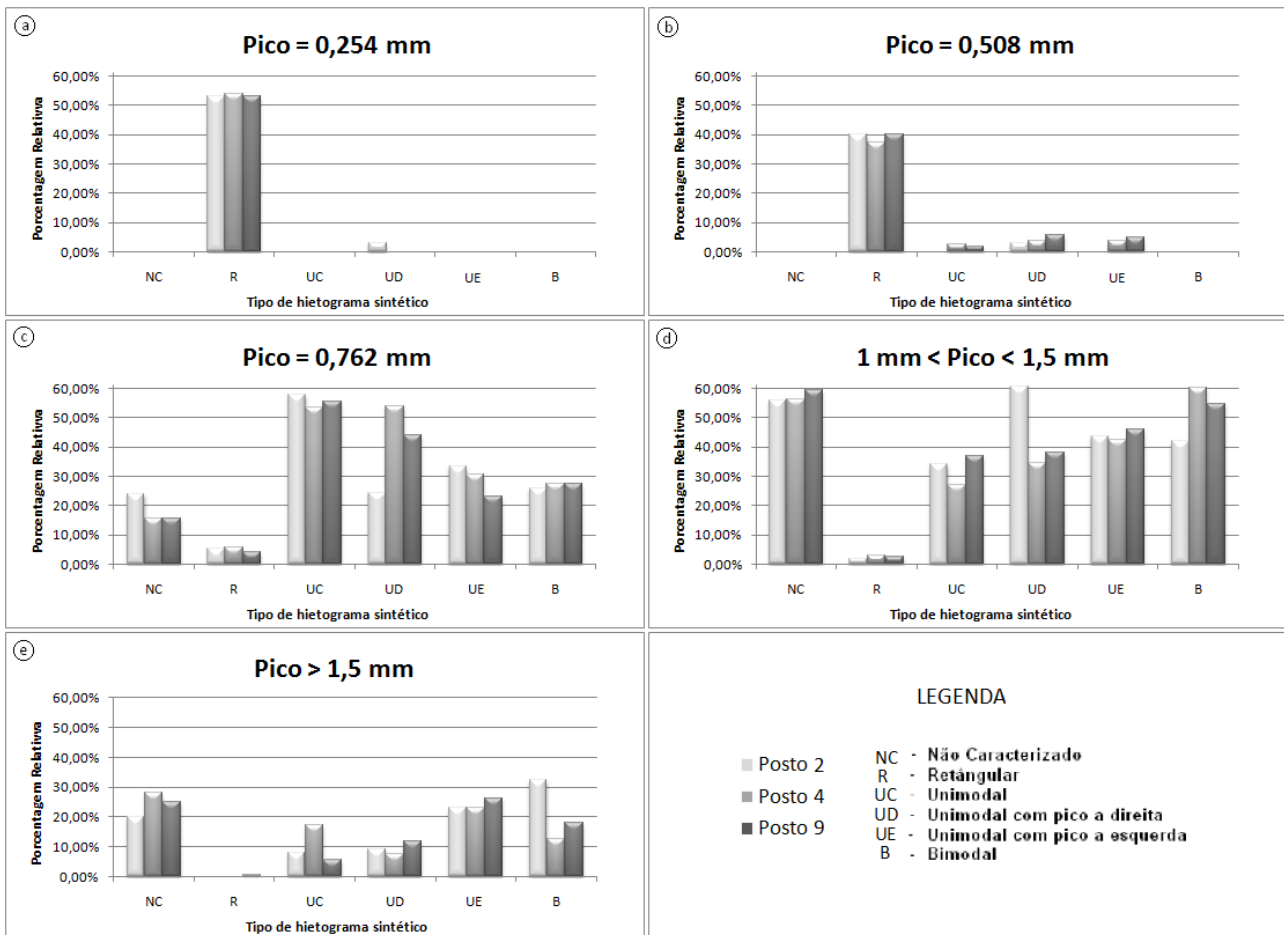


Figura 7 - Comparação entre o pico máximo do evento chuvoso e o tipo de hietograma sintético.

Em seguida foi analisada a categoria referente à precipitação acumulada de cada evento chuvoso, a qual foi dividida em 6 classes por meio de métodos estatísticos, que levavam em conta o comportamento log-normal da distribuição da série completa destas precipitações. Por conseguinte, determinaram-se os próximos intervalos, são eles: de 1,259 a 2,570 mm, de 2,570 a 5,495 mm, de 5,495 a 11,749 mm, de 11,749 a 25,119 mm, de 25,119 a 53,703 mm e de 53,703 a 114,815 mm.

A Figura 8 compara o tipo de hietograma sintético com a precipitação acumulada do evento chuvoso para os postos 2,4 e 9. Na Figura 8.a, nota-se a predominância do hietograma retangular, que margeia o patamar de 60% da freqüência relativa dessa condição, a qual engloba os eventos de menores precipitações acumuladas. Já na classe posterior (Figura 8.b) vê-se o crescimento da freqüência dos outros hietogramas, exceto o não caracterizado, seguidos por um decréscimo do tipo retangular. E ao longo das condições subseqüentes (Figura 8.c.d.e), observa-se um aumento progressivo da frequência dos hietogramas não-caracterizados e a contínua redução dos retangulares, mostrando a crescente dificuldade de classificação dos eventos, a medida que a lâmina precipitada se eleva. O gráfico da última classe (53,703 a 114,815 mm) foi desconsiderado nesse artigo, uma vez que a ocorrência de eventos foi irrelevante, totalizando apenas 0,4% dos eventos gerados.

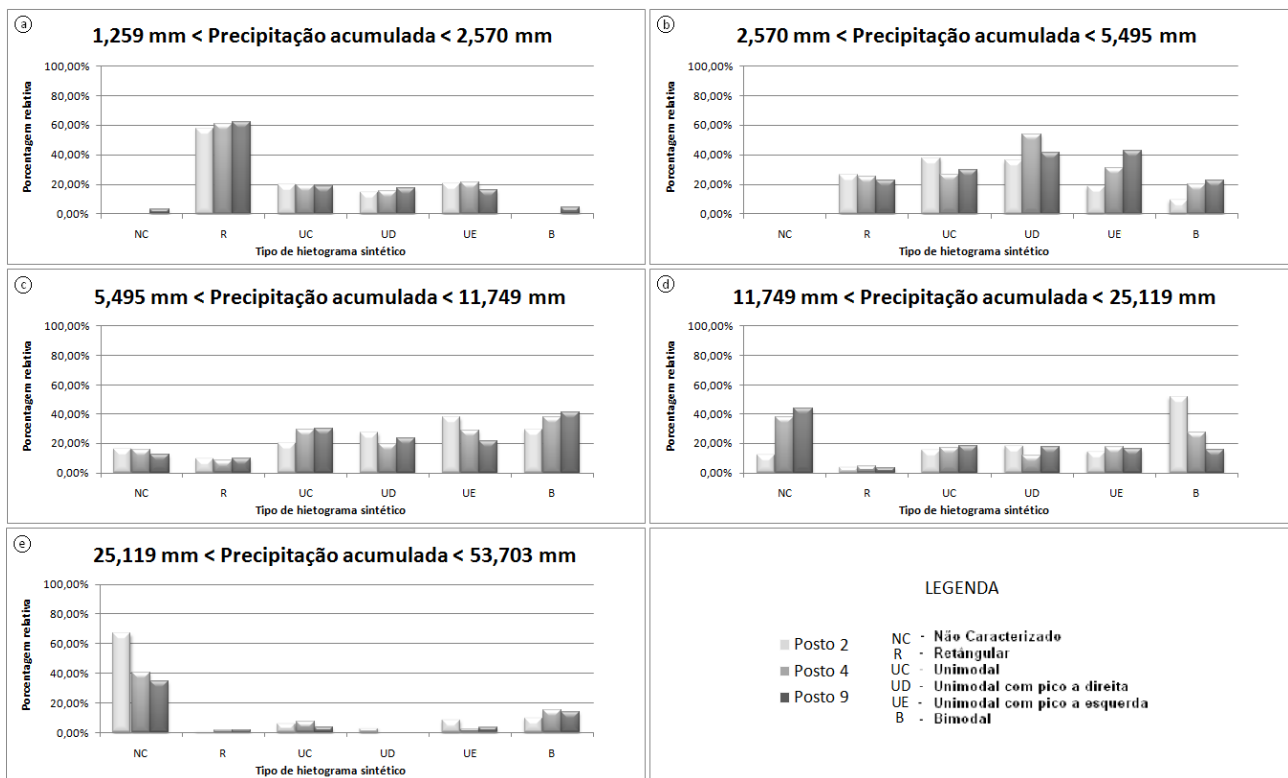


Figura 8 - Comparação entre a precipitação acumulada do evento e o tipo de hietograma sintético.

Por fim, analisou-se a categoria referente ao horário de início de cada evento chuvoso, a qual foi dividida, convencionalmente, em 6 classes, cujos intervalos variavam de 00:00 a 05:30, de 05:30 às 11:00 horas, de 11:00 às 14:00 horas, de 14:00 às 17:30 e de 17:30 às 00:00 horas.

Na Figura 9, vê-se claramente que a ocorrência dos eventos chuvosos sofre influência das condições meteorológicas do dia. Durante as tardes pode ser notada uma redução no nível de ocorrência dos hietogramas, cujas frequências se elevam entre as 17:30 e as 11:00 horas do outro dia, ou seja, quando é noite ou o dia está ameno. Desta maneira, a temperatura fria mostra sua influência na quantidade de eventos para cada intervalo, o que não está tão evidente na distribuição dos hietogramas, já que a maioria das frequências de todos os tipos de hietogramas apresenta uma perceptível homogeneidade, isto é, a maior parte dos hietogramas surge razoavelmente alinhada nos intervalos de horário inicial. Sendo percebido durante as madrugadas (Figura 9.a), as maiores porcentagem dos tipos não caracterizado e retangular, que ultrapassam o patamar de 30% em todos os postos. No mais, não se pode advertir nenhum outro comportamento tendencioso entre os mesmos.

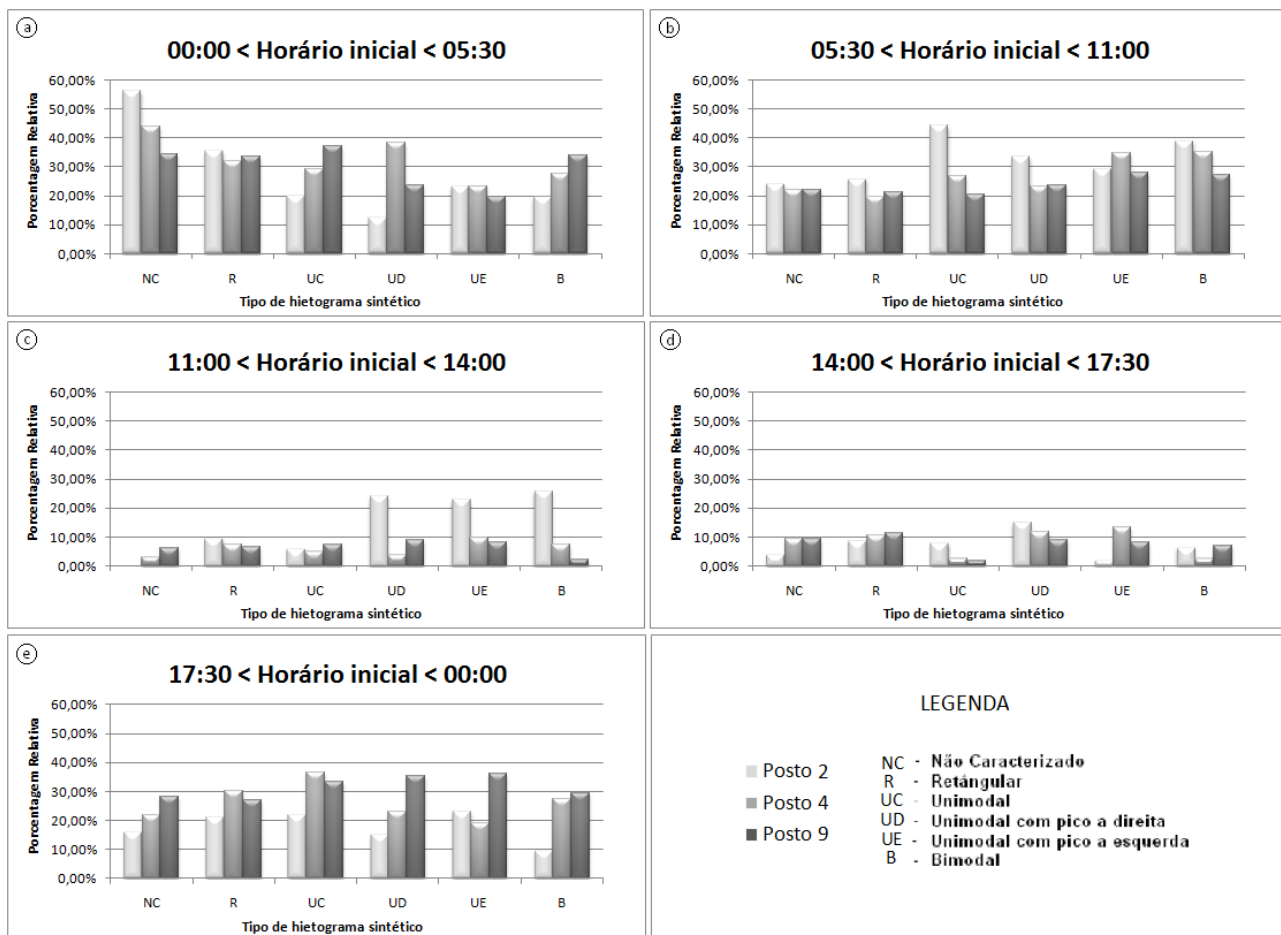


Figura 9 - Comparação entre o horário inicial do evento e o tipo de hietograma sintético.

Além das características dos eventos chuvosos abordadas acima, o parâmetro da intensidade chuvosa também foi analisada no intuito de inferir mais conclusões sobre os resultados levantados. Entretanto, observaram-se comportamentos divergentes entre os postos, que para esse artigo foram desconsideradas uma vez que se apresentaram irrelevantes.

Finalizado o estágio das análises de frequência dos hietogramas sintéticos relativos às características de precipitação, iniciaram-se novas observações, que disseram respeito à distribuição dos hietogramas sintéticos e às taxas de contribuição dos mesmos, sobre o âmbito mensal das precipitações acumuladas. Tais procedimentos foram precedidos pela delineação das lâminas mensais em gráficos de dispersão, conforme a **Figura 10**, por meio dos quais foram verificados, em torno dos anos, comportamentos congruentes entre os postos 2 e 4, o que foi deferido ao posto 9 (traçado em linha vermelha) apenas em 2010, uma vez que nos anos anteriores ele apresentou um diferente regime de variações de pico, provavelmente explicado pela distância de locação no interior da bacia.

Após a análise dos regimes de precipitações mensais, realizou-se a análise da distribuição de ocorrência dos hietogramas sintéticos. Nesta etapa, buscou-se pela observação dos diagramas, demonstrar a representatividade dos hietogramas, dentre os quais surge, majoritariamente, o tipo retângular, cujas frequências abrangem a maioria dos meses, sendo portanto, a classe de eventos que mais ocorreu na bacia do rio Gramame, como mostrado na Figura 11, Figura 12 e Figura 13. Todavia, pode ser vista uma distribuição mais equilibrada durante os primeiros semestres dos anos, onde ocorrem ténues reduções dos níveis dos picos retangulares, o que é rebatido nos semestres seguintes, através da ascensão destes picos.

Ao longo dos meses de 2008, 2009 e 2010, não houve nenhum padrão de picos característicos para os hietogramas sintéticos, exceto o do tipo retângular. A Figura 14, apresenta o comportamento deste hietograma nos três postos estudados, onde é perceptível, em certas ocasiões, a existência de depressões resultantes tanto da associação dos eventos aos tipos unimodais, como da inexistência de hietogramas sintéticos (outubro de 2009). Na mesma imagem, pode-se notar ainda um certo padrão de crescimento das linhas de pico retangulares, reafirmando o que fora dito anteriormente a respeito da crescimento da frequência destes ao passar do ano.

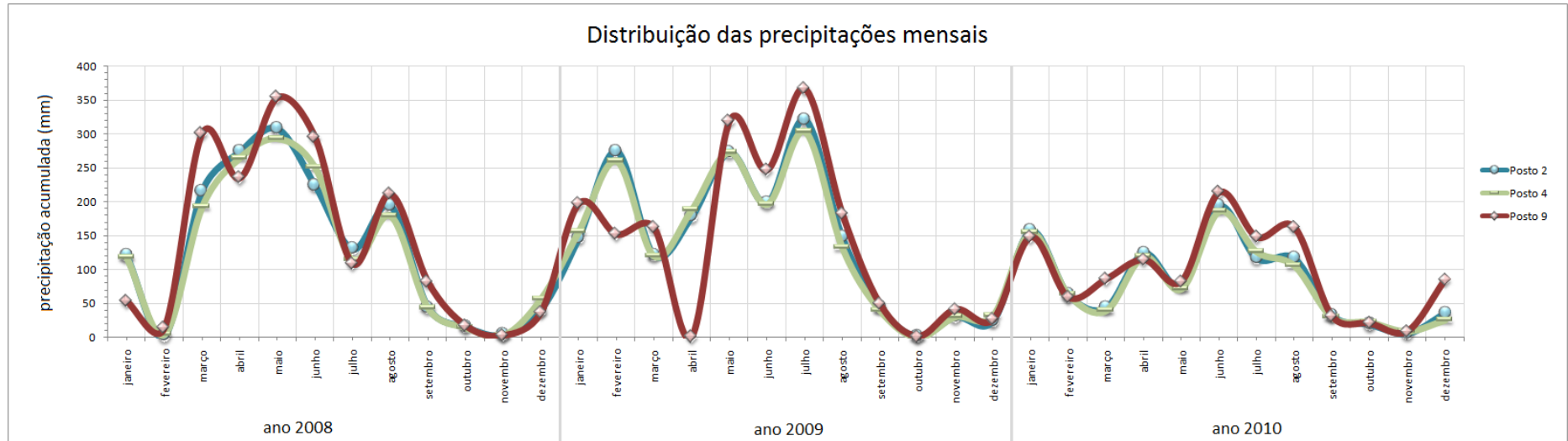


Figura 10 - Distribuição das precipitações mensais nos três postos estudados ao longo dos anos

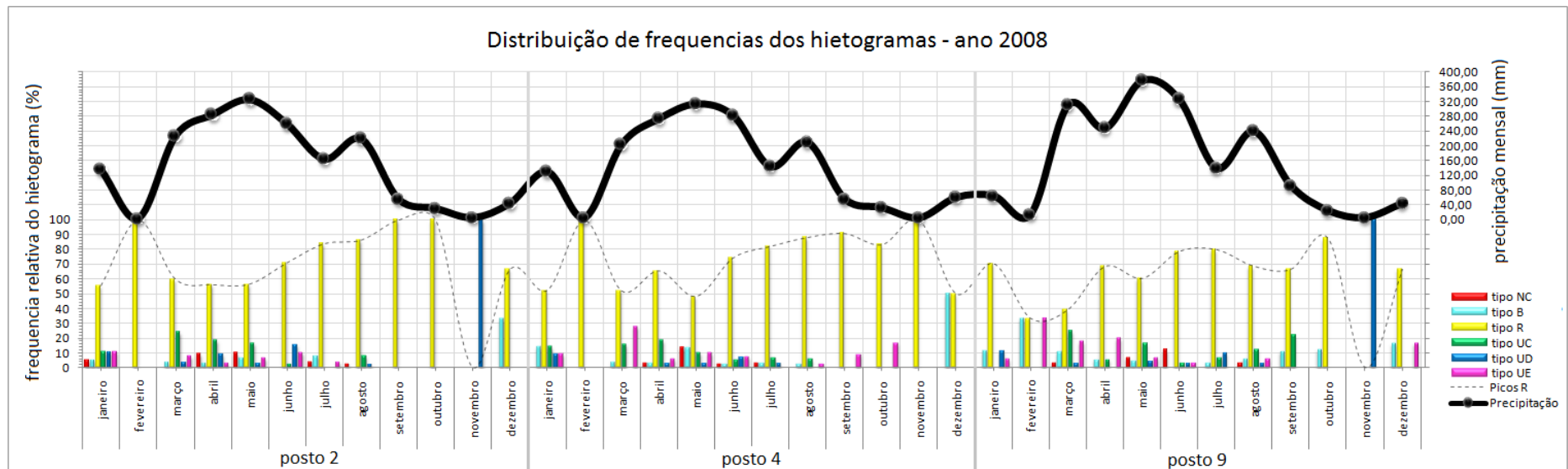


Figura 11 - Distribuição das frequências relativas dos hietogramas durante o ano de 2008

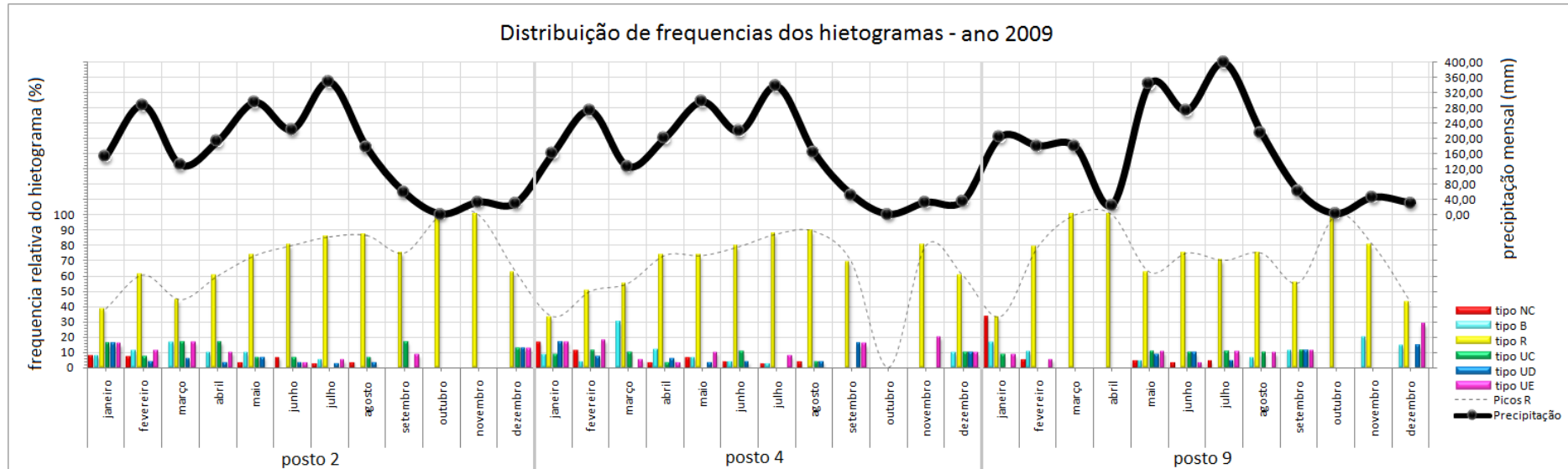


Figura 12 - Distribuição das frequências relativas dos hietogramas durante o ano de 2009

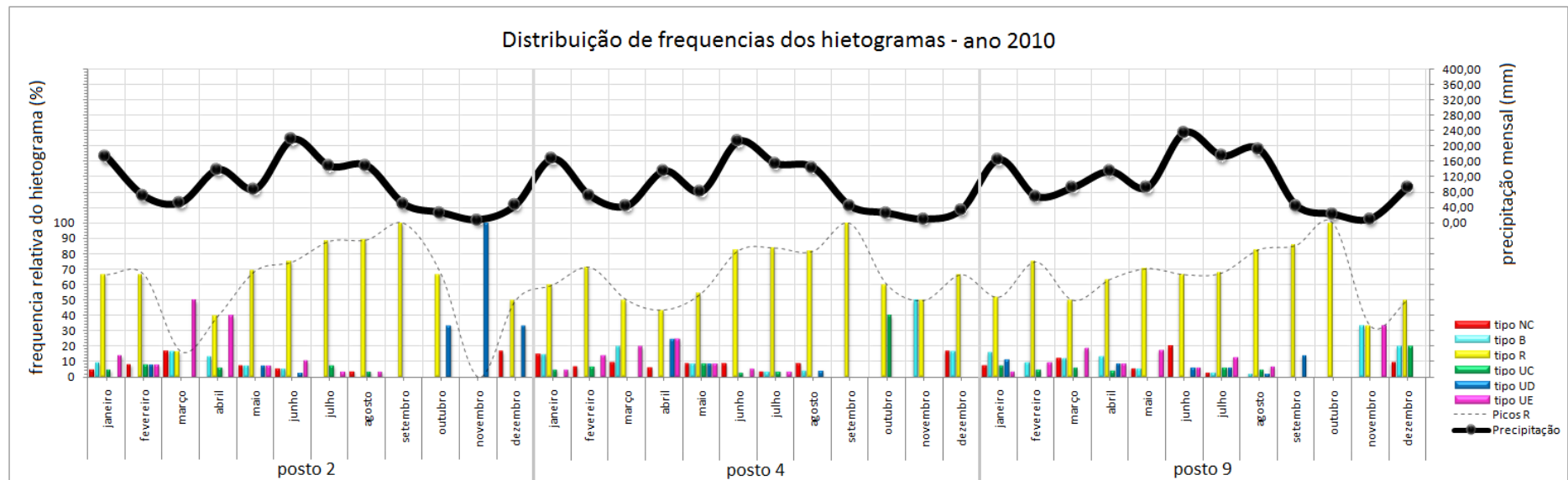


Figura 13 - Distribuição das frequências relativas dos hietogramas durante o ano de 2010

Posteriormente às verificações de ocorrência dos hietogramas sintéticos, começaram-se as análises derradeiras deste artigo, que foram feitas em cima das distribuições mensais das taxas de contribuição dos hietograma sintéticos ao longo dos anos, segundo os diagramas apresentados na Figura 15, Figura 16 e Figura 17.

O primeiro tipo de hietograma analisado foi o não caracterizado (NC), que no ano de 2008, ocorreu principalmente nos meses de maiores picos, sendo apurado em todos os meses de maio. Porém, no ano 2009, o mesmo hietograma apareceu, pertinentemente, mais frequente no mês de janeiro do que nos meses de pico, em contrapartida permaneceu presente em todos estes meses, dentre os quais se destacou julho. E para o ano de 2010, mostrou-se em maior quantidade ao longo de quase todos os meses, estando mais concentrado no posto 9 e totalmente ausente naqueles em que se registraram as menores precipitações (setembro, outubro e novembro). Nestes três meses, não foi registrado nenhum hietograma do tipo não caracterizado ao longo dos três anos.

Em seguida, tomaram-se os hietogramas unimodais ou triangulares (UC, UD e UE), que por sua vez não demonstraram, com o passar dos anos, nenhuma forte correlação com as altas precipitações mensais. Surgindo, notoriamente, em alguns meses com baixas precipitações, quando sua presença pode ter sido motivada pelo fato de alguns eventos, a princípio classificados como retangulares, serem tidos como unimodais devido à aparência dos seus hietogramas observados. O que reforça a necessidade de uma classificação minuciosa dos eventos.

Posteriormente, avaliou-se o hietograma retangular (R), cuja classe agrupou a maioria dos eventos chuvosos desta pesquisa, conforme mostrado nos gráficos acima, e destacou-se por está presente em quase todos os meses dos anos, ascendendo principalmente nos menos chuvosos. Além disto, apresentou um comportamento característico, estando seus picos em frequências aproximadas (exceto em alguns pontos, cujos eventos foram associados à hietogramas unimodais), divergindo do posto 9, cujo comportamento pode está atrelado ao seu posicionamento na bacia.

Por fim se analisou o hietograma bimodal (B), que em 2008, espalhou-se melhor ao longo dos meses no posto 9, densificando-se acima de 70% no mês de dezembro dos postos 2 e 4; o que não se reproduziu em nenhum mês dos anos 2009 e 2010, mostrando a falta de correspondência nos resultados desta classe.

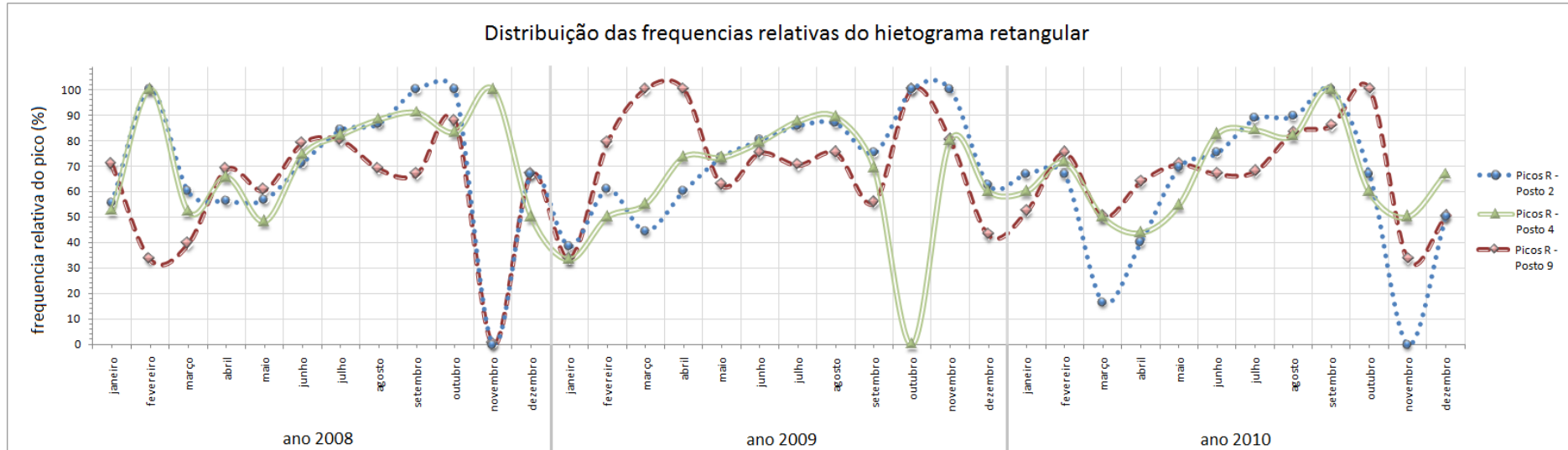


Figura 14 - Distribuição das frequências relativas de ocorrências dos hietogramas retangulares nos três postos ao longo dos anos

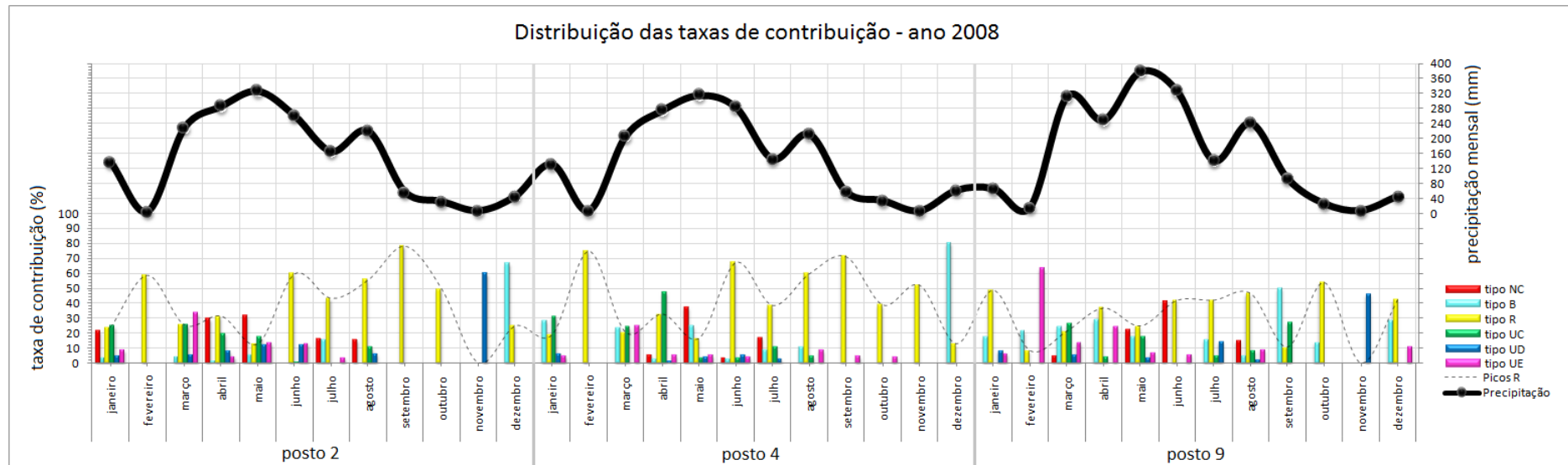


Figura 15 - Distribuição das taxas de contribuição dos hietogramas, durante o ano de 2008, na lâmina d'água mensal

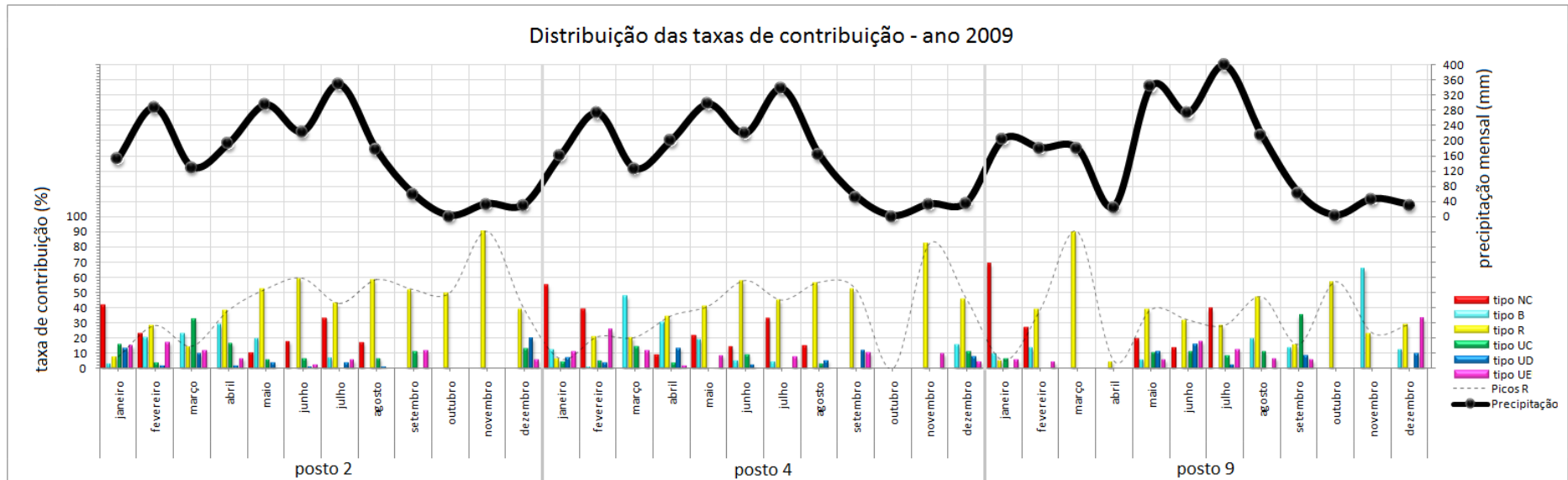


Figura 16 - Distribuição das taxas de contribuição dos hietogramas, durante o ano de 2009, na lâmina d'água mensal

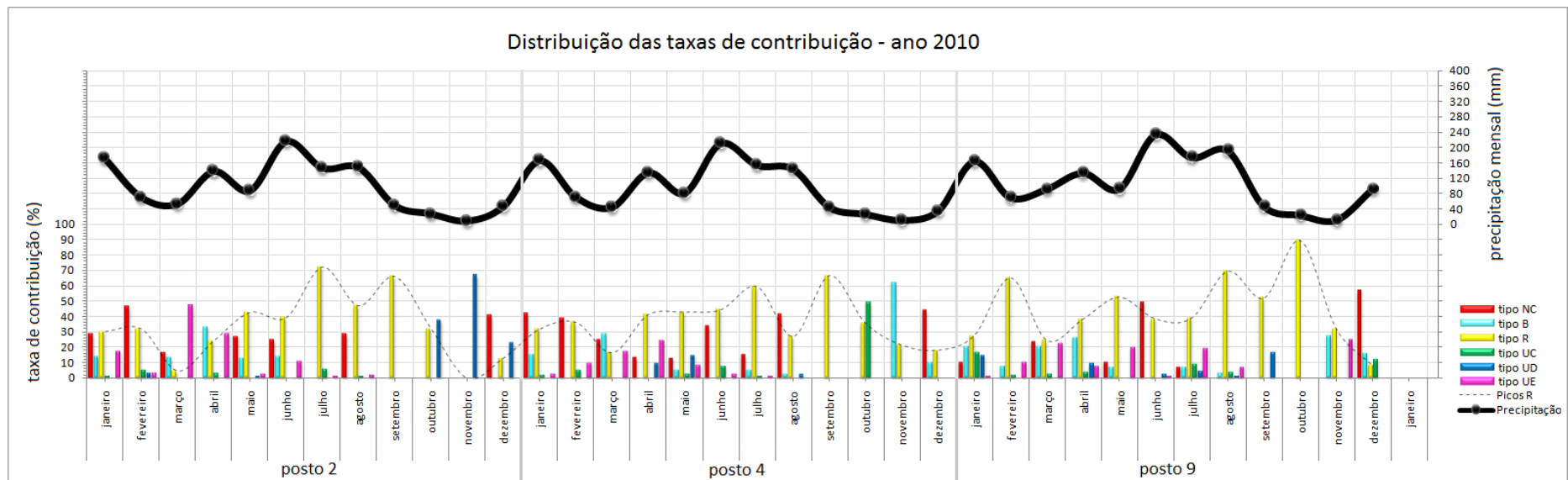


Figura 17 - Distribuição das taxas de contribuição dos hietogramas, durante o ano de 2010, na lâmina d'água mensal

4 – CONCLUSÕES

Ao longo desse artigo foram analisados os dados coletados entre os anos de 2008 e 2010 em três postos pluviográficos da bacia do rio Gramame no estado da Paraíba. Em conjunto, esses dados foram agrupados gerando os eventos chuvosos, sendo consideradas algumas restrições de tempo e precipitação acumulada, para em seguida serem representados por diagramas denominados hietogramas reais (ou observados), e finalmente associados à hietogramas sintéticos idealizados nesse estudo. A partir do realizado, fizeram-se comparações entre os hietogramas sintéticos e as características (ou parâmetros) dos eventos chuvosos, obtendo resultados conclusivos dos comportamentos dos gráficos entre os postos, bem como verificando a variância destes gráficos entre as classes (ou categorias) de cada parâmetro escolhido. Além disto, realizaram-se análises relacionadas às distribuições tanto dos hietogramas sintéticos em nível mensal, como de suas parcelas de contribuições nas precipitações mensais registradas. As conclusões tiradas desse estudo foram as seguintes:

- Das comparações realizadas entre os números de eventos caracterizados e as precipitações anuais capturadas pelos postos pluviográficos, revelou-se um comportamento desigual no posto 9. Este apresentou uma certa regularidade no número de eventos chuvosos, embora o ano de 2010 tenha sido seco, o que pode ser explicado pela influência das massas de ar litorânea, uma vez que este se situa mais próximo ao litoral.

- Na distribuição dos hietogramas sintéticos para os três postos pluviográficos desse estudo, a maioria dos eventos chuvosos foi classificada como retangular, cuja predominância alcançou em torno de 70,1% do total de eventos. Isto pode ser justificado pelo fato do tipo retangular englobar chuvas quer de menores proporções, quer de maiores magnitudes;

- Para o horizonte temporal de dados dessa pesquisa, que foi de 3 anos, verificou-se a não correlação entre as médias e desvios padrões nas comparações feitas entre os tipos dos hietogramas e os parâmetros dos eventos chuvosos, visto a ocorrência de desvios padrões de grandes amplitudes que foram observados em todos os anos;

- Através das repartições de algumas características de precipitação em classes bem definidas, puderam-se verificar, dos hietograma sintéticos, alguns comportamentos relevantes entre os intervalos das classes, e semelhantes entre os postos pluviográficos. Mesmo o posto 9 estando mais distante dos outros dois, em cerca de 12-15 km;

- Nessa pesquisa verificou-se que, os tipos não caracterizados e retangulares foram os que mais se associaram a quaisquer classes das características de precipitação. O tipo retangular foi aquele que possuiu, até o pico de 0,508 mm, quase a totalidade dos eventos, estando sua precipitação acumulada boa parte abaixo 5,495 mm. Já para no tipo não caracterizado foi notável a presença de múltiplos picos e eventos de grandes durações, caracterizando-se, também, por ser o qual obteve as maiores precipitações acumuladas;

- Para a característica de horário inicial de evento, constatou-se a influência do período do dia nos níveis de ocorrência dos eventos chuvosos. Durante as tardes pode ser notada uma redução na presença dos hietogramas, cujas frequências se elevam, significativamente, das 17:30 às 11:00 horas. Isto mostra que a temperatura fria influencia na quantidade de eventos para cada intervalo, o que não está tão evidente na distribuição dos hietogramas, já que a maioria das frequências de todos os tipos de hietogramas apresenta uma perceptível homogeneidade, dentro dos intervalos considerados.

- Na análise da distribuição de ocorrência dos hietogramas sintéticos, o tipo retangular foi aquele cujas frequências surgiram, majoritadamente, sobre os outros hietogramas. Assim sendo, verificou-se um comportamento característico de seus picos de frequência, que se elevaram principalmente nos meses cujas precipitações acumuladas eram pequenas e a ocorrência de eventos chuvosos consideráveis, mais escassa.

- Já na análise de distribuição das taxas de contribuição dos hietogramas na lâmina d'água mensal precipitada, notou-se uma distribuição mais balanceada dos hietogramas. Deste modo, enquanto os picos de frequência dos retangulares se destacavam mais vezes com o passar dos anos, os picos dos não caracterizados foram os que registraram o comportamento mais peculiar, visto que no ano seco (2010), estes surgiram com contribuições superiores aos anos anteriores.

Assim, essa pesquisa evidenciou a importância de uma discretização bem feita dos eventos chuvosos nas modelagens, para se obter uma maior precisão na análise e conclusão dos dados observados. Além disto, precisou a necessidade de um horizonte temporal de dados superior a três anos, para que possa analisar, mais detalhadamente, o comportamento dos diagramas deste estudo, e assim chegar a conclusões mais precisas.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo são gratos à FINEP pelo suporte financeiro dado ao projeto BEER, por meio do qual este estudo pôde ser realizado. São gratos também ao CNPq e à UFPB pelas bolsas fornecidas aos alunos de graduação em Engenharia Civil, que fazem parte da equipe do projeto BEER.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, S. M.; FERNANDES, V. S. (2007). "Performance de sensores de Precipitação do Tipo "Tipping Bucket" (Báscula)-Um Alerta para ocorrência de Erros". Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol 12, n.1, 8p.

CAVALCANTE, A. L.; SILANS, A. M. B. P.; SILVA JÚNIOR, W. R. (2007). "Determinação probabilística do número diário de eventos chuvosos". XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Anais, São Paulo, Brasil.

HERSHENHORN, J. S.; WOOLHISER, D. A. (1987). "Disagregation of daily rainfall". Journal of Hydrology, 95: 299-322.

LAMBOURNE, J.J. & STEPHENSON, D. (1987). "Model study of the effect of temporal storm distributions on peak discharges and volumes". Hydrological Sciences - Journal - des Sciences Hydrologiques, Vol. 32, n. 2, 12p.

LIRA, G. A. R.; SILANS, A. M. B. P.; PEDROSA FILHO, L.; ALMEIDA, C. A.; LEITE, E. P. F.; SILVA, T. C.; FILHO, S. V.; MOURA, E. M.; SOUSA, E. E.; DIAS DA SILVA, L. (2003). "Bacia Experimental do rio Guaraíra: Implantação e Primeiros Resultados". XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, Brasil.

PDRH – Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame. SEMARH – Secretaria Extraordinária de Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Mineirais, 2001.

RODRIGUES, A. A.; SILANS, A. M. B. P. "Análise da Variabilidade Espacial da Precipitação no Litoral do Nordeste Brasileiro". In: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2002, Maceió.

SILVA, V. P. R.; CAVALCANTI, E. P.; NASCIMENTO, M. G.; CAMPOS, J. H. B. (2003). "Análises da precipitação pluvial no Estado da Paraíba com base na teoria da entropia". Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol 7, n.2, 6p.

SILVEIRA, A. L. S. (2000). *“Equação para os coeficientes de desagregação de chuva”*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol 5, n.4, 5pp.

VISCHEL, T.; LEBEL, T. (2007). *“Assessing the water balance in the Sahel: Impact of small scale rainfall variability on runoff. Part 2: Idealized modeling of runoff sensitivity”*. Journal of Hydrology, v.333, 16p.