

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA ESTACIONARIEDADE DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO E NÍVEL RELACIONADOS AOS PRINCIPAIS EVENTOS CRÍTICOS OCORRIDOS RECENTEMENTE NO BRASIL

Othon Fialho de Oliveira

Engenheiro Civil, MSc Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, othonfialho@yahoo.com.br

RESUMO – Muito se tem falado sobre o impacto das mudanças climáticas sobre o agravamento dos eventos extremos, principalmente as secas e enchentes. Entretanto, a discussão nem sempre toma um viés técnico. A análise técnica da série de dados observados permite identificar a variação dos padrões estatísticos ao longo do tempo e julgar se a série pode ser considerada estacionária ou não. Uma série não-estacionária pode ser um indicativo de uma possível mudança no clima ou pode ser resultado de uma análise num conjunto insuficiente de dados. Este artigo busca discutir os alguns dos últimos eventos extremos ocorridos no Brasil considerando a variabilidade das séries de precipitação e nível.

Palavras-chave: séries temporais; enchentes, secas.

ABSTRACT – Much has been said about the impact of climate changes on the increase of extreme events (mainly droughts and floods). However, a well-founded discussion should consider the technical point of view. Technical analysis of observed data series of rainfall and water levels allow us to identify statistical patterns of variation over time and to judge whether the series can be considered stationary or not. A non-stationary series may be an indication of a possible climate change or just an inadequate analysis of data sets. This article presents a discussion of recent extreme climate events that occurred in Brazil considering the variability in rainfall and river levels data series.

Keywords: time series, floods, droughts.

1 INTRODUÇÃO

A temática “mudanças climáticas” está presente no dia-a-dia da população. É difícil encontrar alguém que nunca tenha ouvido ou que não tenha algo a dizer sobre o assunto. Grande parte da população acredita que o aumento na frequência e intensidade de catástrofes naturais, tais como tsunamis, furacões, enchentes, secas e até terremotos são conseqüências diretas das alterações no clima. O fato é que estas opiniões são apenas hipóteses que cientistas e técnicos devem examinar e que, mesmo depois de ter analisado muitos dados e modelos de simulação, talvez nunca alcancem uma resposta definitiva, pois são fenômenos indiscutivelmente estocásticos.

A discussão é tamanha que até a indústria do cinema percebeu a oportunidade de investir em filmes sobre o tema: o documentário “An Inconvenient Truth” (2006) ganhou um Oscar, maior prêmio do cinema internacional, ao discutir as ações antrópicas e as conseqüências do aquecimento global e recebeu várias críticas por conta do seu teor político; o filme “The Day After Tomorrow” (2004) expõe as teorias de um professor sobre as conseqüências do aquecimento global; o filme “The Happening” (2008) sugere a possibilidade de uma vingança da natureza contra o homem. A lista de filmes é extensa e tudo leva a crer que esta seqüência de filmes sobre mudanças climáticas globais ainda não se esgotou. Isto remete ao medo que havia durante a guerra fria que motivou a criação de vários filmes sobre uma potencial guerra nuclear. Fica uma questão: será que todo este medo se justifica?

A despeito da incerteza a respeito do tema, de Norte a Sul do país, a sensação que se tem é de que a frequência e a intensidade dos eventos extremos aumentaram: a cheia de 2009 na Amazônia é considerada uma das maiores que se tem registro e contrasta com a seca de 2010 na região, que também é considerada uma das piores registradas (Figura 1); as águas das cheias de junho de 2010 em Alagoas e Pernambuco, também considerada uma das piores que se tem registro, arrastaram casas, pessoas e expuseram a frágil condição das cidades ribeirinhas brasileiras (Figura 2); as enxurradas que acometeram a região serrana do Rio de Janeiro no início de 2011 mostraram que estes eventos causam impactos significativos mesmo em regiões mais ricas (Figura 3).

Considerando a ocorrência destes eventos e o impacto que ocasionam no meio antrópico, fica evidente a necessidade de se investigar se existe uma tendência de agravamento deles. Neste sentido, propõe-se uma investigação preliminar para avaliar se existe alteração no padrão de ocorrência destes fenômenos, em termos de frequência e magnitude. Os parâmetros hidrológicos básicos passíveis de serem analisados são a precipitação, o nível e a vazão. Entende-se que a precipitação é o parâmetro que melhor representa as alterações climáticas do ponto de vista hidrológico, pois está intimamente ligada às condições atmosféricas, enquanto que o escoamento superficial dos corpos d'água sofre muito mais influência do uso e ocupação do solo na Bacia. Em segundo lugar, recomenda-se utilizar as séries de vazões, pois o valor do nível é bastante influenciado por alterações na calha do rio, que podem mascarar os resultados.

Para realizar a análise proposta, foram seguidos os seguintes procedimentos:

- 1) Identificação das estações de monitoramento a serem consideradas;
- 2) Análise estatística e das curvas de permanência;
- 3) Análise das séries temporais quanto à estacionariedade.



Figura 1 – À esquerda, nível do rio Negro atinge a cota recorde de 29,77 m em junho de 2009. À direita, o rio chega ao menor nível da história no dia 24 de outubro de 2010, com 13,64 m (Terra Notícias, 2010).



Figura 2 – Cidade de Barreiros, em Pernambuco, uma das mais atingidas pelas enchentes. (Terra Magazine, 2010)



Figura 3 – Nova Friburgo em 25-05-2010 (esquerda) e em 19-01-2011 (direita), com destaque a quantidade de deslizamentos que ocorreram na região. Imagens: Google Earth.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Estações e variáveis consideradas

A escolha adequada das estações e das variáveis a serem analisadas é o primeiro e principal procedimento a ser feito. Além de se localizar na área de influência da região a ser estudada, a estação deve possuir uma série extensa de dados confiáveis. No âmbito da Rede Hidrometeorológica Nacional administrada pela Agência Nacional de Águas (ANA) existem estações principais que servem de referência e base para estudos que requeiram longos períodos de observação. Segundo Santos et al. (2001), as estações principais possuem como característica básica, entre outras: grande extensão do período de observação (em geral ≥ 25 anos); e, poucos períodos de interrupção.

Em relação ao período de observação a ser utilizado na análise, vale realçar o conceito de normal climatológica com o qual trabalham os órgãos de meteorologia internacional. A normal se refere ao valor médio de um determinado parâmetro climático obtido dentro de um número de anos padrão de forma que este valor possa ser considerado representativo da região. Segundo INMET (2011), as "Normais Climatológicas" obedecem a critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), referindo-se as médias a períodos padronizados de 30 (trinta) anos, sucessivamente, de 1901 a 1930, 1931 a 1960 e 1961 a 1990.

Sendo assim, é razoável que a análise a ser feita considere ao menos 3 conjuntos de dados de 30 anos cada para representar a mudança de comportamento do clima neste último século. Desta forma, buscou-se identificar no banco de dados da ANA (Sistema Hidro) quais são as estações pluviométricas com séries com mais de 90 anos de dados (01/01/1919-31/12/2009) em cada uma das 3 regiões hidrográficas relacionadas aos eventos citados anteriormente. Esta busca resultou num total de 149 estações pluviométricas (Figura 4, à esquerda). Pela figura, observa-se claramente uma distribuição espacial irregular, com maior densidade no Nordeste e no Sudeste do País.

Apesar das séries de precipitação terem sido identificadas no banco de dados, as séries obtidas no Hidro não estavam completas. Desta forma, na região Amazonas teve de se optar por utilizar as séries das estações fluviométricas. A falta de curvas-chave para alguns anos fez com que a pesquisa fosse feita apenas sobre os dados de níveis. Procedeu-se então uma pesquisa no banco de dados da ANA para identificar as estações fluviométricas que satisfazem aos mesmos critérios utilizados anteriormente nas estações pluviométricas, resultando num total de apenas 19 estações (Figura 4, à direita). Pela figura, observa-se uma grande área deficitária de histórico de registros de níveis.

Como na região serrana do Estado do Rio de Janeiro não se obteve nenhuma estação que preenchesse os requisitos definidos anteriormente, procurou-se em Nova Friburgo a estação pluviométrica com a série de maior extensão.

Ao final do processo, foram selecionadas as seguintes estações:

- 1) Na região Amazonas foi selecionada a estação fluviométrica 14990000, localizada no Rio Negro em Manaus/AM. A série de dados utilizada engloba o período de 09/1902 - 11/2010 (Figura 5).
- 2) Na região do Atlântico Nordeste foi selecionada a estação pluviométrica 00835068, localizada em Vitória de Santo Antão/PE. A série de dados utilizada engloba o período de 05/1920 - 11/2010 (Figura 6).
- 3) Na região do Atlântico Leste foi selecionada a estação pluviométrica 02242022, localizada em Nova Friburgo/RJ. A série de dados utilizada engloba o período de 06/1949 - 01/2011 (Figura 7).

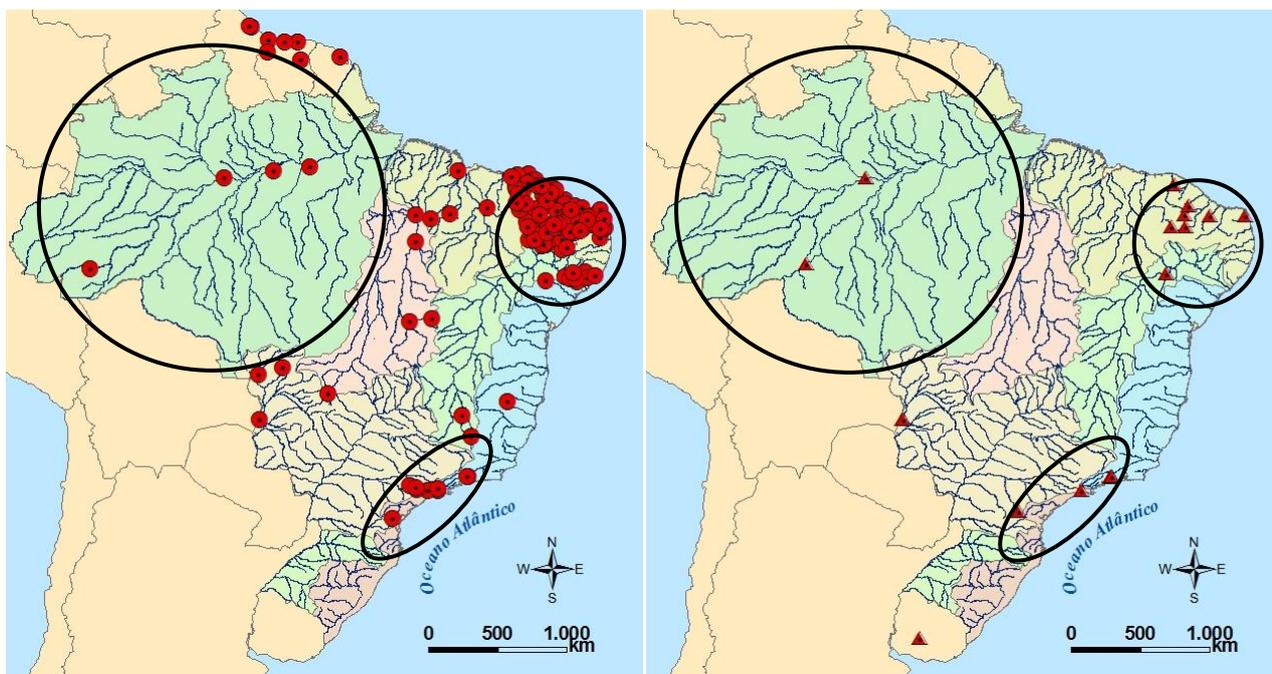


Figura 4 – Estações identificadas: 149 pluviométricas à esquerda; 19 fluvimétricas à direita.

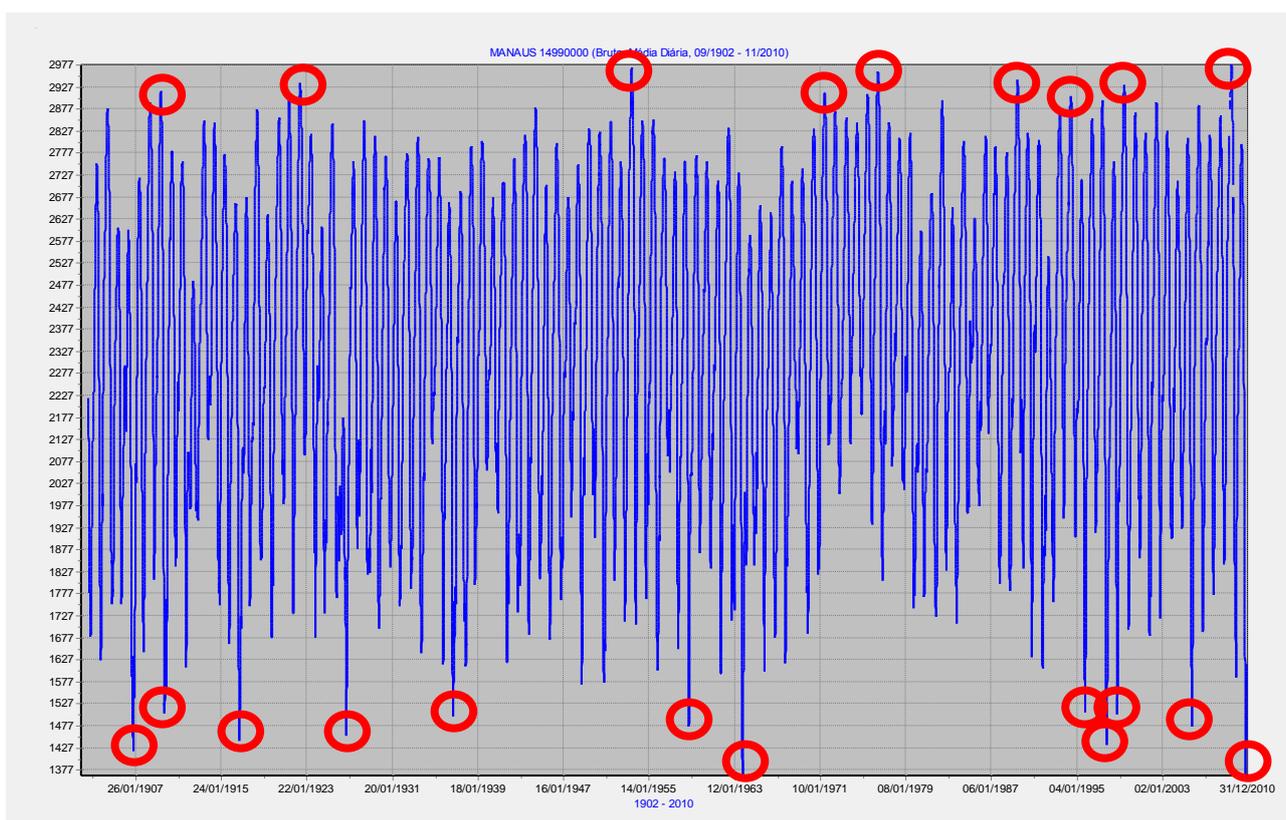


Figura 5 – Dados diários de nível na estação fluvimétrica 14990000 no Rio Negro em Manaus (09/1902 - 11/2010).

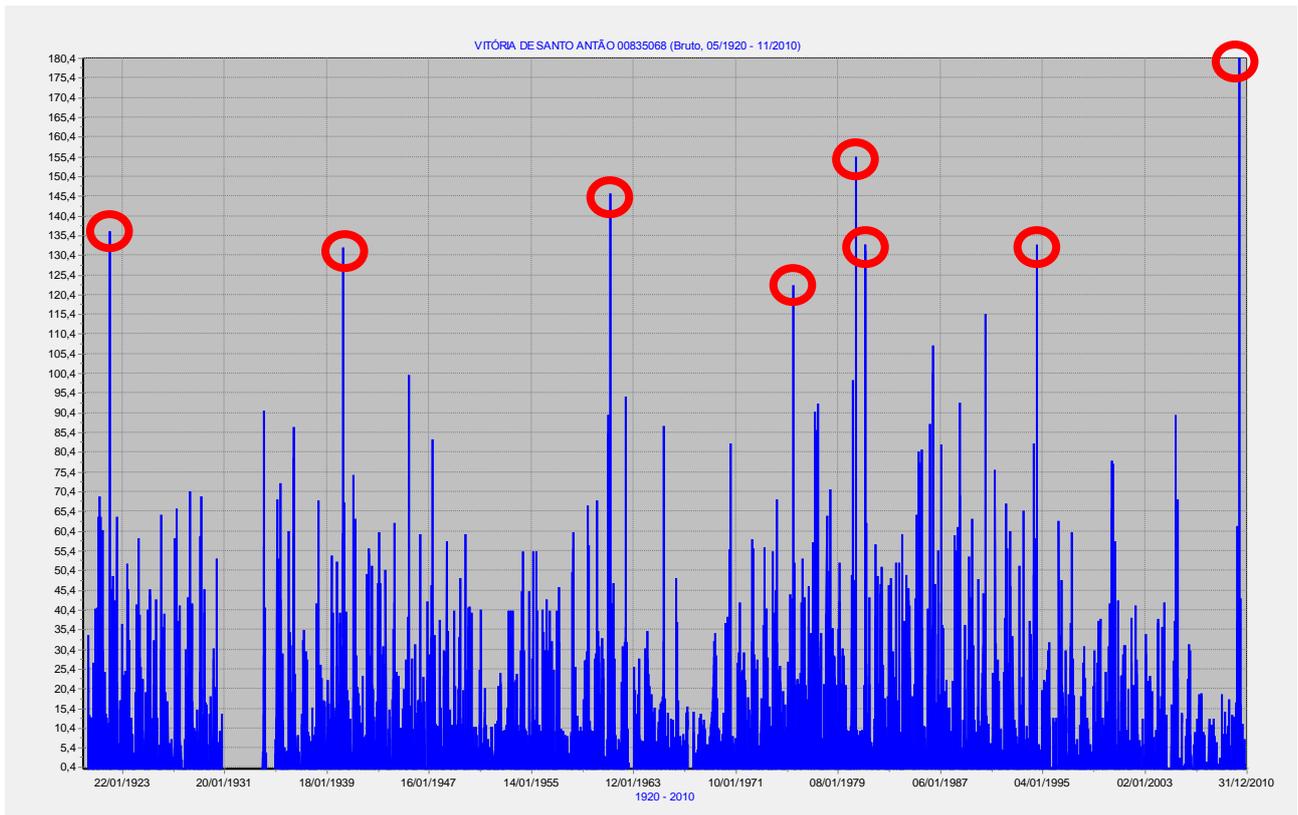


Figura 6 – Dados diários de chuva na estação pluviométrica 00835068 em Vitória de Santo Antão (05/1920 - 11/2010).

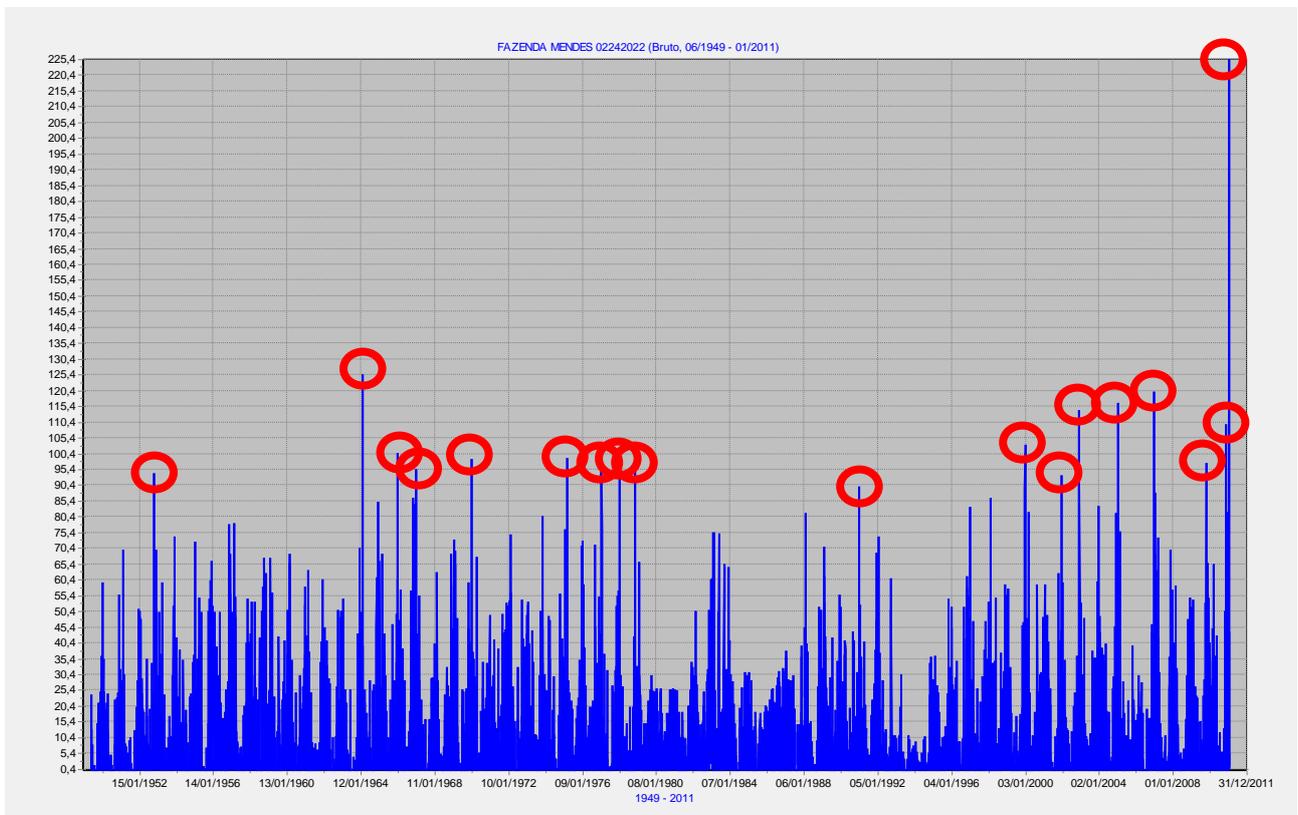


Figura 7 – Dados diários de chuva na estação pluviométrica 02242022 em Nova Friburgo (06/1949 - 01/2011).

Pelos gráficos apresentados anteriormente é possível verificar uma periodicidade nos eventos extremos:

- 1) No Rio Negro (Figura 5), verifica-se que já havia ocorridos níveis tão elevados e tão baixos quanto os de 2009 e 2010. A seca de 24/10/2010 (1.364cm) igualou a de 30/10/1963 e a cheia de 1/7/2009 (2.977cm) superou por pouco a de 9/6/1953 (2.969cm). Considerando os 10 eventos mais críticos, a diferença máxima de tempo entre eventos de cheia é 31 anos (1922-1953) e a diferença mínima é de 1 ano (1975-1976), enquanto que a diferença máxima de tempo entre eventos de seca é 34 anos (1963-1997) e a diferença mínima é de 1 ano (1997-1998).
- 2) Na região do Atlântico Nordeste (Figura 6), verifica-se que o evento crítico ocorrido em 19/6/2010 (180mm) superou em 16% o recorde histórico anterior (155mm em 10/6/1980). Considerando os 10 eventos mais críticos, a diferença máxima de tempo entre eventos de cheia é 21 anos (1940-1961) e a diferença mínima é de 1 ano (1980-1981).
- 3) Na região do Atlântico Leste (Figura 7) verifica-se que o evento crítico ocorrido em 12/1/2011 (225mm) superou em 80% o recorde histórico anterior (125mm em 24/2/1964). Considerando os 10 eventos mais críticos, a diferença máxima de tempo entre eventos de cheia é 22 anos (1978-2000) e a diferença mínima é de 1 ano (2010-2011).

2.2 Estatística e curvas de permanência

Uma vez identificados os parâmetros a serem considerados no estudo, deve-se discutir a forma como serão analisados os dados. Sendo assim, a discretização temporal adotada deve ser conveniente com a finalidade: no caso dos eventos de seca ou cheia numa bacia de grande porte, cujo efeito ocorre em um período de tempo longo, a escala adotada pode ser superior a um dia, a depender da forma como varia o hidrograma com o tempo. Enquanto isto, eventos de cheias em bacias de pequeno a médio porte, com tempo de concentração inferior a um dia, a escala mínima recomendada é a diária. Além disso, por se tratar de cheias e secas, convém trabalhar com as séries de máximos e mínimos observados.

Nos casos em apreço, optou-se por trabalhar com as séries de nível diárias máximas e mínimas do Rio Negro na região Amazonas, correspondendo ao período de cheia e de seca respectivamente. Enquanto isto, nas bacias do Atlântico Nordeste e Leste, decidiu-se utilizar as séries de precipitações diárias máximas. A Tabela 1 apresenta a relação dos 10 eventos críticos mais significativos, por ordem de magnitude.

Tabela 1 – Eventos críticos por ordem de magnitude.

| Estação | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------|--------------|------------------|-------------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 14990000\ nível | mín (cm) | 1.364 | 1.364 | 1.420 | 1.434 | 1.442 | 1.454 | 1.474 | 1.475 |
| | data | 30/10/1963 | 24/10/2010 | 13/11/1906 | 4/11/1997 | 17/10/1916 | 12/10/1926 | 18/10/1958 | 25/10/2005 |
| | máx (cm) | 2.977 | 2.969 | 2.961 | 2.942 | 2.935 | 2.930 | 2.917 | 2.912 |
| | data | 1/7/2009 | 9/6/1953 | 14/6/1976 | 3/7/1989 | 17/6/1922 | 23/6/1999 | 14/6/1909 | 24/6/1971 |
| 00835068 precipitação | máx (mm/dia) | 180 | 155 | 146 | 137 | 133 | 133 | 132 | 123 |
| | data | 19/6/2010 | 10/6/1980 | 31/3/1961 | 22/1/1922 | 13/3/1981 | 26/7/1994 | 1/5/1940 | 17/7/1975 |
| 02242022 precipitação | máx (mm/dia) | 225 | 125 | 120 | 117 | 114 | 110 | 103 | 101 |
| | data | 12/1/2011 | 24/2/1964 | 5/1/2007 | 19/1/2005 | 13/12/2002 | 21/11/2010 | 3/1/2000 | 14/1/1966 |

Conhecendo-se as distribuições de valores máximos diários anuais e de mínimos diários anuais, verificou-se se estas distribuições se adéquam a distribuição normal (Figura 8). A Tabela 2 apresenta os dados da análise estatística e do teste de aderência. A significância corresponde à probabilidade de rejeitar a hipótese nula (H_0 - ajuste da distribuição normal) quando ela é verdadeira, ou seja, quanto menor o valor de significância há uma maior probabilidade de falsidade da hipótese H_0 .

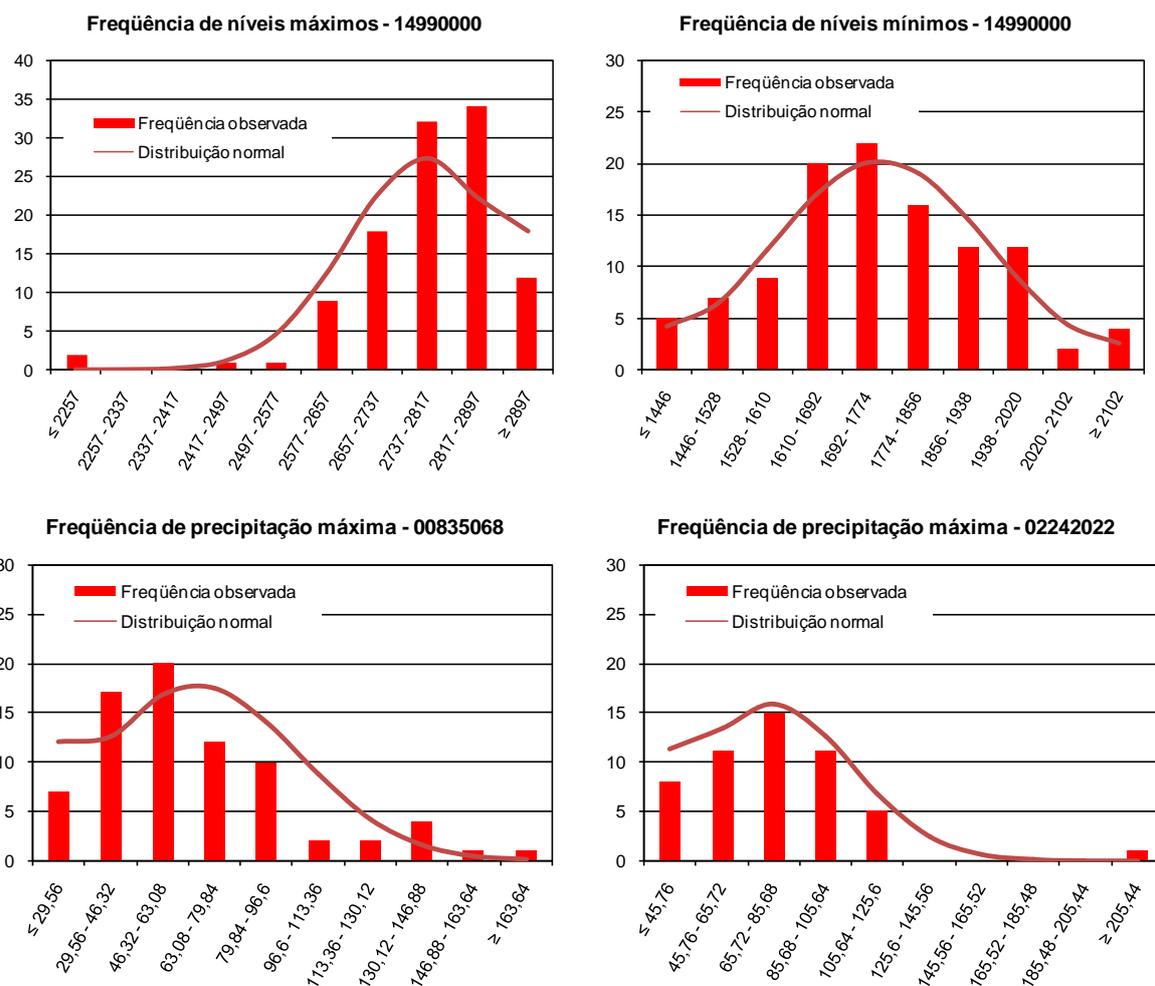


Figura 8 – Histograma de valores críticos e ajuste da curva de distribuição de probabilidade normal.

Tabela 2 – Análise estatística e teste de aderência.

| Estação | 14990000 | | 00835068 | 02242022 |
|---|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | Variável | Nível máximo | Nível mínimo | Precipitação |
| Nº de anos | | 109 | 109 | 88 |
| Média | | 2.775,4 | 1.753,7 | 65,5 |
| Desvio padrão | | 124,7 | 174,7 | 32,8 |
| Máximo | | 2977 | 2184 | 180,4 |
| Mínimo | | 2177 | 1364 | 12,8 |
| Ho: $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ Desvio- χ^2 | NGL | 3 | 5 | 4 |
| | Significância | 1% | 45% | 1% |

Apesar dos baixos níveis de significância, não foram testadas outros modelos de distribuição de probabilidade, pois a idéia do artigo é fazer uma análise geral dos dados, especialmente em relação à magnitude e frequência dos eventos críticos.

Como se deseja investigar a intensificação dos eventos críticos torna-se conveniente avaliar o comportamento das curvas de permanência ao longo dos anos. Desta forma, dividiram-se as séries de dados em três períodos uniformes e para cada um foi estabelecida a curva de permanência correspondente. A seguir são apresentados os trechos críticos das curvas de permanência das variáveis analisadas (Figura 9 a Figura 12) e alguns valores característicos (Tabela 3).

Curvas de permanência dos níveis máximos - 14990000

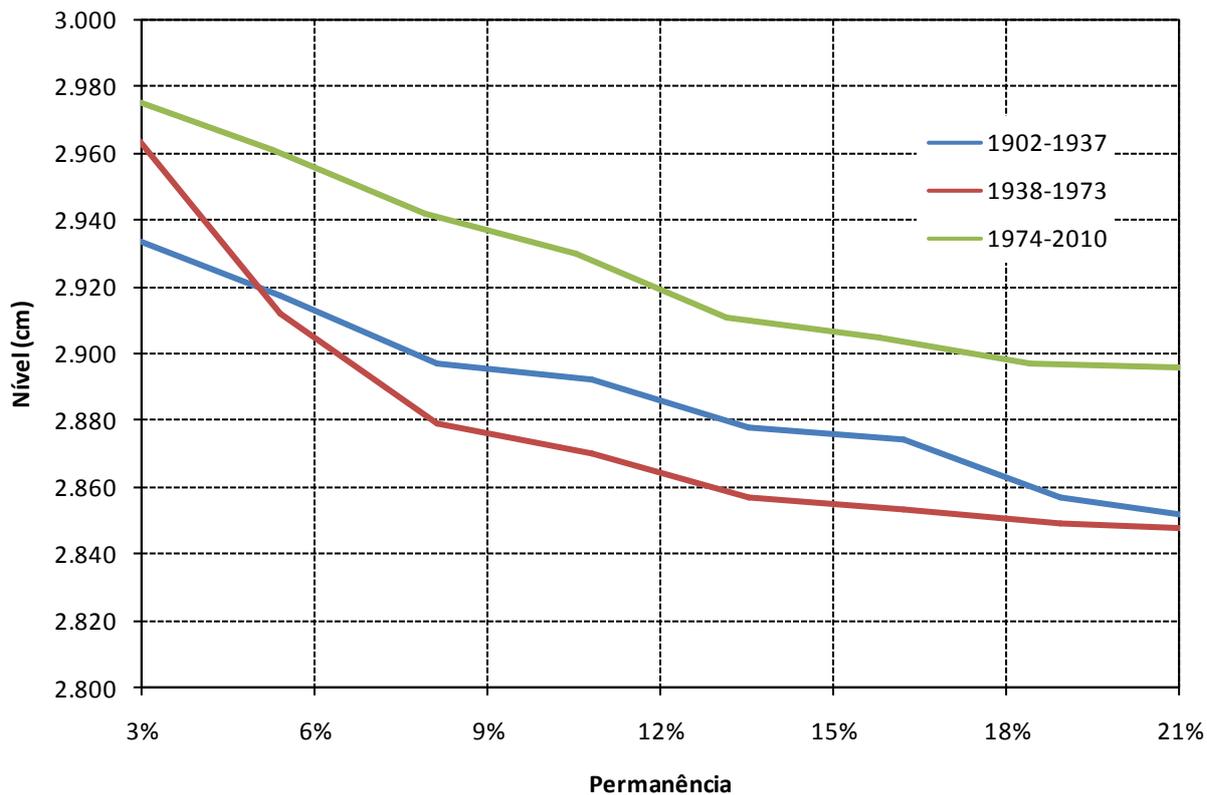


Figura 9 – Trecho da curva de permanência da série de níveis máximos anuais – estação 14990000.

Curvas de permanência dos níveis mínimos - 14990000

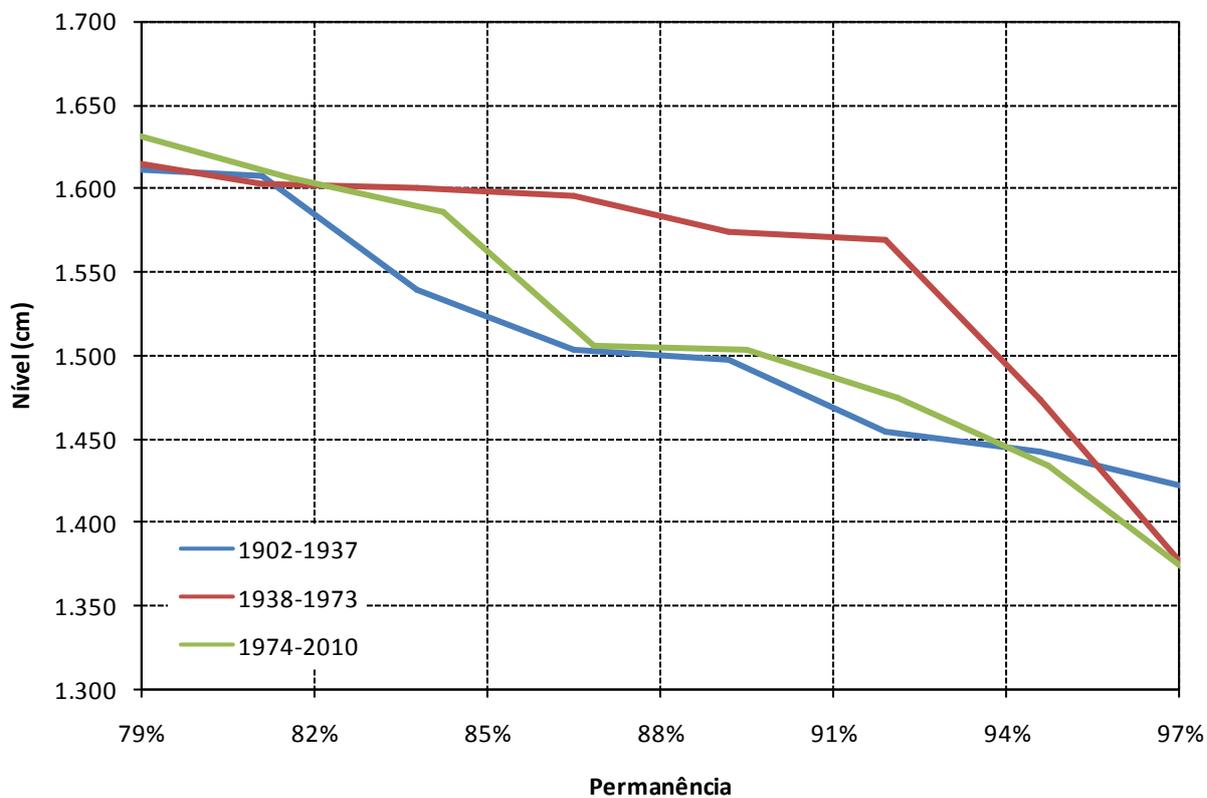


Figura 10 – Trecho da curva de permanência da série de níveis mínimos anuais – estação 14990000.

Curvas de permanência de precipitação máxima - 00835068

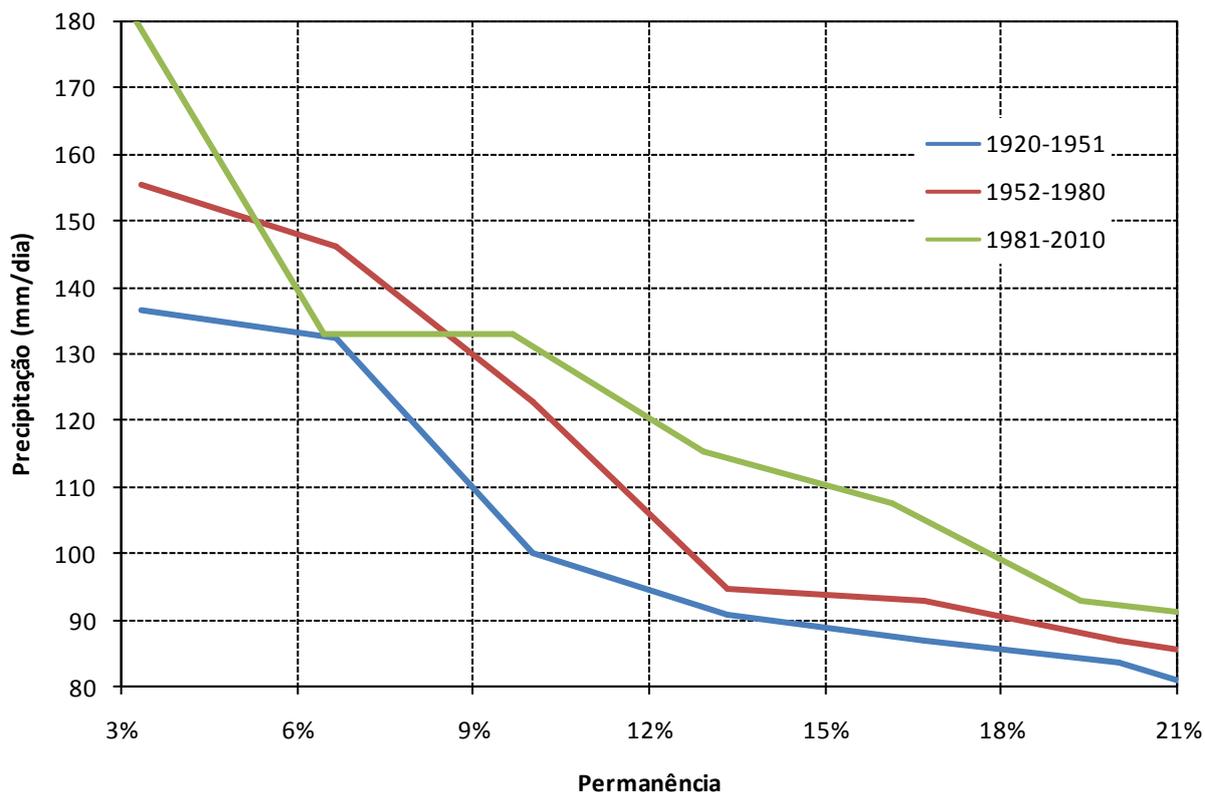


Figura 11 – Trecho da curva de permanência da série de precipitação máxima anual – estação 00835068.

Curvas de permanência de precipitação máxima - 02242022

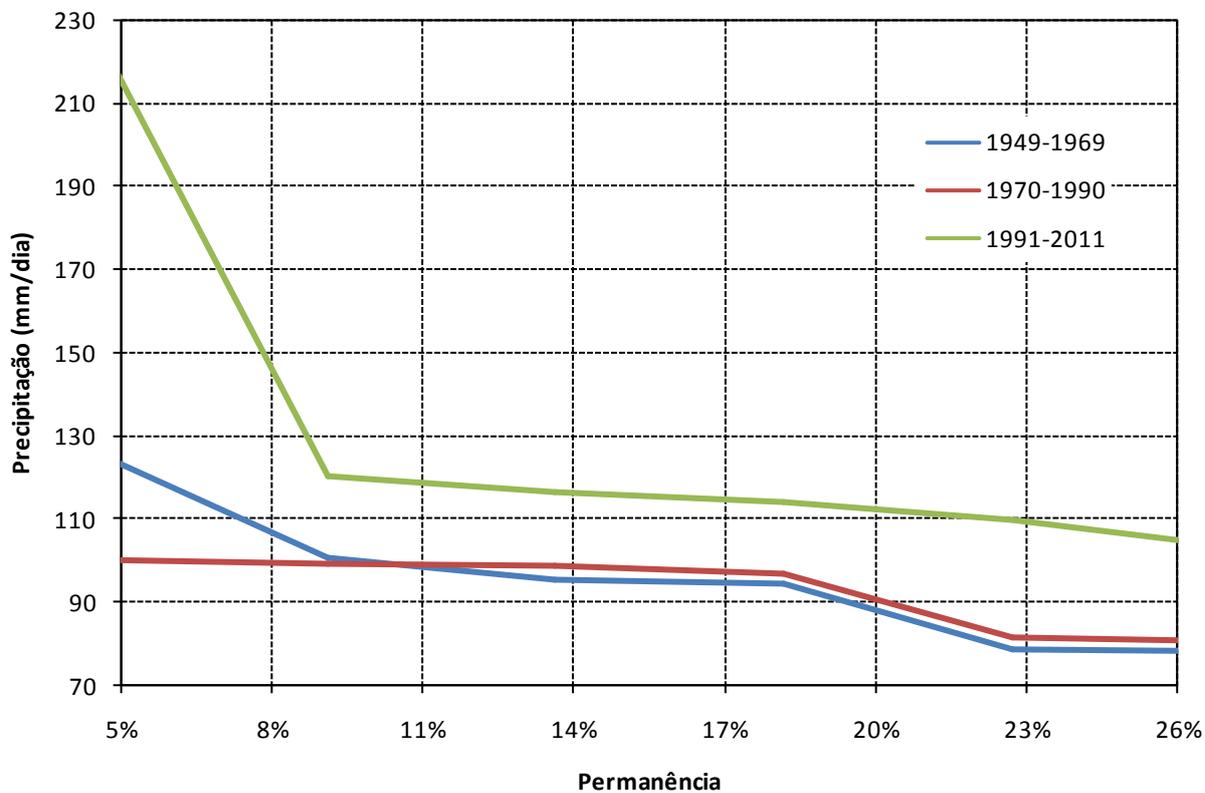


Figura 12 – Trecho da curva de permanência da série de precipitação máxima anual – estação 02242022.

Tabela 3 – Valores de referência.

| Percentil | Nível máximo - 14990000 | | | Percentil | Nível mínimo - 14990000 | | |
|---------------|-------------------------|-----------|-----------|---------------|-------------------------|-----------|-----------|
| | 1902-1937 | 1938-1973 | 1974-2010 | | 1902-1937 | 1938-1973 | 1974-2010 |
| Nº de anos | 36 | 36 | 37 | Nº de anos | 36 | 36 | 37 |
| Média | 2.733,1 | 2.776,9 | 2.815,1 | Média | 1.724,2 | 1.750,8 | 1.785,1 |
| Desvio padrão | 167,1 | 80,0 | 99,5 | Desvio padrão | 170,2 | 161,1 | 190,4 |
| 5% | 2.919,7 | 2.920,6 | 2.962,6 | 95% | 1.438,7 | 1.457,5 | 1.429,9 |
| 10% | 2.893,5 | 2.872,7 | 2.932,4 | 90% | 1.484,1 | 1.572,5 | 1.502,4 |
| 20% | 2.854,2 | 2.848,2 | 2.896,4 | 80% | 1.609,6 | 1.609,0 | 1.612,4 |

| Percentil | Chuva máxima - 00835068 | | | Percentil | Chuva máxima - 02242022 | | |
|---------------|-------------------------|-----------|-----------|---------------|-------------------------|-----------|-----------|
| | 1920-1951 | 1952-1980 | 1981-2010 | | 1949-1969 | 1970-1990 | 1991-2011 |
| Nº de anos | 29 | 29 | 30 | Nº de anos | 21 | 21 | 21 |
| Média | 67,6 | 62,6 | 66,1 | Média | 72,6 | 63,0 | 86,8 |
| Desvio padrão | 24,0 | 34,4 | 38,8 | Desvio padrão | 19,7 | 34,4 | 41,2 |
| 5% | 134,4 | 150,7 | 154,3 | 5% | 122,9 | 99,9 | 214,9 |
| 10% | 99,9 | 122,8 | 131,2 | 10% | 99,6 | 98,9 | 119,4 |
| 20% | 83,5 | 87,0 | 92,2 | 20% | 87,9 | 90,8 | 112,3 |

Através dos gráficos e tabelas apresentados anteriormente, apreende-se que:

- 1) Em relação aos níveis máximos do Rio Negro, observa-se que a curva de permanência do último período está acima das demais em todo trecho analisado, ou seja, há indícios da existência de uma tendência a cheias mais elevada nos últimos anos (Figura 9).
- 2) Em relação aos níveis mínimos no Rio Negro, observa-se que a curva de permanência do período intermediário está acima das demais em boa parte do trecho analisado, não indicando a existência de indícios de agravamento dos períodos secos nos últimos anos (Figura 10).
- 3) Na região do Atlântico Nordeste, as curvas estão dispostas praticamente por ordem de antigüidade, ou seja, há indícios da existência de uma tendência a cheias mais significativas na medida em que o tempo passa (Figura 11).
- 4) Na região do Atlântico Leste, a curva correspondente ao último período está bem acima das demais ao longo de todo o trecho, indicando a possibilidade de agravamento na frequência e magnitude das cheias e enxurradas (Figura 12).

Para averiguar estatisticamente as hipóteses de agravamento dos eventos críticos, procedeu-se a realização de testes de diferenças entre médias (Tabela 4).

Tabela 4 – Testes de diferenças entre médias.

| Nível máximo - 14990000 | | t | α | ngl | α ,ngl | Conclusão – nível máximo na estação 14990000 |
|-------------------------|------------------|--------------|-----------|-----------|---------------|---|
| 1902-1937 | 1938-1973 | 1,417 | 5% | 70 | 1,9944 | Aceita-se Ho - não há mudanças no nível máximo (significância de 5%) |
| 1902-1937 | 1974-2010 | 2,556 | 5% | 71 | 1,9939 | Rejeita-se Ho - há mudanças no nível máximo (significância de 5%) |
| 1938-1973 | 1974-2010 | 1,807 | 5% | 71 | 1,9939 | Aceita-se Ho - não há mudanças no nível máximo (significância de 5%) |
| Nível mínimo - 14990000 | | t | α | ngl | α ,ngl | Conclusão – nível mínimo na estação 14990000 |
| 1902-1937 | 1938-1973 | 0,681 | 5% | 70 | 1,9944 | Aceita-se Ho - não há mudanças no nível mínimo (significância de 5%) |
| 1902-1937 | 1974-2010 | 1,440 | 5% | 71 | 1,9939 | Aceita-se Ho - não há mudanças no nível mínimo (significância de 5%) |
| 1938-1973 | 1974-2010 | 0,831 | 5% | 71 | 1,9939 | Aceita-se Ho - não há mudanças no nível mínimo (significância de 5%) |
| Chuva máxima - 00835068 | | t | α | ngl | α ,ngl | Conclusão – chuva máxima na estação 00835068 |
| 1920-1951 | 1952-1980 | 0,634 | 5% | 56 | 2,0032 | Aceita-se Ho - não há mudanças nas chuvas máximas (significância de 5%) |
| 1920-1951 | 1981-2010 | 0,170 | 5% | 57 | 2,0025 | Aceita-se Ho - não há mudanças nas chuvas máximas (significância de 5%) |
| 1952-1980 | 1981-2010 | 0,366 | 5% | 57 | 2,0025 | Aceita-se Ho - não há mudanças nas chuvas máximas (significância de 5%) |
| Chuva máxima - 02242022 | | t | α | ngl | α ,ngl | Conclusão – chuva máxima na estação 02242022 |
| 1949-1969 | 1970-1990 | 1,107 | 5% | 40 | 2,0211 | Aceita-se Ho - não há mudanças nas chuvas máximas (significância de 5%) |
| 1949-1969 | 1991-2011 | 1,432 | 5% | 40 | 2,0211 | Aceita-se Ho - não há mudanças nas chuvas máximas (significância de 5%) |
| 1970-1990 | 1991-2011 | 2,035 | 5% | 40 | 2,0211 | Rejeita-se Ho - há mudanças nas chuvas máximas (significância de 5%) |

Os resultados da análise permitem concluir que:

- 1) No Rio Negro, a uma significância de 5%, houve agravamento das cheias ao se comparar os períodos de 1902-1937 e 1974-2010, mas não há indicativos de agravamento das secas.
- 2) Na região do Atlântico Nordeste não houve indicativos de agravamentos das cheias a uma significância de 5%.
- 3) Na região do Atlântico Leste há indicativos de agravamentos das cheias a uma significância de 5% ao se comparar os períodos de 1970-1990 e 1991-2011.

2.3 Séries temporais

O termo “série temporal” refere-se a um conjunto de dados sobre um determinado elemento obtido ao longo do tempo. Sua faixa de aplicação engloba desde as ciências econômicas até as ciências naturais e seu estudo visa basicamente identificar padrões de comportamento. O entendimento destes padrões permite entender como determinado fenômeno se comporta no tempo, possibilitando o estabelecimento de modelos de previsão. Os modelos para análise das séries temporais se dividem basicamente em estocásticos e determinísticos, sendo estes últimos geralmente simplificações dos primeiros, tendo em vista a dificuldade de se entender processos aleatórios.

Segundo Cordeiro (2002), os métodos tradicionais de análise de séries temporais tratam principalmente da decomposição da série em efeitos sazonais (variação periódica), cíclicos (variações de período fixo), tendência (gera efeitos em longo prazo na média) e flutuações irregulares (resíduos).

O primeiro passo para se realizar a análise da série temporal é graficar a série (Figura 13 a Figura 16). Esta primeira visualização direciona a análise a ser feita. Em relação anos níveis máximos no Rio Negro, nota-se uma leve inclinação na série, que pode indicar uma tendência linear. Em relação à precipitação máxima na estação 00835068, observa-se uma sazonalidade nos picos mais significativos e uma leve tendência de aumento nestes picos. Em relação aos níveis mínimos no Rio Negro na estação 14990000 e da precipitação máxima na estação 02242022, em princípio, não se identifica nenhum padrão.

Ainda segundo Cordeiro (2002), a série temporal é estacionária se não existe uma mudança sistemática na média (existe tendência), na variância e se as variações cíclicas foram removidas. A utilização de médias móveis é uma das principais técnicas de análise de séries temporais e se ajusta aos fins da análise preliminar proposta neste estudo. Seguindo a definição de estacionariedade foram avaliadas a evolução da média e da variância de cada série (Figura 17 a Figura 20), tendo sido observado o seguinte:

- 1) Em relação ao Rio Negro: detectou-se a existência de tendência e sazonalidade multiplicativa nos níveis máximos e mínimos de vazão, uma vez que há uma tendência de aumento da média móvel e as amplitudes ao redor da tendência têm aumentado. A sazonalidade multiplicativa se caracteriza pelo incremento nos dados a cada repetição da sazonalidade. A evolução da variância reforça o fato da possível não-estacionariedade da série.
- 2) Na região do Atlântico Nordeste: não está clara a existência de tendência, uma vez que a reta de ajuste apresentou taxa de crescimento quase nula. Entretanto, a evolução da variância demonstra uma dispersão maior dos picos em relação à média.
- 3) Na região do Atlântico Leste: não está clara a existência de tendência, uma vez que a reta de ajuste apresentou taxa de crescimento quase nula. Entretanto, registrou-se uma pequena mudança no comportamento da variância que pode ter sido afetada pelas últimas cheias.

Série temporal dos níveis (cm) máximos anuais do Rio Negro em Manaus

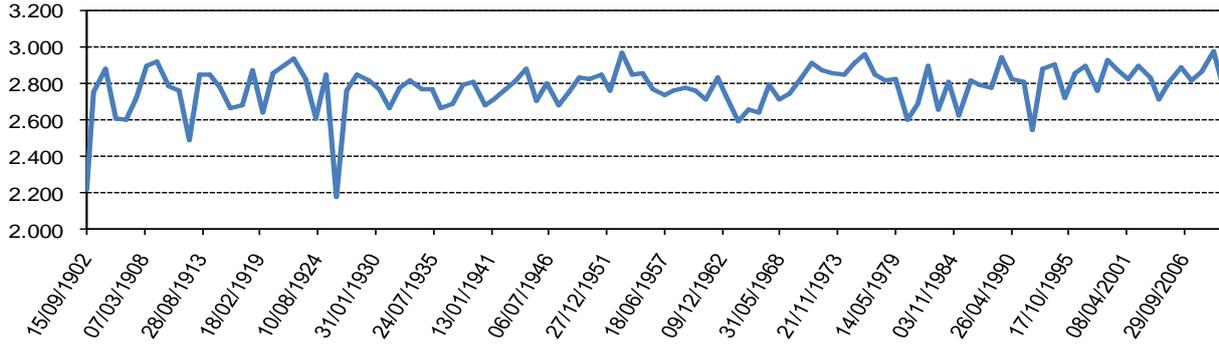


Figura 13 – Série temporal dos níveis máximos anuais da estação 14990000.

Série temporal dos níveis (cm) mínimos anuais do Rio Negro em Manaus

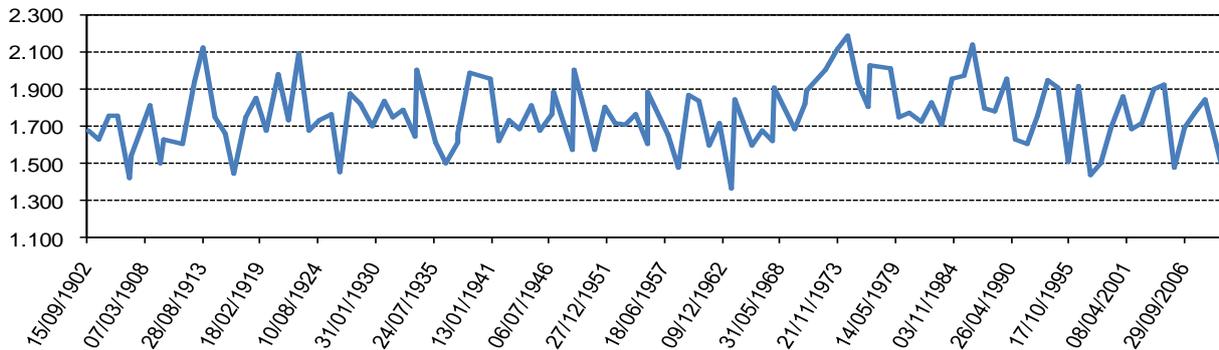


Figura 14 – Série temporal dos níveis mínimos anuais da estação 14990000.

Série temporal da precipitação (mm/dia) máxima anual da estação 00835068

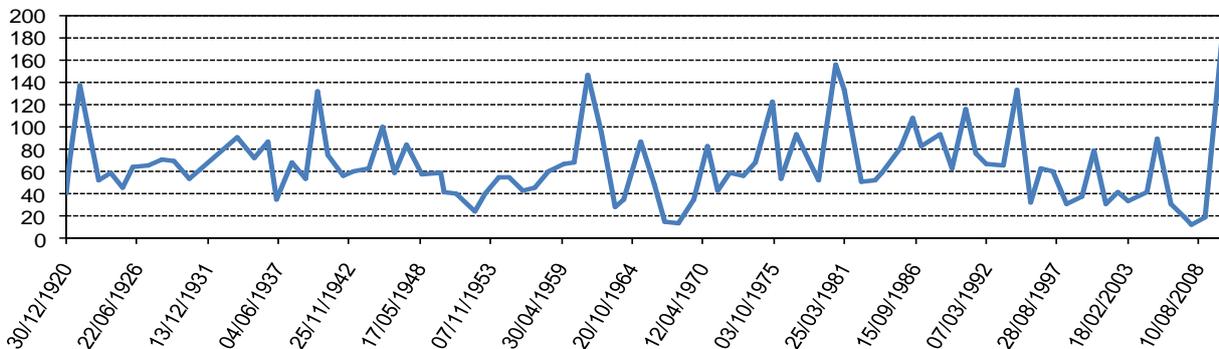


Figura 15 – Série temporal da precipitação máxima anual da estação 00835068.

Série temporal da precipitação (mm/dia) máxima anual da estação 02242022

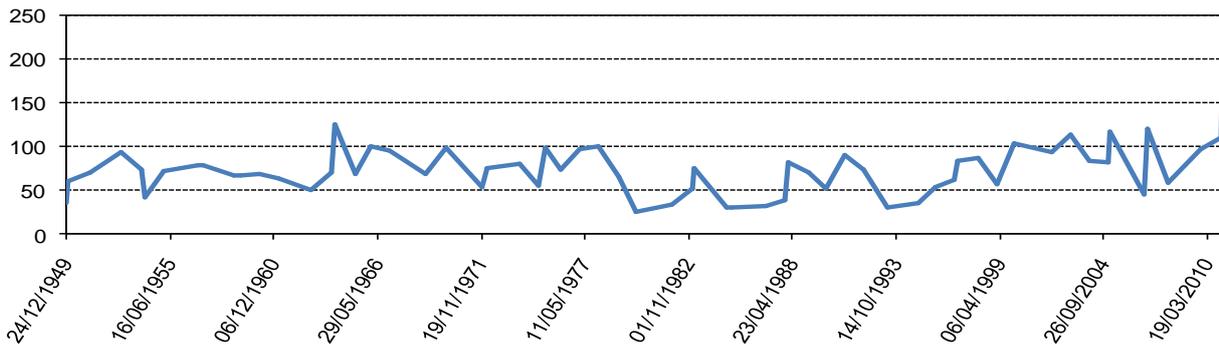
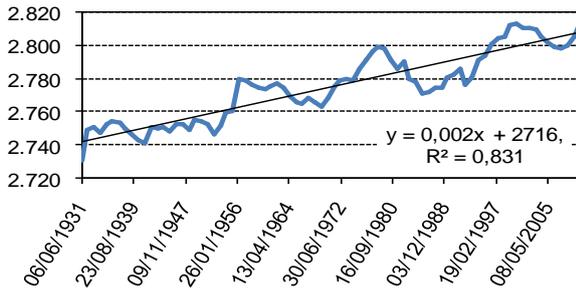


Figura 16 – Série temporal da precipitação máxima anual da estação 02242022.

Evolução da média móvel de 30 anos dos níveis (cm) máximos anuais do Rio Negro em Manaus



Evolução da variância móvel de 30 anos dos níveis (cm) máximos anuais do Rio Negro em Manaus

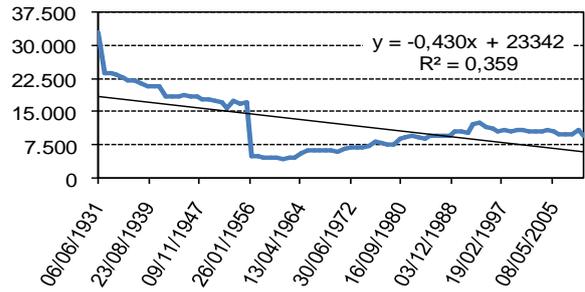
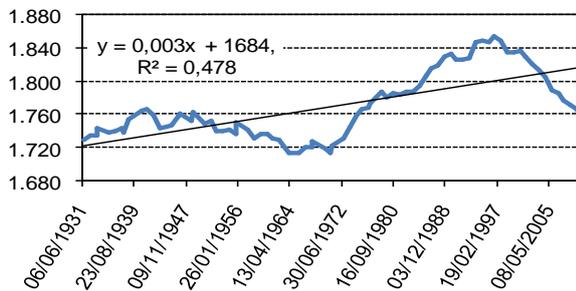


Figura 17 – Evolução da média e variância dos níveis máximos anuais da estação 14990000.

Evolução da média móvel de 30 anos dos níveis (cm) mínimos anuais do Rio Negro em Manaus



Evolução da variância móvel de 30 anos dos níveis (cm) mínimos anuais do Rio Negro em Manaus

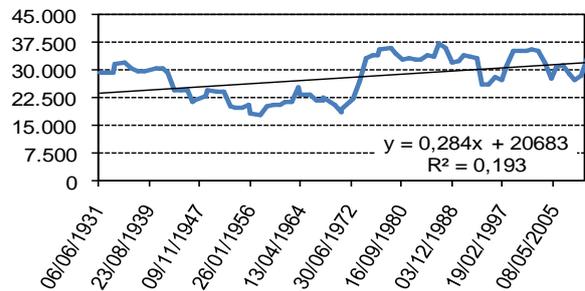
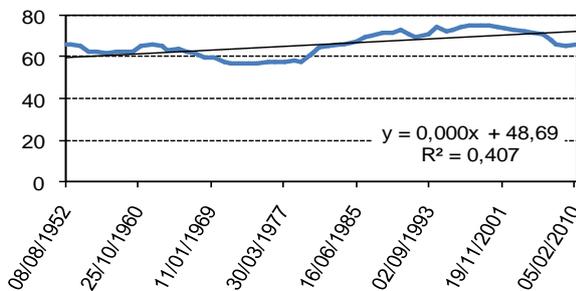


Figura 18 – Evolução da média e variância dos níveis mínimos anuais da estação 14990000.

Evolução da média móvel de 30 anos da precipitação (mm/dia) máxima anual da estação 00835068



Evolução da variância móvel de 30 anos da precipitação (mm/dia) máxima anual da estação 00835068

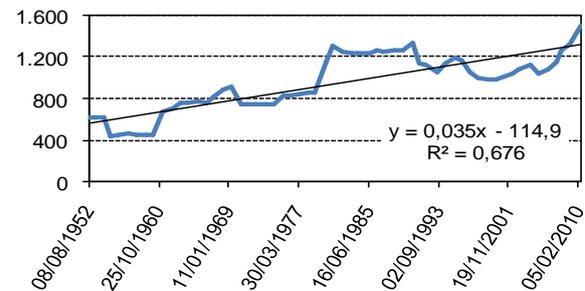
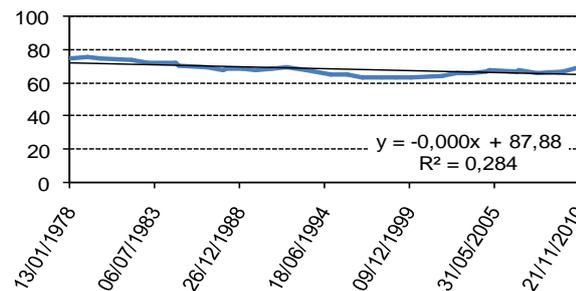


Figura 19 – Evolução da média e variância da precipitação máxima anual da estação 00835068.

Evolução da média móvel de 30 anos da precipitação (mm/dia) máxima anual da estação 02242022



Evolução da variância móvel de 30 anos da precipitação (mm/dia) máxima anual da estação 02242022

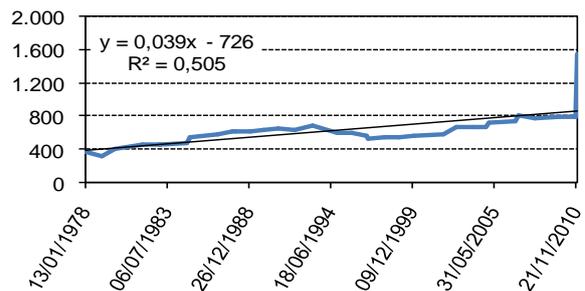


Figura 20 – Evolução da média e variância da precipitação máxima anual da estação 02242022.

3 CONCLUSÕES

O estudo se baseou em três etapas básicas, a seguir comentadas:

- 1) Identificação das estações de monitoramento a serem consideradas: nesta etapa, as principais dificuldades foram a de se obter as séries completas de dados das estações pluviométricas e de se identificar a estação que pode ser mais representativa no estudo. Foi sugerido que em bacias com tempos de concentração inferior a um dia, fossem utilizadas preferencialmente estações pluviométricas, enquanto que em bacias cujo hidrograma se propaga em espaço de tempo superior foi sugerida a utilização das estações de nível. O Rio Negro possui vazões distribuídas temporalmente de forma bem caracterizadas, sendo possível avaliar claramente os períodos de seca e de cheia na bacia diretamente pelos dados de níveis observados nas estações pluviométricas, facilitando a identificação de tendências sazonais. Além disso, é importante destacar que a cheia de 2009 e a seca de 2010 no Rio Negro figuram entre as piores de todo o histórico. Em relação às séries de precipitação, verificou-se que as chuvas de 19/6/2010 nos Estados de Alagoas e Pernambuco e as de 12/1/2011 na região Serrana do Estado do Rio de Janeiro foram as de maior intensidade diária registradas até então.
- 2) Análise estatística e das curvas de permanência: a dificuldade nesta etapa é de se estabelecer os modelos de distribuição de probabilidade que melhor se ajustam aos eventos críticos de cheia e seca. Desta forma, entende-se que deve haver também mais discussões sobre que tipos de testes estatísticos melhores se adéquam aos propósitos dos estudos de mudanças climáticas. Segundo os critérios utilizados neste estudo, verificou-se que há indícios de agravamento das cheias no Rio Negro e das chuvas na região do Atlântico Leste, mas não ficou claro o agravamento das secas no Rio Negro e nem das chuvas nas regiões do Atlântico Nordeste.
- 3) Análise das séries temporais quanto à estacionariedade: nesta etapa analisaram-se as médias e variâncias das séries históricas para identificar mudanças no padrão de comportamento, tendo sido concluído que no Rio Negro há tendências de aumento dos níveis e da amplitude das cheias, enquanto que nas regiões do Atlântico Nordeste e Leste não havia indícios claros sobre a tendência de aumento, embora os dados de variância possam indicar uma maior variabilidade na intensidade, ou seja, cheias com picos maiores alternando com anos de chuvas mais amenas.

Os resultados preliminares deste estudo indicam algumas variações no comportamento do Rio Negro e das chuvas no litoral das regiões Nordeste e Sudeste do Brasil, mas está longe de se caracterizar como um resultado definitivo. Vale reforçar que a análise de algumas estações isoladas não é suficiente para caracterizar as mudanças climáticas ou responder definitivamente se há aumento na frequência e na magnitude dos eventos críticos em escala regional. Além disso, a limitação no período de dados disponível afeta significativamente os resultados, pois não se pode afirmar que um século de dados é capaz de representar um fenômeno climático que se desenvolve desde antes da presença do homem no planeta.

Reforça-se também o fato de que a estatística é uma ciência fundamentalmente não-determinística e que as suas análises são meras especulações, pois mesmo que exista uma remota probabilidade de um determinado evento crítico ocorrer, nada impede que ele possa vir a ocorrer justamente no próximo período de chuvas intensas. Ou seja, em termos práticos, não há garantias que uma estrutura dimensionada para uma recorrência de 10.000 anos não possa vir a falhar em dois anos consecutivos por conta de cheias atípicas. O desastre potencial estará sempre presente, sendo importante investir em sistemas de alertas e em planos de contingência para calamidades.

Além disso, deve-se mencionar que os impactos das variações climáticas não estão relacionados apenas aos fenômenos climáticos, mas principalmente a forma como o homem ocupa e desenvolve o território. Existem medidas que podem ser adotadas para minimizar o impacto destes eventos, que devem ser encaradas como “medidas sem arrependimento”, ou seja, são ações que devem ser tomadas independentes da recorrência de desastres naturais. Ações de preservação ambiental, recuperação das matas ciliares e das nascentes são bons exemplos de medidas desta natureza.

Para finalizar, considera-se importante o estímulo a realização de mais estudos como este para que as discussões sobre mudanças climáticas estejam sempre embasadas tecnicamente.

BIBLIOGRAFIA

CORDEIRO, D.M. *Séries temporais: análise quantitativa*. Recife/PE: EDUPE, 2002. 436p.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Climatologia. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M.R.V.B.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E; LAUTERT, L.F. *Hidrometria Aplicada*. Curitiba/PR: LACTEC - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 372p.

TERRA MAGAZINE. Pernambuco e Alagoas: o Haiti é aqui. Disponível em <<http://terramagazine.terra.com.br/interna/0,,OI4533229-EI6788,00-Pernambuco+e+Alagoas+o+Haiti+e+aqui.html>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

TERRA NOTÍCIAS. Cheia e seca mudam paisagens no Amazonas. Disponível em <<http://noticias.terra.com.br/brasil/noticias/0,,OI4757332-EI306,00-Cheia+e+seca+mudam+paisagens+no+Amazonas+veja+fotos.html>>. Acesso em: 15 jun. 2011.