

Artigo

Precipitação na Cidade de Salvador: Variabilidade Temporal e Classificação em Quantis

Ana Paula Paes dos Santos¹, Maria Regina da Silva Aragão², Magaly de Fátima Correia²,
Sérgio Rodrigo Quadros dos Santos¹, Fabrício Daniel dos Santos Silva³,
Heráclio Alves de Araújo⁴

¹*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil.*

²*Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil.*

³*Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília, DF, Brasil.*

⁴*Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Salvador, BA, Brasil.*

Recebido: 28/4/2015 - Aceito: 20/10/2015

Resumo

Este trabalho tem como objetivo contribuir com o estudo da precipitação na cidade de Salvador–BA. Os totais mensais de precipitação obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia no período de 51 anos (1961-2011) fundamentaram esta pesquisa. A variabilidade pluviométrica foi analisada com ênfase na determinação das classes da precipitação nas escalas anual, quadrimestral e mensal. Foram utilizados os testes de significância não paramétricos de Mann-Kendall e as estimativas de inclinação pelo método da Curvatura de Sen. Na classificação pluviométrica foi utilizado o Método dos Percentis (Quantis). Para a análise anual, os resultados mostraram que 1964 (1961) foi um ano classificado como “muito chuvoso” (“muito seco”). Na análise do quadrimestre mais chuvoso AMJJ (mais seco ASON), o ano de 1971 (1980) foi o mais extremo “muito chuvoso” (“muito seco”). Na análise mensal, o evento que obteve maior volume pluviométrico ocorreu em abril de 1984 com registros de 889,8 mm. A análise da tendência mostrou uma redução no volume de chuva na escala anual, entretanto, sem significância estatística. Grande parte dos eventos analisados ocorreram com condições oceânicas no Pacífico equatorial e/ou Atlântico Sul Tropical favoráveis (desfavoráveis) ao aumento (diminuição) do volume de chuva na área em estudo, tendo por base uma análise qualitativa.

Palavras-chave: precipitação, evento extremo, Nordeste do Brasil.

Precipitation in Salvador City: Temporal Variability and Classification in Quantis

Abstract

This work aims to contribute to the study of rainfall in the city of Salvador – BA. The total monthly precipitation obtained from the National Institute of Meteorology in the period of 51 years (1961-2011) substantiate this research. The rainfall variability was analyzed with emphasis on determining the classes of precipitation in the annual, quarter and monthly scales. Nonparametric significance tests of Mann-Kendall and slope estimates by the method of Sen Curvature were used. At for rainfall classification, the method of Percentiles was adopted. For the annual review, the results showed that 1964 (1961) can be classified as “very wet” (“very dry”). The analysis of the wettest quarter AMJJ (drier ASON), the year 1971 (1980) was the most extreme “very wet” (“very dry”). In the monthly analysis, the event that had the highest volume of rainfall occurred in April 1984 with 889.8 mm records. Trend analysis showed a reduction in the rain volume on an annual scale, however, statistically not significant. Much of the analyzed events occurred with no conditions equatorial Pacific Ocean, and / or South Atlantic Tropical favorable (unfavorable) to increase (decrease) the volume of rain in the area in study, based on a qualitative analysis.

Keywords: precipitation, extreme event, Northeastern Brazil.

1. Introdução

O Brasil, devido à sua grande extensão territorial, apresenta diferenciados regimes de precipitação, em escala regional e sub-regional. A grande diversidade de regimes pluviométricos que caracteriza o Nordeste do Brasil é consequência de vários fatores que atuam isoladamente ou em conjunto, determinando as condições climáticas da região.

As anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Pacífico Equatorial associadas ao evento El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (Ropelewski e Halpert, 1987), e anomalias de TSM no Atlântico Tropical associadas ao Gradiente do Atlântico tem influência sobre a precipitação no Nordeste do Brasil (Hastenrath e Heller, 1977) ou seja, a variabilidade na distribuição da chuva na região, tanto em escala espacial quanto temporal, está intimamente relacionada com alterações na circulação atmosférica de grande escala, devido à interação entre a atmosfera e os oceanos Pacífico e Atlântico. O impacto causado pelo El Niño (La Niña), episódio quente (frio) do ENOS (dependendo da intensidade do evento) pode resultar em secas (chuvas) severas no Nordeste do País (Xavier *et al.*, 2003; Santos e Brito, 2007). Por outro lado, há situações em que são as anomalias de TSM no Atlântico Tropical Sul (ATS) que condicionam os totais pluviométricos na Região (Andreoli e Kayano, 2006). A alteração nos padrões de precipitação é maior quando as duas bacias oceânicas (Pacífico Tropical e Atlântico Tropical Sul) apresentam anomalias opostas. De maneira geral, os eventos de seca são os de maior impacto para a população do interior semiárido, enquanto que os episódios de precipitação intensa são mais importantes nos grandes centros urbanos situados no litoral da região.

A estação chuvosa na faixa costeira leste do Nordeste do Brasil, do Estado do Rio Grande do Norte ao Estado da Bahia na latitude de Salvador, abrange o período de abril a julho (AMJJ), que representa 60% da precipitação anual (Rao *et al.*, 1993). Na estação seca, setembro a dezembro (SOND), ocorre 10% da precipitação anual. A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) modula a intensidade e a direção dos ventos alísios ao longo do litoral e, dessa forma, representa um dos fatores que influenciam a variabilidade da chuva no leste do Nordeste do Brasil (Rao *et al.*, 1993).

Salvador, capital do Estado da Bahia, é a cidade com número mais elevado de desastres naturais associados a chuvas intensas no litoral da Região Nordeste (Santos, 2008). A cidade ocupa uma área em torno de 700 km², com aproximadamente 2.675.656 habitantes (IBGE, 2010). Sua normal climatológica de precipitação, de 2126,1 mm anuais (Ramos *et al.*, 2009), tem a contribuição de eventos de chuva intensa que, em sua maioria, ocorrem no quadrimestre AMJJ (Barreto, 2012). O relevo da cidade, com encostas íngremes e vales profundos, aliado à ocupação desordenada do solo, torna Salvador particularmente vulnerável a impactos adversos causados por chuvas fortes (Santos, 2008; Santos, 2013), já que estas características

propiciam condições extremamente favoráveis ao escoamento superficial, uma vez que reduzem significativamente a capacidade de infiltração da água no solo. O processo de saturação do terreno, em associação aos tipos de solo da cidade (massapé na área do subúrbio ferroviário) e à ocupação de áreas de encosta, potencializa a ocorrência de deslizamentos (Álvares Neto, 2006).

Diante da vulnerabilidade de Salvador em relação ao volume e à intensidade da chuva, o presente trabalho representa uma contribuição ao conhecimento do perfil climático da cidade associado à precipitação, por meio da análise da variabilidade e da classificação pluviométrica. Os resultados obtidos visam embasar o planejamento e execução de medidas preventivas que possam prevenir e/ou mitigar os impactos adversos causados por extremos de precipitação na cidade.

2. Dados e Metodologia

Os dados de precipitação utilizados neste trabalho são provenientes do banco de dados da estação meteorológica de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na cidade de Salvador (Fig. 1). Foram obtidos totais anuais, quadrimestrais e mensais, de 51 (cinquenta e um) anos de dados, correspondentes ao período de 1961 a 2011. Os dados foram analisados visando identificar tendências e classificar os totais pluviométricos em base anual, quadrimestral e mensal.

A tendência monotônica foi testada utilizando um modelo desenvolvido pelo Instituto Meteorológico Finlândês denominado de MAKENSENS - *Mann-Kendall test for trend and Sen's method for the magnitude of the trend* - (Salmi, *et al.*, 2002). Nele o teste não paramétrico de Mann-Kendall é usado para verificar a existência de uma tendência monotônica crescente ou decrescente. A inclinação e a magnitude de uma tendência linear são estimadas através do método não paramétrico de Sen (Richard, 1987; Salmi, *et al.*, 2002; Sen, 1968; Sneyers, 1975).

O teste de Mann-Kendall foi utilizado devido o mesmo não necessitar que a série de dados apresente uma distribuição normal (gaussiana) a qual, é uma característica dos dados de precipitação, e devido também ao seu resultado ser menos influenciado por valores *outliers*, visto que seu cálculo é baseado no sinal das diferenças, e não diretamente nos valores da variável (Silva, *et al.*, 2015). Assim como o teste de Mann-Kendall, o método Sen foi utilizado por ser insensível aos valores de *outliers*, provendo uma medida mais realística das tendências em uma série temporal de dados, e deste modo, torna o método mais rigoroso que a usual regressão linear (Silva, *et al.*, 2015). Outros trabalhos que também utilizaram os métodos de Mann-Kendall e da Curvatura de Sen são Silva (2010), Fan e Wang (2011), Oliveira (2011) e Silva e Dereczynski (2014).

Na classificação dos totais pluviométricos, realizada com o objetivo de caracterizar os eventos de acordo com a

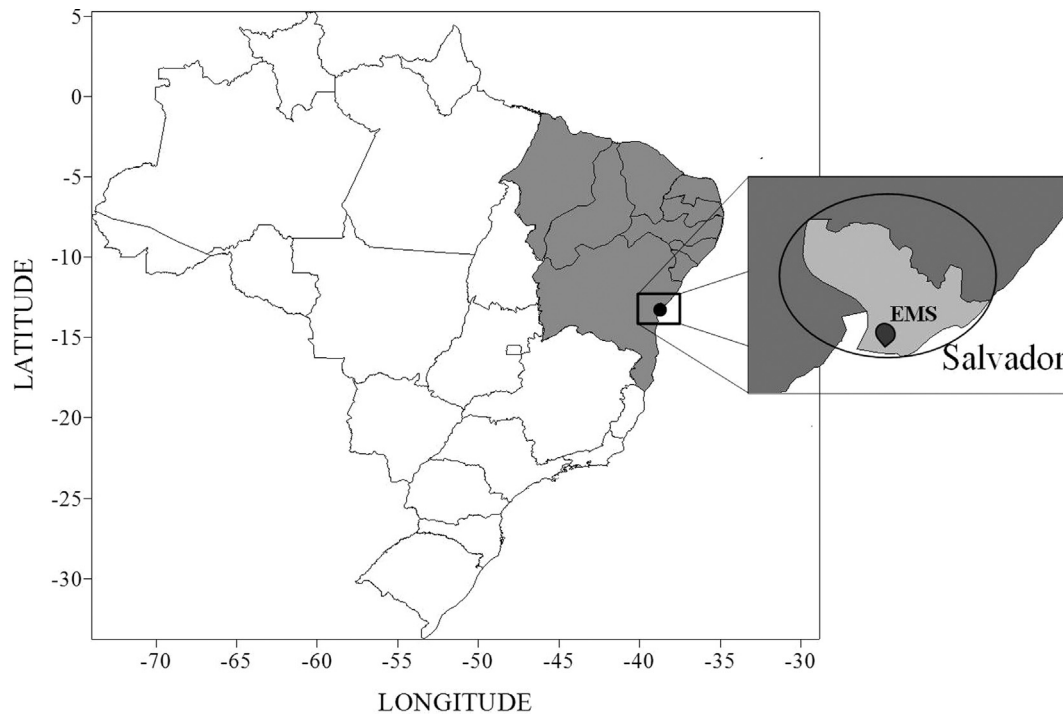


Figura 1 - Divisão política do Brasil com destaques para os Estados da Região Nordeste (cinza escuro) e para Salvador (cinza claro) capital do Estado da Bahia. O marcador no mapa da cidade referencia a localização da Estação Meteorológica de Superfície (EMS) do INMET.

sua intensidade, foi utilizada a técnica dos percentis (quantis) proposta por Pinkayan (1966). Amplamente utilizada por Xavier (2001) para estabelecer a classificação e o monitoramento de períodos secos e chuvosos, esta técnica baseia-se na distribuição da frequência acumulada, sendo que a aproximação da função densidade de probabilidade que descreve o fenômeno é tanto melhor quanto maior é o número de observações disponíveis. Os intervalos de cada percentil representam as probabilidades ou frequências esperadas para cada um dos eventos que podem ocorrer na sequência da série temporal de uma variável x . Esta metodologia consiste estritamente na distribuição em ordenamento crescente de uma série amostral contínua. Neste trabalho a série está constituída pelos totais de chuva (anuais, trimestrais e mensais), sendo atribuída uma probabilidade p univocamente a cada valor amostral (Xavier, 1999; Xavier, 2002). Assim, a série temporal pode ser distribuída sob a forma $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, na qual x_1 representa o menor valor e x_n o maior valor da série. O índice n , portanto, representa o tamanho da amostra. Por fim, são calculados os quantis sendo que, neste caso em particular, percentis, visto que a divisão considera 100 (cem) partes. A seguir, são obtidas as ordens quantílicas e a classificação em grupos propriamente dita (Lopes *et al.*, 2013). Este trabalho utiliza as ordens quantílicas Q0,15; Q0,35; Q0,65 e Q0,85 para estabelecer as classes em relação aos valores observados (x_i) de precipitação (Tabela 1).

As classes apresentadas na Tabela 1 permitem, portanto, selecionar de forma objetiva e rápida os eventos

climáticos anômalos e de interesse para estudo em um determinado período, tais como episódios extremamente secos ou chuvosos, bem como o padrão normal. Ressalta-se que no cálculo do quadrimestre DJFM do primeiro ano em estudo, 1961, foram considerados apenas os meses de janeiro, fevereiro e março, uma vez que o volume pluviométrico registrado em dezembro de 1960 não constava na base de dados. Na análise dos resultados ficou evidente que o uso de três meses apenas não alterou o resultado da classe para este quadrimestre, uma vez que 1961 foi um ano extremamente seco, além de que o total pluviométrico desse quadrimestre ficou bem próximo daquele observado nos anos seguintes, com diferença em torno de 15 mm.

As classes obtidas em base anual, particularmente os extremos “muito chuvoso” (MC) e “muito seco” (MS), foram relacionadas com a TSM dos oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical Sul. Para a análise qualitativa das ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña e da TSM do Atlântico Tropical Sul, foram utilizadas as informações das

Tabela 1 - Intervalos de classe para classificação da precipitação

Classes de precipitação	
$x_i \leq q_{0,15}$	Muito Seco “MS”
$q_{0,15} < x_i \leq q_{0,35}$	Seco “S”
$q_{0,35} < x_i < q_{0,65}$	Normal “N”
$q_{0,65} < x_i < q_{0,85}$	Chuvoso “C”
$x_i \geq q_{0,85}$	Muito Chuvoso “MC”

Tabelas 2 e 3, a primeira baseada em informações do CPTEC/INPE e a segunda adaptada de Andreoli e Kayano (2006). As informações contidas na tabela de Andreoli e Kayano (2006) tratam de padrões de TSM entre os oceanos Pacífico e Atlântico, isto é, apresentam somente os anos com combinações entre a TSM do ATS e a do Pacífico enquanto que o CPTEC/INPE utiliza somente informações do Oceano Pacífico. Além disso, a TSM sobre o Pacífico em Andreoli e Kayano (2006) são referentes ao Niño-3, que compreende a área de 6° N/6° S e de 150° W/90° W. O período de análise também é distinto: Andreoli e Kayano (2006) referem-se ao período 1963-1999 e CPTEC/INPE ao período 1963-2010. Por estes motivos, em alguns anos pôde-se notar algumas divergências entre as tabelas. A utilização de informações de ambas as tabelas se deu por algumas informações estarem contidas em uma tabela e em outra não, devido aos motivos descritos acima.

3. Resultados

3.1. Análise anual

Os totais anuais de precipitação, a média anual e tendência no período em estudo, juntamente com o valor da normal anual para comparação são ilustrados na Fig. 2. A tendência negativa calculada, ou seja, redução de aproximadamente 3,8 mm/ano (Fig. 2a), é próxima daquela en-

contrada por Oliveira (2011). Vale destacar que, assim como em Oliveira (2011), o método de Mann-Kendall não indicou significância estatística para os dados de precipitação anual em Salvador. A quase totalidade dos maiores volumes de chuva ocorreu até a década de 1980. É possível verificar também que a média da série temporal (2014,9 mm) ficou 111,2 mm abaixo da normal climatológica (2126,1 mm).

Os anos com totais pluviométricos mais elevados foram 1964 e 1989 (Fig. 2a,b). O ano de 1964 foi classificado como chuvoso por Rao *et al.* (1993) usando dados observacionais do período 1914-1983 da faixa costeira que se estende do Rio Grande do Norte à latitude de Salvador. Valores extremos de chuva no litoral leste do Nordeste do Brasil em 1964 também foram destacados por Lima (1991), e no litoral do Estado da Paraíba no ano de 1989 por Silva (2007). Nesses anos o fenômeno La Niña estava configurado no Oceano Pacífico segundo tabela disponível na página eletrônica do CPTEC/INPE. No Oceano Atlântico Sul, a temperatura da superfície do mar nos primeiros cinco meses do ano esteve acima da média em 1964, e em torno da normalidade em 1989 (Andreoli e Kayano, 2006). De maneira geral, as condições nos dois oceanos favoreciam chuvas acima da média na região.

Os anos com totais pluviométricos mais baixos foram 1961 (946,1 mm) e 1993 (1235,4 mm). Valores de extremos secos no ano de 1993 também foram observados, no litoral paraibano, por Silva (2007). Neste ano, de acordo com o CPTEC/INPE o fenômeno El Niño estava configurado no Oceano Pacífico, desfavorecendo a ocorrência de precipitação na região. No ano de 1961 a TSM do Oceano Pacífico esteve dentro dos padrões de neutralidade, e por esse motivo não foi evidenciado na Tabela 2.

A Fig. 2b mostra as classes de precipitação obtidas usando o método dos percentis. Observa-se que, além dos anos já citados como mais chuvosos, os anos de 1968, 1971, 1975, 1985 e 1999 também foram classificados como “muito chuvosos”. Em contrapartida, além dos anos mais secos, 1962, 1976, 1981, 2007 e 2008 também foram classificados como “muito secos”. Os anos de 1976 e 1981, em particular, também foram classificados como secos por Rao *et al.* (1993).

Tabela 2 - Ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña para o período de 1963-2010. (Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE).

Ocorrência de El Niño		Ocorrência de La Niña	
-	1963	1964 - 1965	1970 - 1971
1965 - 1966	1968 - 1970	1973 - 1976	1983 - 1984
1972 - 1973	1976 - 1977	1984 - 1985	1988 - 1989
1977 - 1978	1979 - 1980	1995 - 1996	1998 - 2001
1982 - 1983	1986 - 1988	2007 - 2008	-
1990 - 1993	1994 - 1995	-	-
1997 - 1998	2002 - 2003	-	-
2004 - 2005	2006 - 2007	-	-
2009 - 2010	-	-	-

Tabela 3 - Padrões de TSM do Pacífico Equatorial e do Atlântico Tropical Sul combinados, para o período de 1963-1999. (As abreviaturas são: ATSQ: Atlântico Tropical Sul Quente; ATSN: Atlântico Tropical Sul Neutro; ATSF: Atlântico Tropical Sul Frio). (Fonte: Adaptado de Andreoli and Kayano, 2006).

El Niño, ATSQ	El Niño, ATSN	La Niña, ATSF	La Niña, ATSN	ENOS Neutro, ATSQ	ENOS Neutro, ATSF
1972 - 73	1986 - 87	1975 - 76	1967 - 68	1963 - 64	1969 - 70
1982 - 83	1991 - 92	1996 - 97	1970 - 71	1983 - 84	1977 - 78
1997 - 98	-	-	1973 - 74	1987 - 88	1980 - 81
-	-	-	1984 - 85	1994 - 95	-
-	-	-	1988 - 89	-	-
-	-	-	1998 - 99	-	-

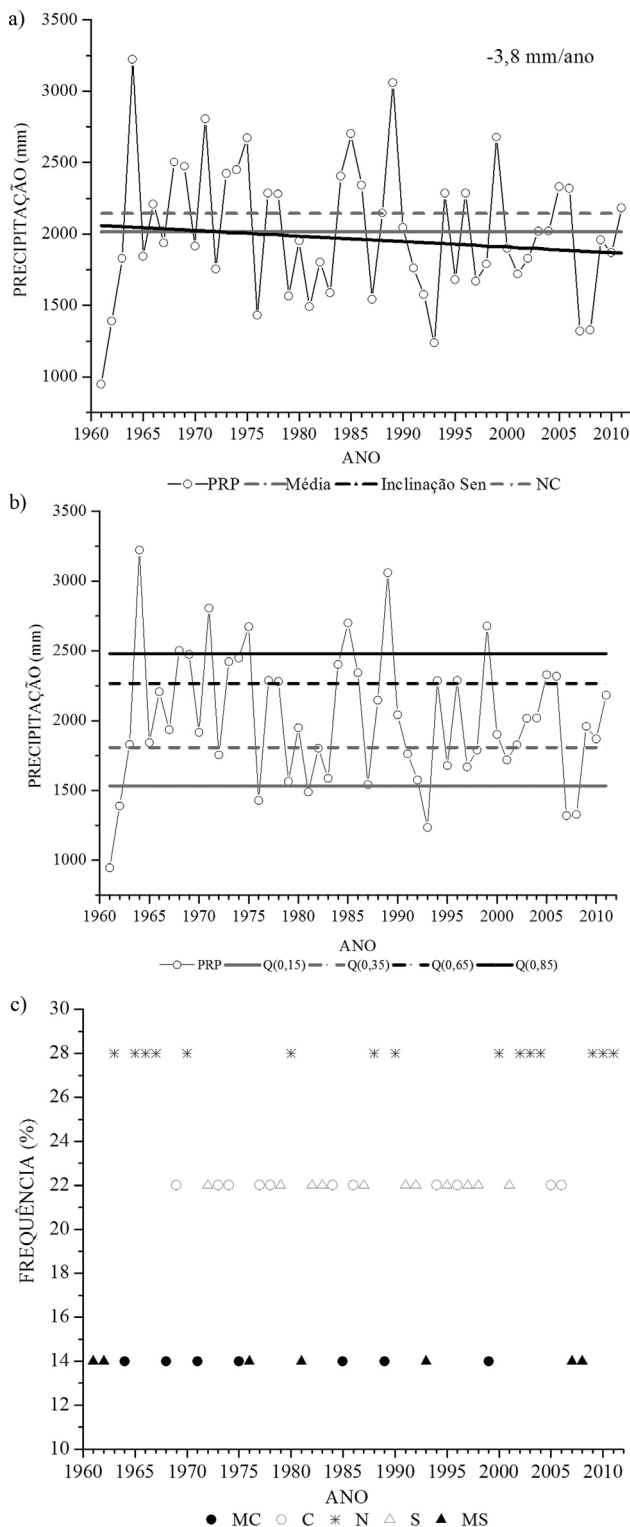


Figura 2 - Precipitação em Salvador no período 1961-2011: (a) série temporal dos totais anuais de precipitação (PRP em mm) apresentando a média, a inclinação Sen e a normal climatológica (NC); (b) classificação dos totais anuais de precipitação obtida pelo método dos percentis, e (c) frequência percentual das classes do período analisado. O significado dos símbolos utilizados é descrito na Tabela 1. (Fonte de dados: INMET).

O número de anos de cada classe pluviométrica é representado como frequência percentual na Fig. 2c: 14% “muito chuvoso” (MC), 22% “chuvoso” (C), 28% “normal” (N), 22% “seco” (S) e 14% “muito seco” (MS). A figura também ilustra a classe de precipitação correspondente a cada ano do período 1961-2011, evidenciando que os eventos extremos (“muito seco” e “muito chuvoso”) ocorreram em maior número nas décadas de 1960 e 1980. Na década de 1990 predominaram os eventos “secos”.

3.2. Análise quadrimestral

Na climatologia da precipitação em Salvador, representada pela média mensal e pelo desvio padrão do período 1961-2011, e pela normal climatológica (NC) do período 1961-1990 (Fig. 3), o quadrimestre de abril a julho (AMJJ) é o mais chuvoso, em concordância com o resultado encontrado por Rao *et al.* (1993) para o leste do Nordeste do Brasil no período 1914-1983.

Os menores valores de desvio padrão do período em estudo estão nos quadrimestres menos chuvosos, constituídos pelos meses de agosto a novembro (ASON) e de dezembro a março (DJFM). Este resultado representa que, em termos absolutos, o total precipitado varia menos nos meses em que os totais pluviométricos são mais baixos. Por outro lado, o desvio padrão próximo da média indica que a variabilidade é alta, particularmente em dezembro e em janeiro.

No quadrimestre chuvoso (abril a julho) estão os maiores valores de desvio padrão, com mínimo de 81,3 mm em julho e máximo de 200,5 mm em abril. Contrastando com os quadrimestres anteriores, os totais de precipitação variam mais, em termos absolutos, nestes meses. Em contrapartida, o desvio padrão distante da média indica que a

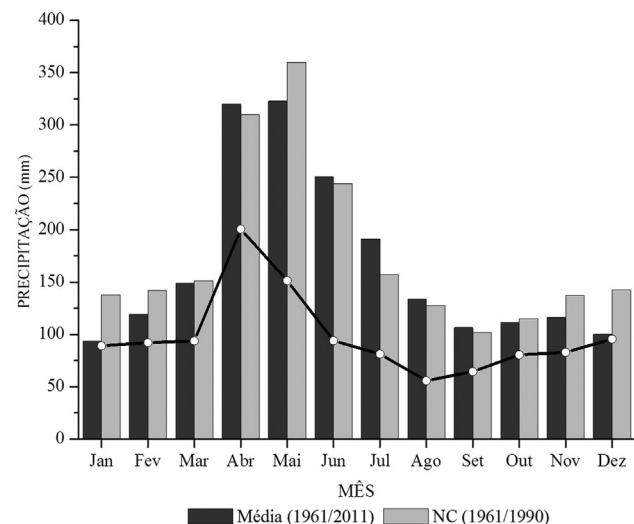


Figura 3 - Série temporal dos valores mensais de precipitação (mm) correspondentes à normal climatológica do INMET (cinza claro), e à média mensal (cinza escuro) e desvio padrão (linha preta) do período 1961-2011 na cidade de Salvador. (Fonte de dados: INMET).

variabilidade é relativamente baixa, particularmente em maio e julho.

Não há grande diferença entre as médias mensais de precipitação do período em estudo e a normal climatológica (NC); a diferença máxima é de 44 mm no mês de janeiro. Vale destacar também que a média do período 1961-2011 supera a NC nos meses do quadrimestre AMJJ, com exceção do mês de maio. Tendo em vista estas características climatológicas, a seguir são analisados os resultados dos três quadrimestres (AMJJ, ASON, DJFM), e na subseção seguinte são discutidos os resultados mensais.

A variabilidade interanual dos totais de precipitação e a frequência percentual para o quadrimestre DJFM ilustradas na Fig. 4a evidenciam que os maiores totais de chuva ocorreram nas décadas de 1960 e 1970, com destaque para o ano de 1964, com 1288,2 mm. Para este ano, segundo o CPTEC/INPE foi um ano sob a influência do fenômeno La

Niña. No entanto, segundo informações contidas na Tabela 3 (Andreoli and Kayano, 2006) para a área do Niño-3, a TSM no Pacífico encontravam-se dentro dos padrões de normalidade e com anomalias acima da média para o ATS. De modo geral, considerando informações de ambas tabelas, os dois oceanos encontravam-se com cenários favoráveis ao aumento de precipitação sobre a área em estudo. Além do ano identificado como o maior extremo chuvoso, também foram classificados como MC os seguintes quadrimestres: 1968, 1970, 1974, 1978, 1980 e 2005. Vale destacar que 1964 e 1968 são anos também classificados como MC (Fig. 2b).

O valor mínimo de precipitação foi de 132,1 mm, no ano de 1961, no entanto não foram observadas informações de TSM em ambas tabelas sobre este ano. Vale ressaltar novamente que, dezembro de 1960 não constava na série de dados. Os quadrimestres DJFM muito secos, além de 1961, foram: 1973, 1982, 1993, 1995, 2006 e 2010. Neste caso 1961 e 1993 são anos também classificados como MS (Fig. 2b).

O número de anos de cada classe pluviométrica no período em estudo é representado como frequência percentual na Fig. 4b: 14% “muito chuvoso” (MC), 22% “chuvoso” (C), 28% “normal” (N), 22% “seco” (S) e 14% “muito seco” (MS). Vale destacar também que quase todos os eventos “muito chuvosos” ocorreram nas décadas de 1960 e 1970, e que os eventos “chuvosos” e “secos” predominaram nas décadas de 1980 e 1990.

No quadrimestre AMJJ, os maiores volumes pluviométricos foram registrados nas décadas de 1970, 1980 e 1990 (Fig. 5a). O ano de total mais elevado foi 1971, com 1830,4 mm no quadrimestre. Segundo Andreoli e Kayano (2006), nesse ano houve influência do fenômeno La Niña (favorável ao aumento da chuva no Nordeste do Brasil) e condições de neutralidade no Atlântico Sul. Na Tabela 2 (CPTEC/INPE) este ano também foi classificado como La Niña. Além deste, os anos classificados como MC para este quadrimestre foram os seguintes: 1973, 1975, 1984, 1985, 1989, 1994 e 2006. Dentre eles 1975, 1985 e 1989 são anos também classificados como MC (Fig. 2b).

Sob influência do El Niño, e de TSM anormalmente fria no Atlântico Sul, cenários estes desfavoráveis à chuva no Nordeste do Brasil, o quadrimestre mais seco foi o de 1980, com um total de 552,3 mm. Além deste, foram classificados como MS: 1961, 1976, 1983, 1992, 2001, 2007 e 2008. Dentre eles 1961, 1976, 2007 e 2008 são anos também classificados como MS (Fig. 2b). Totais pluviométricos abaixo da Fig. climatológica no leste do Nordeste do Brasil em 1983 também foram observados por Alves *et al.* (1997).

O número de anos de cada classe pluviométrica no período de estudo é representado como frequência percentual na Fig. 5b: 16% “muito chuvoso” (MC), 20% “chuvoso” (C), 28% “normal” (N), 20% “seco” (S) e 16% “muito seco” (MS). Vale destacar a concentração de even-

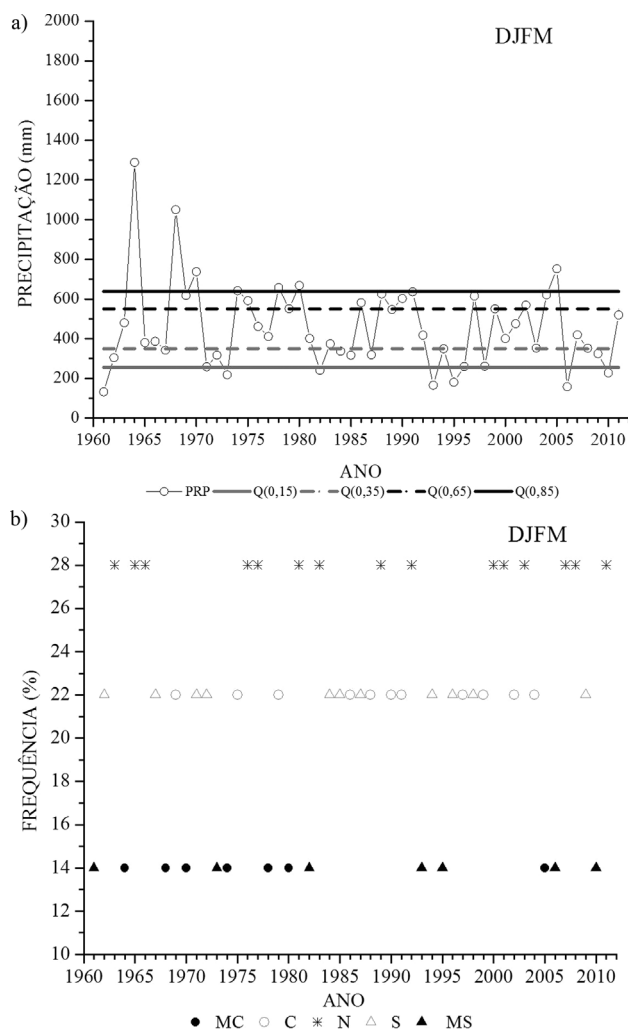


Figura 4 - Precipitação na cidade de Salvador no quadrimestre DJFM (dezembro-janeiro-fevereiro-março) do período 1961-2011: (a) série temporal dos totais de precipitação (mm) e a classificação obtida pelo método dos percentis e (b) frequência percentual das classes. O significado dos símbolos utilizados é descrito na Tabela 1. (Fonte de dados: INMET).

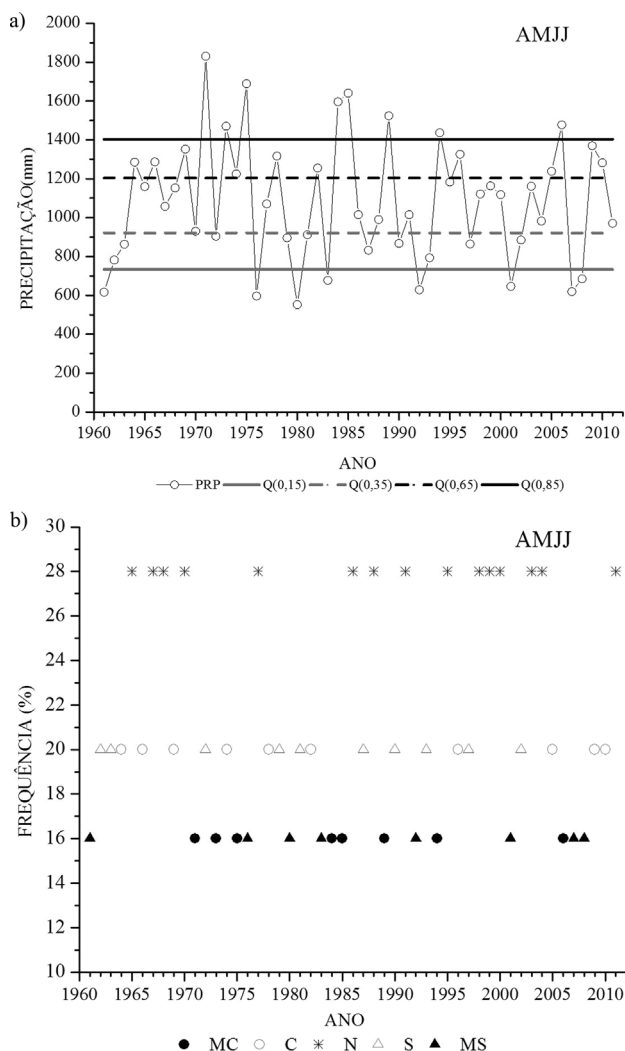


Figura 5 - Precipitação na cidade de Salvador no quadrimestre AMJJ (abril-maio-junho-julho) do período 1961-2011: (a) série temporal dos totais de precipitação (mm) e a classificação obtida pelo método dos percentis e (b) frequência percentual das classes. O significado dos símbolos utilizados é descrito na Tabela 1. (Fonte de dados: INMET).

tos “muito chuvosos” nas décadas de 1970 e 1980, e o número relativamente elevado de eventos “muito secos” na década de 2000.

A variabilidade interanual dos totais de precipitação do quadrimestre ASON são ilustradas na Fig. 6a que evidencia a pequena variabilidade da precipitação no período de estudo. O máximo chuvoso ocorreu no ano de 1999 (904,1 mm), sob condições de La Niña no Pacífico, e de neutralidade da TSM no Atlântico Sul (Andreoli e Kayano, 2006). O quadrimestre também foi classificado como MC nos anos de 1964, 1973, 1980, 1986, 1989, 1990 e 2006. Dentre eles 1964, 1989 e 1999 são anos também classificados como MC (Fig. 2b). Os quadrimestres ASON dos anos de 1961, 1963, 1979, 1981, 1997, 2005, 2008, e 2010 foram classificados como MS, com destaque para 1961,

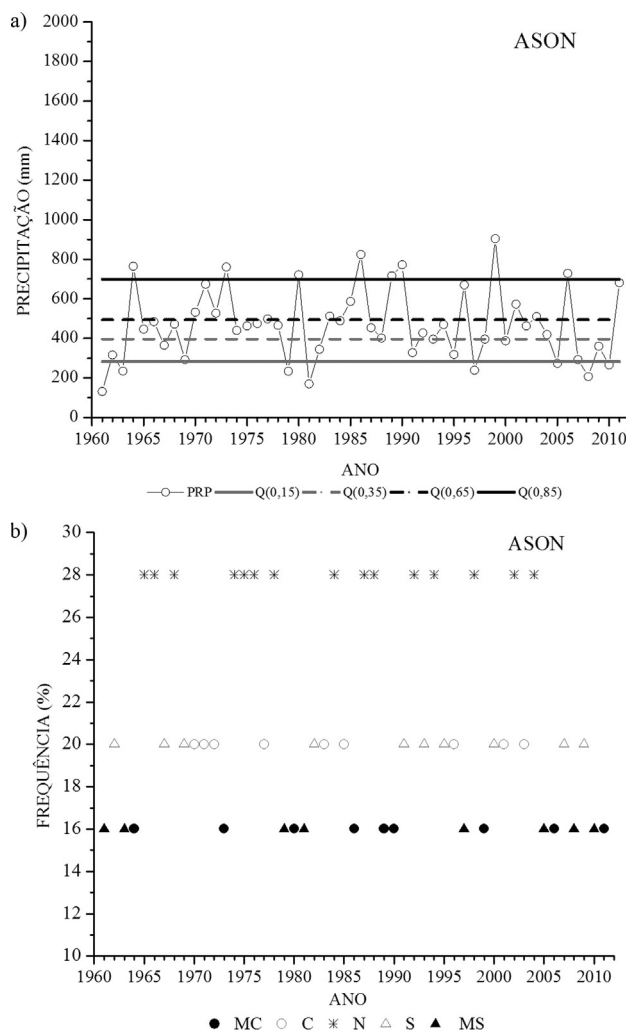


Figura 6 - Precipitação na cidade de Salvador no quadrimestre ASON (agosto-setembro-outubro-novembro) do período 1961-2011: (a) série temporal dos totais de precipitação (mm) e a classificação obtida pelo método dos percentis e (b) frequência percentual das classes. O significado dos símbolos utilizados é descrito na Tabela 1. (Fonte de dados: INMET).

com 130,9 mm. Neste caso 1961, 1981 e 2008 são anos também classificados como MS (Fig. 6b).

O número de anos de cada classe pluviométrica é representado como frequência percentual no período de 1961-2011 na Fig. 6b: 16% “muito chuvoso” (MC), 20% “chuvoso” (C), 28% “normal” (N), 20% “seco” (S) e 16% “muito seco” (MS). A figura também evidencia o número relativamente elevado de eventos “muito chuvosos” na década de 1980 e início da década de 1990, e a sucessão de eventos “muito secos” e “muito chuvosos” no final do período de estudo.

O quadrimestre mais chuvoso é AMJJ, conforme mencionado anteriormente, e o menos chuvoso é ASON. Não foi encontrada significância estatística na precipitação dos quadrimestres (figura não mostrada), o que está em concordância com a maioria dos resultados encontrados por

Oliveira (2011), exceto para o trimestre MAM no qual ele constatou uma tendência de aumento de 8,9 mm/ano ao nível de confiança de 90%.

3.3. Análise mensal

Na Fig. 7, são apresentadas a variabilidade, a classificação dos percentis (à esquerda) e frequência percentual

(à direita) das classes da precipitação mensal em Salvador. No mês de janeiro três máximos de chuva se destacaram: 1964 (481,2 mm), 2002 (252,4 mm) e 2004 (319,4 mm). Esses eventos, juntamente com os de 1968, 1970, 1980, 1989 e 1991 foram classificados como “MC”. Outro aspecto relevante sobre janeiro de 2004 é que também foram registradas chuvas atípicas em outras áreas do Nordeste do

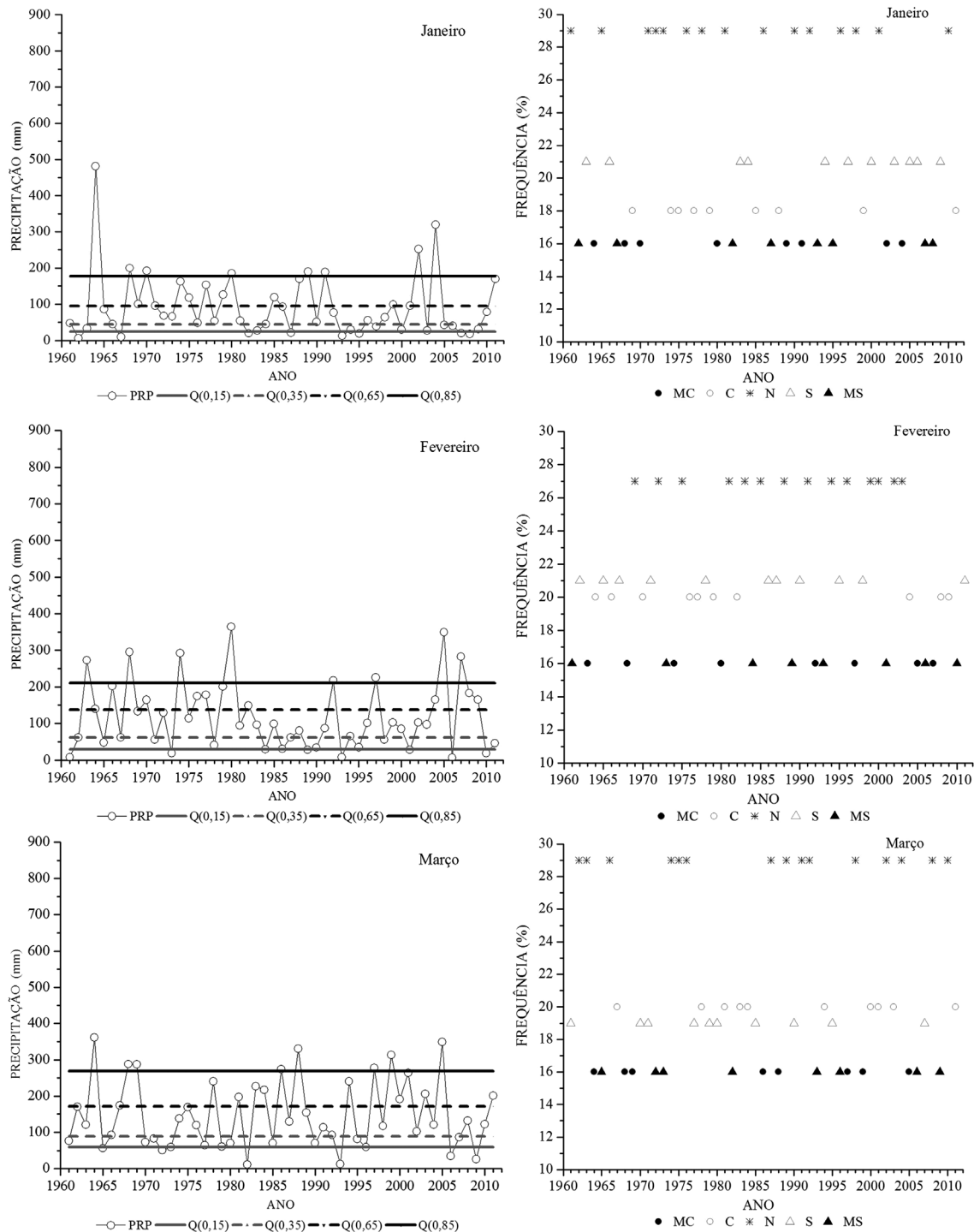


Figura 7 - Precipitação mensal na cidade de Salvador no período 1961-2011: classificação dos totais de precipitação obtida pelo método dos percentis (à esquerda) e frequência percentual das classes (à direita). O significado dos símbolos utilizados é descrito na Tabela 1. (Fonte de dados: INMET).

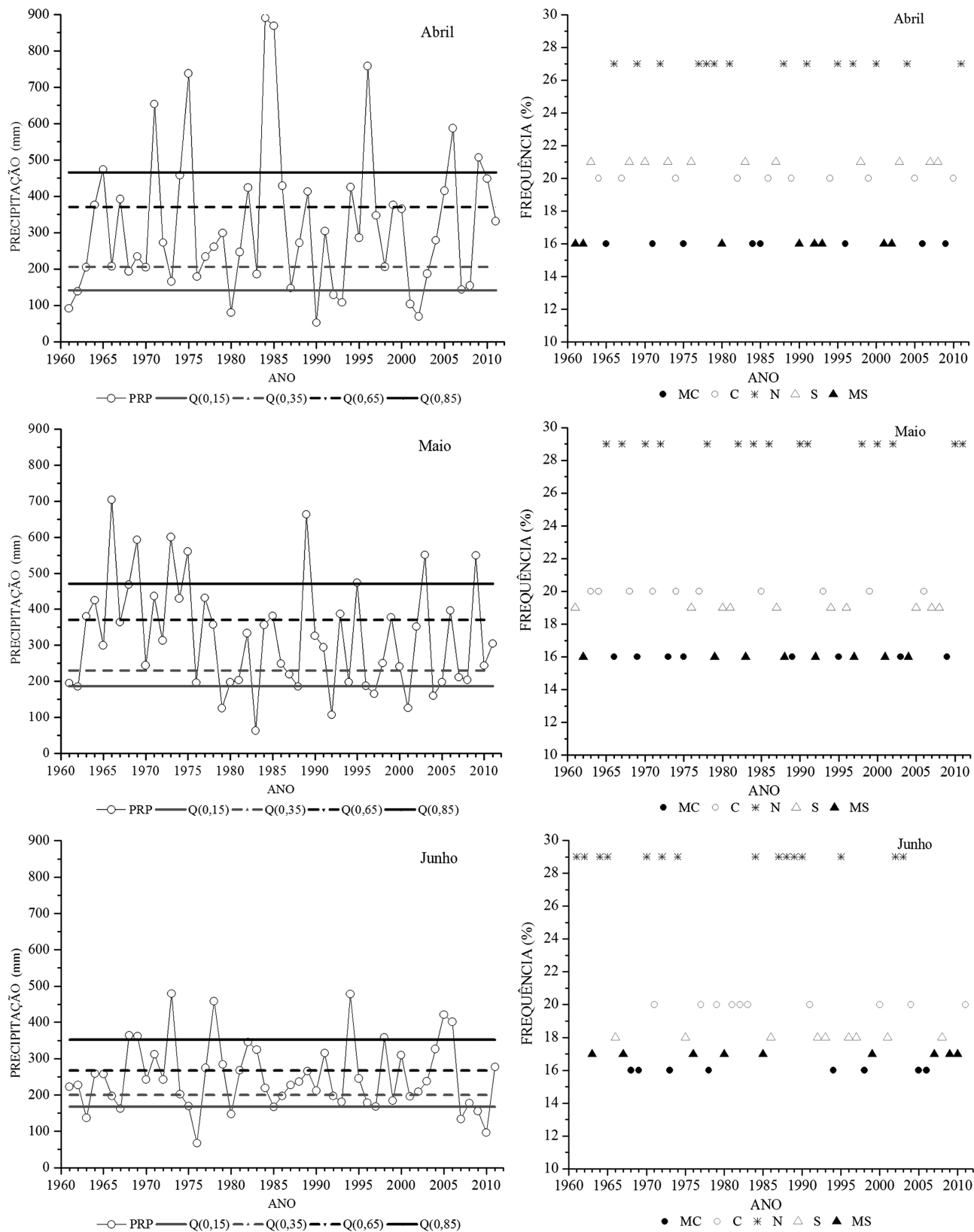


Figura 7 - (cont.)

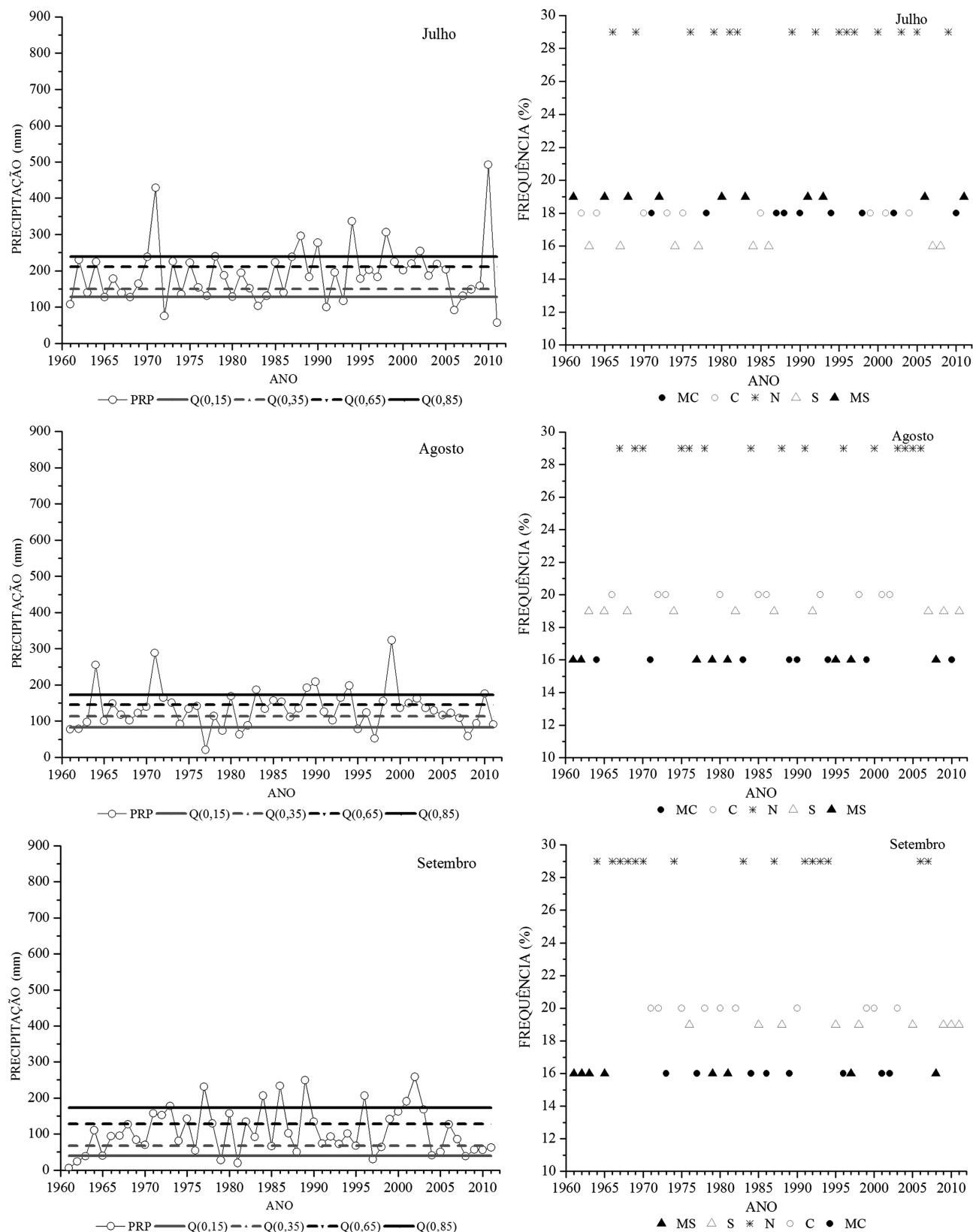


Figura 7 - (cont.)

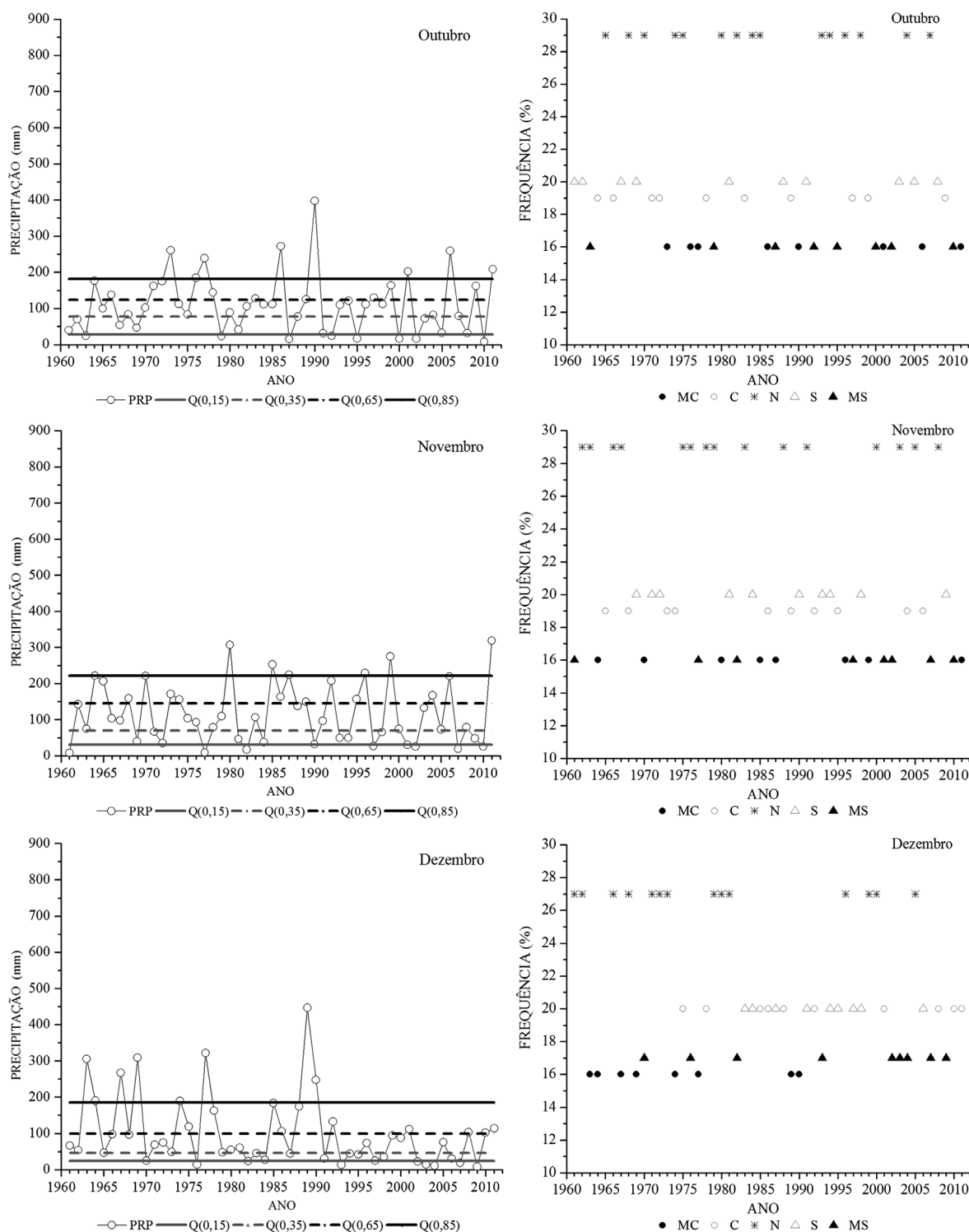


Figura 7 - (cont.)

Brasil (Alves *et al.*, 2006; Queiroz *et al.*, 2014). Esta classe, com frequência de 16% dentro o total de classes de precipitação deste mês, foi relativamente bem distribuída no período de estudo. O total pluviométrico mais baixo foi de 6,1 mm em 1962, justificando sua classificação como “MS”, juntamente com 1967, 1982, 1987, 1993, 1995,

2007 e 2008. Esta classe também foi relativamente bem distribuída ao longo dos anos, com exceção dos eventos sequenciados de 2007 e 2008, e apresentou frequência de 16% do total da série de dados para janeiro. As classes “S”, “N” e “C” apresentaram frequência de 21%, 29% e 18%, respectivamente.

O mês de fevereiro apresentou total pluviométrico que variou entre 7,1 mm em 2006 (evento “MS”) a 364,2 mm em 1980 (evento “MC”). Exceto pelos eventos de 1992 e 1997, classificados como “MC”, este mês se destacou por apresentar um período de aproximadamente 20 anos de eventos normais, secos e muito secos, entre os anos de 1983 e 2003. Isto pode ser observado também ao analisar a frequência de eventos “N”, que reflete maior número entre os anos de 1981 e 2003.

O mês de março se caracterizou por apresentar eventos relativamente semelhantes ao mês de fevereiro em cada classe, isto é, sem máximos ou mínimos expressivos e com os vários tipos de classe bem distribuídos ao longo dos anos, com a ressalva de um número ligeiramente maior de eventos “MS” de 1970 em diante, e de eventos “MC” a partir da década de 1980.

O mês de abril apresentou um perfil diferente dos existentes nos meses já discutidos, com valores máximos de precipitação muito elevados, exemplificados pelos anos de 1984 e 1985, nos quais foram registrados 889,8 mm e 869,0 mm, respectivamente. Juntamente com estes dois anos, 1965, 1971, 1975, 1996, 2006 e 2009 também foram classificados como “MC”. De maneira geral, os eventos dessa classe ocorreram de forma bem distribuída ao longo do período de estudo, assim como as classes “N”, “S” e “C”. Já os eventos “MS” ocorreram principalmente após a década de 1980, com valor mínimo de precipitação de 52,0 mm no ano de 1990. Os anos de 1961, 1962, 1980, 1992, 1993, 2001 e 2002 também foram classificados como anos “MS” neste mês.

No mês de maio os eventos “MC” se concentraram principalmente entre os anos de 1966 e 1976. Após esse período, os eventos “N”, “S” e “MS” foram mais frequentes. O máximo pluviométrico registrado (MC), que foi de 703,7 mm no ano de 1966, assim como 1969, 1973, 1975, 1989, 1995, 2003 e 2009. Os anos classificados como “MS” foram 1962, 1979, 1983, 1988, 1992, 1997, 2001 e 2004, com destaque para o ano de 1983 com 63,1 mm de precipitação.

No mês de junho os totais pluviométricos assumiram valores entre o máximo de 479,3 mm, em 1973, e o mínimo de 67,5 mm, em 1976. A classe “MC” caracteriza os anos de 1968, 1969, 1973, 1978, 1994, 1998, 2005 e 2006. Destaca-se a ausência de eventos “MC” na década de 1980. Os eventos classificados como “MS” ocorreram nos anos de 1963, 1967, 1976, 1980, 1985, 2007, 2009 e 2010. A frequência de eventos “N” foi maior até a década de 80, inclusive. A classe “C” foi mais frequente nas décadas de 1970 e 1980, enquanto que a classe “S” teve frequência maior na década de 1990.

No mês de julho houve dois eventos com totais pluviométricos extremos (classe “MC”): o primeiro em 1971, com registro de 428,6 mm, e o segundo em 2010, com 492,5 mm. Os anos de 1978, 1988, 1990, 1994, 1998 e 2002 também foram classificados como eventos “MC”. Os even-

tos classificados como “MS” ocorreram nos anos de 1961, 1968, 1972, 1983, 1991, 1993, 2006 e 2011, com destaque para os anos de 1972 e 2011, com registro de 75,2 mm e 57,6 mm, respectivamente. Nota-se que os volumes de chuva mais significativos neste mês ocorreram de forma alternada e sequenciada, primeiro um extremo chuvoso e, em seguida, um extremo seco. As frequências de classe foram de 18% para a classe “MC” e de 19% para a classe “MS”, sendo que os eventos “MC” ocorreram principalmente a partir da década de 1970. A classe “S” ocorreu com maior frequência até a década de 1980 e as demais classes ocorreram ao longo de todos os anos.

Agosto foi o mês que apresentou a menor amplitude de classes, variando entre 20,3 mm da classe “MS” e 323,5 mm da classe “MC”. Na classe “MC” três eventos se destacaram: 1964 com 255,6 mm, 1971 com 288,4 mm e 1999 com 323,5 mm. Esta classe apresentou frequência de 16% do total. Já a classe “MS” revelou um evento mais expressivo de 20,3 mm no ano de 1977. Outros anos com eventos “MS” foram 1961, 1962, 1979, 1981, 1995, 1997 e 2008. A frequência destes eventos foi bem distribuída ao longo dos anos, com percentual de 16%.

O mês de setembro revelou maior frequência de eventos “MS” até a década de 1980, a partir da qual a frequência de eventos “MC” foi maior. Os anos de 1961, 1962, 1963, 1965, 1979, 1981, 1997 e 2008 foram classificados como eventos “MS”, com destaque para o ano de 1961 com total de 5,8 mm. Os anos de 1973, 1977, 1984, 1986, 1989, 1996, 2001 e 2002 foram classificados como eventos “MC” e frequência de 16% para cada classe. O ano de 2002 destacou-se por registrar um volume de precipitação de 258,8 mm. Já os eventos “S” ocorreram em maior frequência a partir do ano de 1985 e os “C” entre a década de 1970 e o ano de 2005. Os eventos da classe “N” ocorreram ao longo de toda a série temporal, com frequência de 29% do total de casos.

Outubro caracterizou-se por destacar um evento extremo chuvoso dentre os oito da classe “MC”, que ocorreu no ano de 1990 com registro de 396,9 mm de precipitação. Os demais anos classificados como “MC” foram 1973, 1976, 1977, 1986, 2001, 2006 e 2011. Estes eventos ocorreram com frequência de 16% do total de classes e principalmente a partir da metade da década de 1970. Já a classe “MS” não apresentou grande variabilidade pluviométrica entre seus eventos, com amplitude de 16,0 mm entre o evento menos seco e o mais seco. Os anos classificados como “MS” foram 1963, 1979, 1987, 1992, 1995, 2000, 2002 e 2010. As classes “N”, “S” e “C” apresentaram frequência de 29%, 20% e 19%, respectivamente, com ocorrência relativamente distribuída ao longo dos anos.

O mês de novembro não apresentou eventos expressivos, isto é, os valores de precipitação registrados foram próximos entre de cada uma das duas classes extremas (“MC” e “MS”), com frequência de 16% em ambas as classes. No entanto, ressalta-se que os eventos “MC” ocor-

reram principalmente até o final da década de 1990, período este que passou a ser registrado uma maior densidade de eventos “MS”. As classes “N”, “S” e “C” ocorreram nas respectivas frequências, 29%, 20% e 19%, similar ao observado em outubro.

O mês de dezembro apresentou um perfil no qual todos os eventos “MC” ocorreram até o primeiro ano da década de 1990, a saber: 1963, 1964, 1967, 1969, 1974, 1977, 1989 e 1990. Por outro lado, os eventos “MS” foram registrados a partir da década de 1970, porém em número maior na década de 2000. De maneira geral, as classes “S” e “C” ocorreram de forma intercalada a partir da metade da década de 1970, com frequência de 20% cada. Já os eventos “N”, com frequência de 27%, ocorreram principalmente até a primeira metade da década de 1980.

4. Conclusões

O presente trabalho abordou o estudo da precipitação, associada às condições climáticas, em uma área propícia à ocorrência de desastres naturais no Nordeste do Brasil: Salvador, capital do estado da Bahia. Tendo por base a série histórica (1961-2011) dos totais mensais de chuva desta cidade, foi aplicada a técnica dos percentis (quantis) para classificar os eventos de chuva em escala anual, quadrimestral e mensal. Para análise dos eventos mais significativos de chuva/seca, foram realizadas associações qualitativas entre a TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico Tropical Sul.

Na análise anual, 1964 (1961) foi o ano mais expressivo dos eventos da classe “muito chuvosa” (“muito seca”). O maior número desses eventos extremos encontra-se nas décadas de 1960 e 1980. Na análise do quadrimestre chuvoso (AMJJ), o ano de 1971 (1980) é o mais significativo da classe “muito chuvosa” (“muito seca”). Os eventos “muito chuvosos” estão concentrados nas décadas de 1970 e 1980. Já no quadrimestre mais seco (ASON) o ano de 1999 (1961) é o mais significativo da classe “muito chuvosa” (“muito seca”). A análise da tendência mostrou uma redução no volume de chuva em todas as escalas temporais, porém nenhum com significância estatística. De maneira geral, grande parte dos eventos analisados ocorreram com condições oceânicas no Pacífico equatorial e/ou Atlântico Sul Tropical favoráveis (desfavoráveis) ao aumento (diminuição) do volume de chuva na área em estudo.

Na análise mensal, abril foi o mês com maior volume pluviométrico, de até 889,8 mm em 1984. No entanto, maio é o mês mais chuvoso na média mensal. De forma geral, maio, novembro e dezembro apresentaram, perfis com períodos distintos entre as classes “MC” e “MS”. Julho caracterizou-se por evidenciar dois eventos significativos subsequentes entre as classes “MC” e “MS”, e agosto por apresentar a menor amplitude entre as classes, de todos os meses. Já os meses de abril e maio, além de serem os mais chuvosos, foram os que apresentaram maior amplitude.

Diante do exposto, a utilização da técnica dos quantis possibilitou realizar um perfil climatológico da precipita-

ção na cidade de Salvador durante as cinco últimas décadas, e pode servir como embasamento para estudos relacionados a esta área, bem como subsídio para o conhecimento do regime de chuva da cidade.

Referências

- ÁLVARES NETO, E. Problemática da drenagem em Salvador. **Revista VeraCidade** – Ano I. n° 01 – Dezembro, 2006.
- ALVES, J.M.B.; FERREIRA, F.F.; CAMPOS, J.N.B.; FILHO, F.A.S.; SOUZA, E.B.; DURAN, B.J.; SERVAIN, J.; STUDART, T.M.C. Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o Nordeste do Brasil durante janeiro/2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 1, p. 56-76, 2006.
- ALVES, J.M.B.; SOUZA, E.B.; FERREIRA, C.A.R.S. Um Estudo da Variabilidade Pluviométrica no Setor Leste do Nordeste Brasileiro e a Influência do Fenômeno El Niño/Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 12, n.2, p.25-39, 1997.
- ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. Tropical Pacific and South Atlantic effects on rainfall variability over northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 26, n. 13, p. 1895-1912, 2006.
- BARRETO, A.B. **Eventos Extremos de Chuva em Salvador: Uma Abordagem Matemático-Estatística do Ambiente Atmosférico**. 2012. Tese (Doutorado em Meteorologia)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.
- FAN, X.; WANG, M. Change trends of air temperature and precipitation over Shanxi Province, China. **Theoretical and applied climatology**, v. 103, n. 3-4, p. 519-531, 2011.
- HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in north-east Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 103, n. 435, p. 77-92, 1977.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br>.
- LIMA, M.C. **Variabilidade da precipitação no litoral leste da Região Nordeste do Brasil**. São José dos Campos, 1991. 222 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) -Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. 1991.
- LOPES, M.N.G.; DE SOUZA, E.B.; FERREIRA, D.B.S. Climatologia Regional da Precipitação no Estado do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, n. 1, 2013.
- OLIVEIRA, R.A.J. **Análise das Tendências da Precipitação sobre o Brasil e Impactos do Desmatamento no Regime de Chuvas na Amazônia Legal**. 2011. 146 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.
- PINKAYAN, S. Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area. Colorado: State University, Boulder-Co, **Hidrology Papers**, n.12, 1966.
- QUEIROZ, J.N.; SOUSA, L.F.; RIBEIRO, R.E.P.; SILVA ARA-GÃO, M.R.; CORREIA, M. F. Fatores físicos na atmosfera do semiárido brasileiro em janeiro de 2004. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 5 (Número Especial – VIWMCRRHPE), p. 990-1001, 2014.
- RAMOS, A.M.; SANTOS, L.A.R.; FORTES, L.T.G. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Distrito Federal:

- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. 279 p. ISBN: 978-85-62817-01-4.
- RAO, V.B.; LIMA, M. C.; FRANCHITO, S.H. Seasonal and Interannual Variations of Rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 6, n. 9, p. 1754-1763, 1993.
- RICHARD O.G. **Statistical methods for environmental pollution monitoring**. John Wiley & Sons, 1987.
- ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and Regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, 1987.
- SALMI, T.; MÄÄTTÄ, A.; ANTILA, P.; RUOHO-AIROLA, T.; AMNELL, T. **Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates – the Excel template application** MAKESENS. Helsinki, 2002. (Publications on Air Quality No. 31, Report code FMI-AQ-31).
- SANTOS, A.H.M. **Eventos Extremos de Chuva em Salvador, Bahia: Condições Atmosféricas e Impactos Ambientais**. 2008. 65 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.
- SANTOS, A.P.P. **Precipitação na Cidade de Salvador: Classificação em Quantis e Análise de um Evento Climático Extremo**. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.
- SANTOS, C.A.C.; BRITO, J.I.B. Análise dos Índices de Extremos para o Semi-Árido do Brasil e suas Relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 303-312, 2007.
- SEN, P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968.
- SILVA, L.L. **Precipitações Pluviais da Pré-Estação Chuvosa no Período Chuvoso e suas Influências na Produtividade Agrícola da Paraíba**. 2007. 114 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.
- SILVA, R.A.; SILVA, V.P.R.; CAVALCANTI, E.P.; SANTOS, D.N.. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 501-509, 2010.
- SILVA, W.L.; DEREZYNSKI, C.P. Caracterização Climatológica e Tendências Observadas em Extremos Climáticos no Estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37, n. 2, p. 123-138, 2014.
- SILVA, W.L.; DEREZYNSKI, C.P.; CHANG, M.; FREITAS, M.; MACHADO, B.J.; TRISTÃO, L.; RUGGERI, J. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p.181-194, 2015.
- SNEYERS, R. Sur L'analyse Statistique des Series D'observations. Gênevê: Organisation Météorologique Mondial: 192 p, 1975.
- XAVIER, T.M.B.S. Caracterização de Períodos secos ou excessivamente chuvosos no Estado do Ceará através da Técnica dos Quantis: 1964-1998. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 14, n. 2, p. 63-78, 1999.
- XAVIER, T.M.B.S. Tempo de Chuva – Estudos Climáticos e de Previsão para o Ceará e Nordeste Setentrional, **ABC Editora**, Fortaleza-Ceará, 478 pp. 2001.
- XAVIER, T.M.B.S. A técnica dos quantis e suas aplicações em meteorologia, climatologia e hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras. Brasília, DF: **Thesaurus**, 2002. 143 p.
- XAVIER, T.M.B.S.; XAVIER, A.F.S.; DIAS, M.A.F.S.; DIAS, P.L.S. Interrelações entre eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a chuva nas bacias hidrográficas do Ceará. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, p. 111-126, 2003.