

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**TROVOADAS ASSOCIADAS À PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO
METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE – RS (1990 - 2009)**

RAMIRO MENDES DA COSTA JUNIOR

ORIENTADOR:

PROF. MSc. FRANCISCO ELISEU AQUINO

PORTO ALEGRE, NOVEMBRO DE 2010.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
GEO 01128 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO II**

**TROVOADAS ASSOCIADAS À PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO
METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE – RS (1990 - 2009)**

RAMIRO MENDES DA COSTA JUNIOR

Monografia apresentada como
requisito obrigatório para a
obtenção do grau de Bacharel em
Geografia nessa Universidade.

Orientador: Prof. MSc. Francisco Eliseu Aquino

Banca Examinadora:

Prof. MSc. Fernando Pholman Livi (UFRGS – Depto. de Geografia)

Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer (UFRGS – Depto. de Geografia)

PORTO ALEGRE, NOVEMBRO DE 2010.

Costa Junior, Ramiro Mendes da

Trovoadas associadas à precipitação na região metropolitana da Porto Alegre (1990-2009). / Ramiro Mendes da Costa Junior - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2010.

[69 f]. il.

Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências.

Departamento de Geografia. Porto Alegre, RS - BR, 2010.

Orientação: Prof. MSc. Francisco Eliseu Aquino.

1. Trovoadas. 2. Precipitação pluviométrica. 3. SBPA:SBCO. 4. Porto Alegre. I. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca Geociências - UFRGS
Miriam Alves CRB 10/1947

A Angélica, minha alegria, minha paz, meu conforto.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aquela que sempre foi minha maior motivação, principalmente nos momentos de angústia e desânimo. Obrigado Angélica! Pelo amor, companheirismo dedicação e compreensão. Por compartilhar dos meus sonhos e anseios e ter mergulhado na geografia, participando e interagindo ativamente da minha formação, ouvindo meus discursos, climatológicos, geomorfológicos, ecológicos e às vezes sendo acordada com sonhos, onde eu dissertava sobre o incremento das chuvas e trovoadas na Região Metropolitana de Porto Alegre.

Agradeço e dedico também este trabalho a toda minha família em especial: minha mãe Nelda, meu pai Ramiro, meu irmão Rafael e minha madrasta Teresinha. Obrigado pela oportunidade e incentivo de sempre seguir estudando. Este trabalho, não finaliza, apenas destaca mais uma conquista naquela que sempre foi a maior preocupação de vocês: o crescimento intelectual e consequentemente pessoal.

Aos meus Avós e tios que sempre torceram por mim, em especial ao Tio Renato que acompanhou desde o início toda a caminhada até aqui. Ao Geógrafo Alexandre Camargo, grande incentivador e colaborador na conclusão deste curso.

Aos meus Sogros Luiz e Justina, em nome de quem agradeço a minha nova e grande família, “*Dotto Pivetta*”. Pelo carinho, incentivo e compreensão nos momentos de ausência.

Agradeço aos meus colegas e amigos do trabalho pelo incentivo e colaboração durante todo o curso, aos meus amigos de montanha que compreenderam minha ausência, aos meteorologistas do Centro Meteorológico Militar que possibilitaram a conclusão do meu estágio profissional e foram pessoas decisivas na elaboração deste trabalho e conclusão do curso. Em especial, agradeço ao Suboficial Meteorologista Edemilson Romero Bauer e ao Suboficial Meteorologista Jorge Nelson Ananievas; obrigado pela dedicação incansável em repassar os conhecimentos deste mundo fascinante que é a meteorologia.

A conclusão deste curso e logo, deste trabalho, certamente não seria possível se não tivesse contado com a amizade e companheirismo dos amigos e também geógrafos Rafael

Mastracusa, Ricardo Franchini e Filipe Evangelista. Obrigado por esses anos de amizade e dedicação.

Mais do que agradecer, quero também dedicar e dividir esta conquista com o meu professor orientador Francisco Eliseu Aquino. O professor *Chico* foi muito além do significado da palavra orientador neste trabalho. Aceitou o desafio e foi um grande incentivador, incansável e dedicado. Obrigado mais uma vez pelas orientações e ensinamentos técnicos e de vida, certamente passei a ver e viver mais intensamente a geografia.

Aos bons professores do curso de Geografia e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

*“...é o tempo de travessia
e se não ousarmos fazê-la,
teremos ficado para sempre,
à margem de nós mesmos.
Fernando Pessoa.”*

RESUMO

O incremento no registro de trovoadas em áreas urbanas começa a figurar como tema de estudos sobre as implicações do tempo e clima na vida das grandes cidades. Já que se observa o aumento destes fenômenos meteorológicos extremos como consequências direta da ação antrópica, o objetivo deste trabalho é identificar e quantificar as trovoadas registradas nos aeródromos do Aeroporto Salgado Filho em Porto Alegre (SBPA) e na Base Aérea de Canoas (SBCO) no período de 1990 a 2009. Porto Alegre (PA), Rio Grande do Sul, situado no paralelo 30° Sul, a 100 km da costa do Oceano Atlântico, possui um clima subtropical úmido e apresenta uma marcante variabilidade dos elementos do tempo meteorológico ao longo do ano. Esse estudo empregou os dados de precipitação pluviométrica da Normal Climatológica (1961-1990) de PA fornecido pelo 8° Distrito de Meteorologia/INMET e de precipitação pluviométrica e trovoadas das Estações Meteorológicas de Superfície de SBPA e SBCO, fornecidos pelo Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA). Para estabelecer a análise da dinâmica das trovoadas, considerando a similaridade dos mecanismos formadores e condicionantes dos eventos de precipitação e trovoadas, elaborou-se médias mensais, sazonais, anuais e decenais, do regime de precipitação pluviométrico de PA e SBPA. Ao analisar as médias pluviométricas da PA (1961-1990) e SBPA (1990-2009) verificou-se diferenças nas tendências das médias anuais: a PA (1961-1990) apresentou um incremento de 11,05 mm a⁻¹ e a segunda série temporal (1990-2009) houve um decréscimo de 7,57 mm a⁻¹. Sazonalmente, observa-se maior diferenciação entre as séries. Para PA (1961-1990) as estações do ano apresentaram as seguintes médias e tendências respectivamente: verão (103,0 mm e 0,01 mm a⁻¹), outono (95,4 mm e 2,17 mm a⁻¹), inverno (131,5 mm e 0,62 mm a⁻¹) e primavera (119,4 mm e 0,77 mm a⁻¹). A PA (1961-1990) ofereceu tendência de incremento da precipitação em todas as estações do ano. Comparativamente, a série temporal (1990-2009) de SBPA apresentou as seguintes médias e tendência para as estações: verão (113,94 mm e -1,40 mm a⁻¹), outono (101,24 mm e -0,88 mm a⁻¹), inverno (116,42 mm e -0,6 mm a⁻¹) e primavera (131,61 mm e 0,93 mm a⁻¹), respectivamente. Observou-se um incremento nos registros de trovoadas no período analisado. Na análise sazonal verificou-se um incremento de 4,4 trovoadas a⁻¹ em SBPA e 2,2 trovoadas a⁻¹ em SBCO. A média decenal apresentou um aumento mais expressivo do fenômeno na Região Metropolitana de Porto Alegre, quando na primeira década da série analisada (1990-1999) registram-se 203 trovoadas, na segunda década do período (2000-2009) registram-se 348 trovoadas, demonstrando um aumento significativo de 71,95%. O registro sazonal das trovoadas mostra a média aumentando no verão (21 trovoadas), no inverno (23 trovoadas) e na primavera (33 trovoadas), o que acompanha as médias de precipitação pluviométricas, porém o aumento das trovoadas não reflete um aumento no volume de precipitação.

Palavras-chave: trovoadas; precipitação pluviométrica; SBPA; SBCO; Porto Alegre

ABSTRACT

The increase of thunder observations in urban areas has recently become the focus of study, relating to the implications of weather and climate on the life of big cities. Considering that the increase of this extreme meteorological phenomenon is a direct consequence of anthropic activities, the objective of this work is to identify and quantify the thunder activity observed at two neighboring airports, locally known as Aeroporto Salgado Filho in Porto Alegre (SBPA) and Base Aérea de Canoas (SBCO), between 1990 and 2009. Porto Alegre (PA), the capital city of the southernmost state of Brazil, set on the 30° parallel South and a 100 km from the Atlantic coastline, has a humid subtropical climate and presents a marked variability of its weather elements, throughout the year. This study employed the PA Climate Normal (1961-1990) rainfall data, offered by the of the 8° Distrito de Meteorologia/INMET and rainfall and thunder data from the surface weather stations SBPA and SBCO, offered by the Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA). To establish the thunder dynamics analysis, considering the similarities between the mechanisms that form and condition precipitation and thunder events, the data made it was possible to generate monthly, seasonal, annual and decennial precipitation averages for PA and SBPA. On analyzing the PA (1961-1990) and SBPA (1990-2009) pluviometric averages, trend differences were found: the PA (1961-1990) presented an increase of 11,05 mm a⁻¹ and the SBPA (1990-2009) showed a decrease of 7,57 mm a⁻¹. Seasonally, the two series showed a greater difference. For the PA (1961-1990), seasonal averages and tendencies were: Summer (103.0 mm and 0.01 mm a⁻¹), autumn (95.4 mm and 2.17 mm a⁻¹), winter (131.5 mm and 0.62 mm a⁻¹) and spring (119.4 mm and 0.77 mm a⁻¹), respectfully. The PA (1961-1990) offered an increase trend for all seasons. Comparatively, the SBPA (1990-2009) time series offered the following seasonal averages and trends: summer (113.94 mm and -1.40 mm a⁻¹), autumn (101.24 mm and -0.88 mm a⁻¹), winter (116.42 mm and -0.6 mm a⁻¹) and spring (131.61 mm and 0.93 mm a⁻¹). The SBPA (1990-2009) time series presented an increase in thunder observations, respectively. The seasonal analyses showed an increase of 4.4 thunder events a⁻¹ for the SBPA and 2.2 events a⁻¹ for SBCO. The decennial averages presented a more expressive increase of these events for the Greater Metropolitan Area of Porto Alegre, where the first decade (1990-1999) registered 203 thunder events, the second decade (2000-2009) registered 348 events, demonstrating an increase of 71.95%. The seasonal averages determined an increase in summer (21 events), in winter (23 events) and spring (33 events), which are in accordance to the precipitation averages, although the increase in thunder events does not reflect the rainfall volume increase.

Key words: Thunder; Precipitation; SBPA; SBCO; Porto Alegre

SUMÁRIO

<i>Capa</i>	<i>i</i>
<i>Folha de rosto</i>	<i>ii</i>
<i>Dedicatória</i>	<i>iii</i>
<i>Agradecimentos</i>	<i>iv</i>
<i>Epígrafe</i>	<i>vi</i>
<i>Resumo</i>	<i>vii</i>
<i>Abstract</i>	<i>viii</i>
<i>Sumário</i>	<i>ix</i>
<i>Lista de figuras</i>	<i>xii</i>
<i>Lista de gráficos</i>	<i>xiii</i>
<i>Lista de abreviaturas</i>	<i>xiv</i>
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	01
1.1 – Apresentação	01
1.2 – Objetivos.....	03
1.2.1 – Objetivo principal.....	03
1.2.2 – Metas	03
1.3 – Justificativa.....	04
1.4 – Localização da área de estudo.....	05
CAPÍTULO 2 – O CLIMA DO RIO GRANDE DO SUL	09
2.1 – Apresentação	09
2.2 – Caracterização climática do RS	10
2.2.1 – Classificação climática do RS	10
2.3 – A circulação atmosférica do RS	11
2.4 – O clima da cidade de Porto Alegre e Região Metropolitana	15

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	16
3.1 – Apresentação	16
3.2 – Conceitos	16
3.2.1 – Clima e Tempo meteorológico	16
3.2.2 – Trovoadas.....	17
3.2.3 – Escala de estudo	18
3.3 - Origem dos dados meteorológicos	19
3.3.1 – Dados de precipitação pluviométrica de PA (1961-2008).....	19
3.3.2 – Dados de precipitação pluviométrica e trovoadas de SBPA e SBCO.....	19
3.4 - Tratamento estatístico dos dados	20
3.4.1 – Determinação da precipitação pluviométrica média mensal	21
3.4.2 – Determinação da precipitação pluviométrica média sazonal	21
3.4.3 – Determinação da precipitação pluviométrica média anual	21
3.4.4 – Determinação da precipitação pluviométrica média decenal	22
3.5 – Cálculo dos parâmetros de trovoadas.....	22
CAPÍTULO 4 - REGIME DE PRECIPITAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO	23
4.1 – Apresentação.....	23
4.2 – Tipos de precipitação.....	23
4.3 – Tipos de trovoadas.....	24
4.4 – Condições favoráveis à formação de trovoada	25
4.5 – Comportamento da precipitação pluviométrica média mensal em PA.....	26
4.6 – Comportamento da precipitação pluviométrica média sazonal em PA.....	27
4.6.1 – Verão.....	27
4.6.2 – Outono.....	27
4.6.3 – Inverno.....	28
4.6.4 – Primavera.....	29
4.6.5 – Comportamento sazonal.....	30
4.7 – Comportamento da precipitação pluviométrica média anual em PA.....	30
4.8 – Comportamento da precipitação pluviométrica média decenal em PA.....	31
4.9 – Comportamento da precipitação pluviométrica média mensal de SBPA.....	32
4.10 – Comportamento da precipitação pluviométrica média sazonal em SBPA.....	33
4.10.1 – Verão	33

4.10.2 – Outono	34
4.10.3 – Inverno	35
4.10.4 – Primavera.....	36
4.11 – Comportamento sazonal em SBPA.....	36
4.12 – Comportamento da precipitação pluviométrica média anual.....	37
4.13 – Comportamento da precipitação média decenal em SBPA.....	38
CAPÍTULO 5 – TROVOADAS EM SBPA E SBCO.....	39
5.1 – Apresentação	39
5.2 – Comportamento do registro médio mensal de trovoadas	39
5.3 – Comportamento do registro médio sazonal de trovoadas.....	41
5.3.1 – Verão.....	41
5.3.2 – Outono.....	42
5.3.3 – Inverno.....	43
5.3.4 – Primavera.....	44
5.3.5 – Comportamento sazonal das trovoadas (SBPA e SBCO).....	46
5.4 – Comportamento médio anual e decenal das trovoadas em SBPA e SBCO.....	47
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....	48
6.1 – Considerações finais.....	48
6.2 – Sugestões de trabalhos futuros.....	50
REFERÊNCIAS.....	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Localização da área de estudo.....	06
Figura 1.2	Localização dos aeródromos.....	07
Figura 2.1	Centros de ação de massas de ar que atuam na América do Sul.....	13

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1	Precipitação média mensal para PA	26
Gráfico 4.2	Comportamento da precipitação média no verão em PA	27
Gráfico 4.3	Comportamento da precipitação média no outono em PA	28
Gráfico 4.4	Comportamento da precipitação média no inverno em PA	29
Gráfico 4.5	Comportamento da precipitação média na primavera em PA.....	29
Gráfico 4.6	Comportamento da precipitação média sazonal em PA	30
Gráfico 4.7	Comportamento da precipitação total anual em PA	31
Gráfico 4.8	Comportamento da precipitação sazonal nas décadas de 60, 70 e 80.....	32
Gráfico 4.9	Comportamento da precipitação média mensal em SBPA	33
Gráfico 4.10	Comportamento da precipitação média no verão em SBPA	34
Gráfico 4.11	Comportamento da precipitação média no outono em SBPA	34
Gráfico 4.12	Comportamento da precipitação média no inverno em SBPA	35
Gráfico 4.13	Comportamento da precipitação média na primavera em SBPA	36
Gráfico 4.14	Comportamento da precipitação média sazonal em SBPA	37
Gráfico 4.15	Comportamento da precipitação total anual SBPA	37
Gráfico 4.16	Comportamento da precipitação média sazonal em SBPA	38
Gráfico 5.1	Comportamento das trovoadas média mensal em SBPA e SBCO.....	40
Gráfico 5.2	Precipitação e trovoadas em SBPA	40
Gráfico 5.3	Trovoadas no verão em SBPA e SBCO	41
Gráfico 5.4	Trovoadas e precipitação no verão em SBPA	42
Gráfico 5.5	Trovoadas no outono em SBPA e SBCO	42
Gráfico 5.6	Trovoadas e precipitação no outono em SBPA	43
Gráfico 5.7	Trovoadas no inverno em SBPA e SBCO	43
Gráfico 5.8	Trovoadas e precipitação no inverno em SBPA	44
Gráfico 5.9	Trovoadas na primavera em SBPA e SBCO	45
Gráfico 5.10	Trovoadas e precipitação na primavera em SBPA	45
Gráfico 5.11	Trovoadas registradas sazonalmente em SBPA.....	46
Gráfico 5.12	Trovoadas registradas sazonalmente em SBCO.....	46
Gráfico 5.13	Trovoada média anual em SBPA.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS

8° DISME	8° Distrito de Meteorologia
AMP	Anticiclone Móvel Polar
AST	Anticiclone Semipermanente do Atlântico Sul
Cb	Cumulunimbus
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
Cfa	Clima Subtropical Úmido com Verão Quente
Cfb	Clima Subtropical Úmido com Verão Brando
CO	Canoas
cT	Massa de Ar Tropical Continental
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EMS	Estação Meteorológica de Superfície
FEPAGRO	Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária
FP	Frente Polar
ICEA	Instituto de Controle do Espaço Aéreo
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
METAR	<i>Informe Meteorológico Regular De Aérodormo</i>
mP	Massa de Ar Polar Marítima
mT	Massa de Ar Tropical Marítima
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PA	Porto Alegre
RMPA	Região Metropolitana de Porto Alegre
RS	Rio Grande do Sul
SBCO	Base Aérea de Canoas
SBPA	Aeroporto Internacional Salgado Filho

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - Apresentação

A grande variedade de estudos e trabalhos sobre climatologia e principalmente mudanças climáticas, reflete o interesse crescente que esta temática desperta na sociedade como um todo. A elevação do nível médio dos mares, variações discrepantes nas temperaturas máximas e mínimas, influência de El Niño e La Niña, etc, têm sido alguns dos muitos temas abordados em estudos climatológicos. Mas sem dúvidas um dos enfoques mais observados nos estudos, são as alterações climáticas que têm implicações no tempo meteorológico das áreas urbanas, principalmente em grandes cidades e regiões metropolitanas, como Porto Alegre. Principalmente por termos uma expectativa de aumento de 81% da população urbana até 2030 (Sherphed, 2009). É importante salientar que as implicações meteorológicas sobre as cidades são na realidade um reflexo do crescimento destas e da intensa atividade humana em área urbana. Diante deste quadro percebe-se a importância de estudos que avaliem as implicações que o ambiente urbano tem no clima e no tempo e os riscos que estas trazem para as cidades, como as chuvas intensas e trovoadas. Segundo Sherphed (2009) as trovoadas têm aumentado sobre as áreas urbanas nas últimas décadas, trazendo riscos para as populações, já que a ocorrência desses eventos vem acompanhada de outros fenômenos como chuvas fortes, descargas elétricas, rajadas de vento, etc.

O conceito de trovoada está diretamente ligado a formações de nuvens do tipo Cumulonimbus (Cb). Representa-se neste fenômeno o máximo de instabilidade na atmosfera, transformando-se em uma das condições meteorológicas de maior risco, pois são as trovoadas as responsáveis por uma série de fatores capazes de comprometer a segurança de vôo. A

ocorrência de trovoadas pode estar associada a fenômenos de grandes riscos às atividades aéreas, como ventos fortes, *Wind Shear* (tesoura de vento), granizo, saraiva, descargas elétricas, turbulência, tornados, formação de gelo e chuvas intensas (Nechet, 1996a; DECEA, 2003).

Com o aumento das atividades aeronáuticas, sejam elas civis ou militares, a preocupação com a segurança de vôo também cresceu. E sem dúvida um dos fatores que mais influência na segurança de vôo é a meteorologia. Visto que mudanças nos fatores como nevoeiros, chuvas fortes, trovoadas, rajadas de ventos, dentre outros, quando não previstos podem causar sérios danos às aeronaves e seus equipamentos.

Segundo o Centro de investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), órgão do Comando da Aeronáutica, 2/3 dos acidentes aeronáuticos são provocados por *Wind Shear*, fenômeno diretamente ligado a ocorrência de trovoadas. E somado a informação de que aproximadamente 44.000 núcleos de tempestades de trovoadas encontram - se sobre a superfície terrestre diariamente (ICEA 2003), ratifica-se a importância dos estudos sobre as trovoadas e seus fenômenos associados. Dessa maneira esta pesquisa além de colaborar diretamente para com a segurança de vôo, auxilia no conhecimento sobre os fenômenos associados às trovoadas, ajudara no planejamento operacional e no gerenciamento de operações aéreas, sejam elas civis ou militares, na confecção de previsões, bem como subsidia órgãos públicos e privados para um melhor planejamento de obras e ações que sejam influenciados pelas trovoadas e todos seus fenômenos meteorológicos associados a elas.

Esta monografia investigará a ocorrência das trovoadas no aeródromo do Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre e na Base Aérea de Canoas, no período entre 1990 e 2009. Para isso, será apresentado e analisado o comportamento do regime de precipitação de Porto Alegre (PA), sendo, posteriormente, discutida e analisada a pertinência da aplicação da metodologia proposta para a identificação e quantificação das trovoadas em PA.

Este trabalho está organizado em seis capítulos. **O primeiro capítulo** apresenta o tema, os objetivos, a justificativa e a área de estudo. **No segundo capítulo** é feita breve revisão bibliográfica sobre o clima do RS, abordando os principais sistemas da circulação atmosférica e seus condicionantes. **O terceiro capítulo** se destina a apresentação dos

elementos metodológicos que estruturam o trabalho, explicitando aspectos conceituais, dados e procedimentos adotados. **O quarto capítulo** traz a apresentação e discussão do regime de precipitação de Porto Alegre (1961 – 1990) e o regime de precipitação para a o Aeroporto Salgado Filho em Porto Alegre no período de 1990 a 2009. No **quinto capítulo** são apresentados e discutidos os resultados quanto à identificação das trovoadas registradas no Aeródromo e, por fim, o **sexto capítulo** destina-se às principais conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

1.2 – Objetivos

1.2.1 - Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo quantificar e identificar as trovoadas registradas nos aeródromos do Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre (SBPA) e na Base Aérea de Canoas (SBCO) no período de 1990 a 2009.

1.2.2 - Metas

- 1) Revisar os principais elementos e fatores condicionantes do clima da região;
- 2) Descrever e analisar o regime de precipitação do município de Porto Alegre;
- 3) Construir as médias mensais, sazonais, anuais e decenais de precipitação pluviométrica e ocorrências de trovoadas entre 1990 e 2009, determinando as anomalias de precipitação para o período;
- 4) Identificar um possível aumento ou anormalidade no volume de chuva intensa na Região Metropolitana de Porto Alegre;

1.3 - Justificativa

Segundo Shepherd (2009), as cidades têm sido reconhecidas por uma tendência para modificar os seu tempo e clima. Principalmente pelo aumento na sua urbanização, cobertura do solo e população. E esta tendência também é observada para PA e sua Região Metropolitana (RMPA). Os efeitos dessas modificações no clima urbanos têm fomentado o interesse não só dos meteorologistas, mas também dos responsáveis pelo planejamento e administração urbana. Já que o adensamento das áreas urbanizadas influencia diretamente no comportamento dos padrões climáticos locais. Aumentando os riscos que fenômenos meteorológicos extremos como chuvas fortes e trovoadas trazem para a população.

Logo, a presente pesquisa justifica-se pelo aumento da urbanização da cidade de PA e sua Região Metropolitana aliado à ausência de estudos sobre o comportamento de trovoadas na respectiva cidade (Atlas Ambiental de Porto Alegre, 2006).

Além disso, segundo Stallins (2008), há uma necessidade de incorporar estudos sobre padrões de trovoadas e raios em áreas urbanas no planejamento e segurança da infraestrutura pública. Visto que muitos setores da economia local podem ser afetados pelas consequências de eventos meteorológicos extremos. Logo, a quantificação e identificação das trovoadas nos aeródromos de SBCO, SBPA são importantes porque se considera a trovoadas uma variável meteorológica de relevante importância para as operações aéreas, sejam elas civis ou militares. Utiliza-se o fenômeno da trovoadas como objeto de estudo já que este representa a condição de maior instabilidade da atmosfera e refere-se diretamente a formações de nuvens do tipo Cb de onde se originam outros fenômenos de grande intensidade e periculosidade para a segurança de vôo, como chuvas fortes, ventos intensos, *Wind Shear*, granizo e formação de gelo que podem danificar seriamente as aeronaves, seus instrumentos e comprometer a segurança de vôo.

1.4 - Localização da área de estudo

O município de PA ($30^{\circ} 01' 59''$ S e $51^{\circ} 13' 48''$ W), com área de $476,30 \text{ km}^2$ está localizado no leste do Rio Grande do Sul e possui como limites territoriais ao norte os municípios de Triunfo, Nova Santa Rita, Canoas e Cachoeirinha; ao sul o município de Viamão e o lago Guaíba; ao leste os municípios de Alvorada e Viamão e ao oeste lago Guaíba, os municípios de Eldorado do Sul, Guaíba e Barra do Ribeiro (Menegat, R. *et al.*, 2006) [Figura 1.1].

A superfície do município de PA, situado entre a região costeira e continental do RS, está relacionada aos eventos geológicos ocorridos no sul do Brasil nos últimos 400 mil anos. Essas condições propiciam que todos os domínios morfoestruturais do RS sejam identificados em PA. A paisagem resultante deste modelo geológico é de elevações residuais de rochas graníticas pertencentes ao escudo Sul Rio-Grandense e que foram bordejadas por depósitos arenosos quaternários da Província Costeira durante as sucessivas transgressões e regressões marítimas ocorridas entre 400 e 5 mil anos atrás (Menegat, R. *et al.*, 2006).

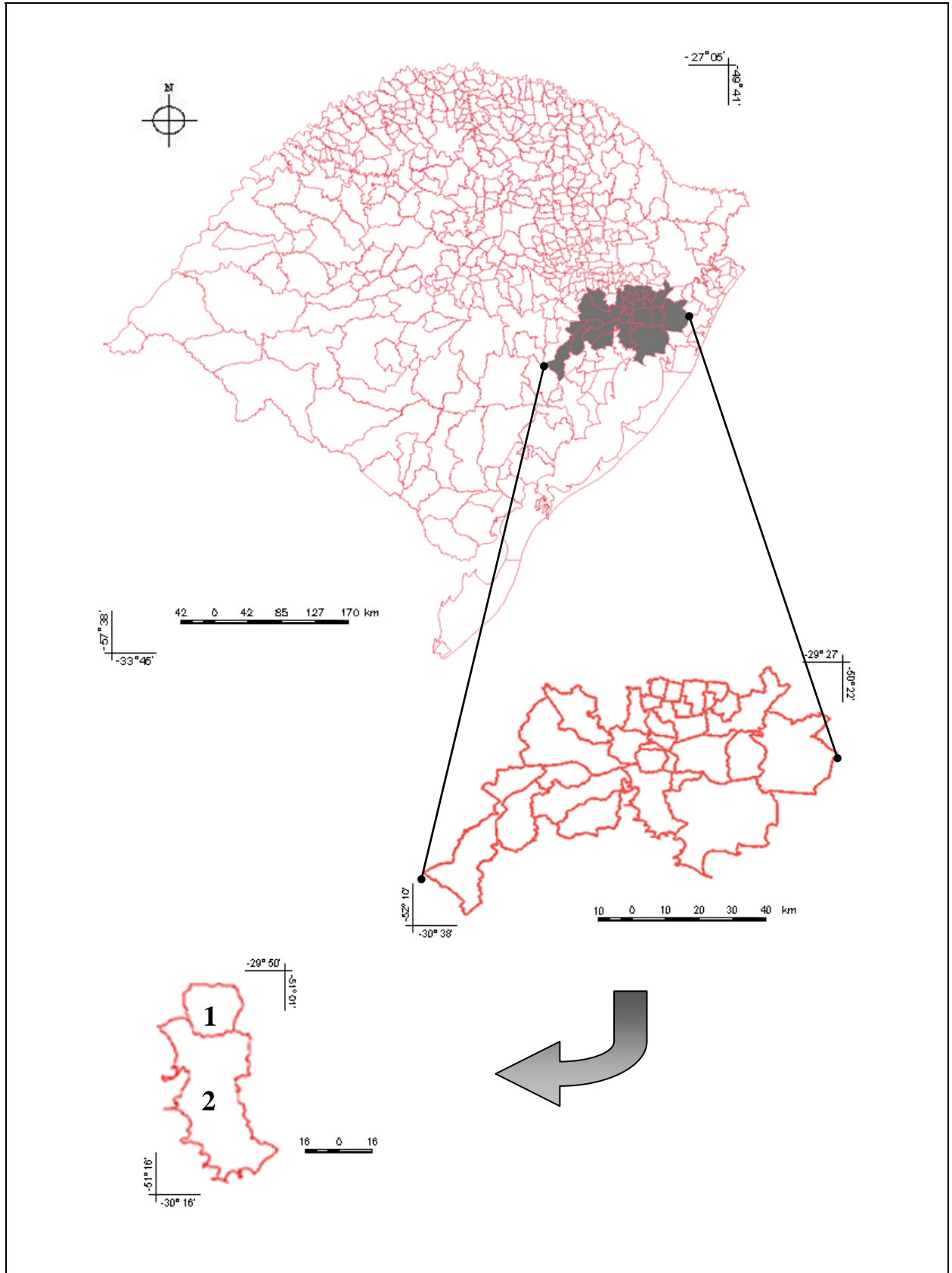


Figura 1.1: Mapa de Localização do RS com RMPA destacada. Sinalizado com número 1 o município de Canoas e 2 PA.

A delimitação da área de estudo está diretamente ligada ao objeto de estudo, trovoadas, e ao seu fator meteorológico gerador: formações de nuvens do tipo Cb. Logo, tecnicamente podemos associar o conceito de trovoadas diretamente ao tipo de nuvem cb. Estas nuvens possuem em média um raio de 10 km, e uma efetiva atuação em um raio de 20 km (Barry e Chorley, 1978; Chede, 1974). Os dados sobre a ocorrência de trovoadas foram computados a partir de mensagens METAR das Estações meteorológicas de Superfície (EMS) dos aeródromos SBPA e SBCO. É importante salientar que para que conste o registro de trovoadas nas mensagens meteorológicas das EMS é necessário que o observador meteorológico observe um relâmpago e/ou ouça um trovão em um Cb a uma distância menor que 16 km (DECEA – MCA 105-10). Diante destas variáveis conceituais consideradas vamos delimitar e conseqüentemente caracterizar a área de estudo a partir dos aeródromos em questão, mais precisamente a partir das estações meteorológicas.

A estação do SBPA ($29^{\circ} 59' 38''$ S e $51^{\circ} 10' 16''$ W) situa-se na zona norte do município de PA enquanto a estação de SBCO ($29^{\circ} 56' 44''$ S e $51^{\circ} 08' 37''$ W) situa-se no município de Canoas, RS (Figura 1.2)



Figura 1.2: Localização dos aeródromos de SBPA e SBCO na RMPA. Sinalizado em vermelho SBPA e em amarelo SBCO. Fonte: Google 2010.

É importante ressaltar que a cidade de Canoas se faz fronteira com a cidade de PA ao norte, fazendo parte assim da RMPA (10.097,20 km²). Tais cidades formam uma região de conurbação urbana tendo seus limites territoriais divididos pelo rio Gravataí, em cuja planície de várzea e terraços fluviais encontram-se as estações meteorológicas utilizadas nesse estudo. Ao norte do rio Gravataí a estação de SBCO e ao sul do rio, a uma distância de apenas 5,8 km aproximadamente, a estação do Aeroporto Internacional de Porto Alegre. Devido a esta relativa proximidade entre as estações vamos caracterizar climatologicamente a área de estudo com dados e informações referentes ao município de PA (Figura 1.1).

CAPÍTULO 2

O CLIMA DO RIO GRANDE DO SUL

2.1 – Apresentação

De acordo Strahler clima é a condição característica da atmosfera próxima à superfície terrestre em algum lugar ou sobre uma região determinada. Os componentes que intervêm na sua descrição são semelhantes, em sua maior parte, aos componentes do tempo meteorológico utilizado para descrever o estado da atmosfera em um instante preciso. Destaca-se que o conceito de clima abrange um maior número de elementos em relação às condições médias do tempo, como a variabilidade das mesmas e condições extremas de tempo (Ayoade, 2002).

Segundo Mark Twain *in* Cavalcanti (2009) clima é o que esperamos, tempo é o que sentimos. O clima é definido pela média das condições do tempo ao longo de um período de algumas décadas. No dia a dia temos os sistemas de tempo que afetam as atividades humanas.

Logo, clima é determinado pela circulação geral e secundária da atmosfera terrestre, resultante do aquecimento diferenciado da superfície pela radiação solar, além disso o clima da Terra é definido pela circulação e interação de dois fluídos: a água e o ar, que têm dinâmica própria e interagem entre si, com a terra sólida e com os sistemas naturais ou não (Cavalcanti, 2009; Strahler e Strahler, 1989).

2.2 – Caracterização climática do RS

Para se caracterizar climatologicamente uma determinada região deve-se considerar a atuação e interação dos diferentes sistemas de circulação atmosférica e de seus principais elementos climáticos (precipitação, temperatura, por exemplo), associado ao estudo das características da superfície: hipsometria, topografia, solos, corpos da água, cobertura vegetal, entre outros (Strahler e Strahler, 2002).

2.2.1 - Classificação climática do RS

Devido a sua posição geográfica o RS encontra-se localizado em uma latitude singular, do ponto de vista climato-meteorológico (Vieira, 1984). Essa singularidade geográfica é delimitada pelas coordenadas 27° 04' 49" S (extremo norte) e 33° 45' 03" S (extremo sul), localizando o RS em uma zona, ou faixa de transição climática.

Segundo a classificação climática de Koppen o RS encontra-se dentro do Tipo climático Fundamental C: climas temperados, com a temperatura média do mês mais frio oscilando entre 18° e -3°C; temperatura média do mês mais quente >10°C e estações de verão e inverno bem definidas. Para a precipitação temos o RS classificado no tipo fundamental f: climas temperados úmidos e com ausência de estação seca e com ocorrência de pelo menos 30 mm de precipitação no mês mais seco do ano. Finalizando com o critério temperatura, a classificação climática de Koppen divide o RS em dois grupos: Cfa (verão quente), caracteriza-se por apresentar temperatura do ar no mês mais quente superior a 22°C e Cfb (verão temperado) apresenta temperatura do ar no mês mais quente inferior a 22°C e pelo menos 4 meses superior a 10°C.

As temperaturas apresentam grande variação sazonal, com verões quentes e invernos rigorosos, com ocorrência de geada e eventual precipitação de neve. As médias anuais oscilam entre 16° e 20°C. Sazonalmente as temperaturas médias situam-se entre 20° e 24°C no verão e 12° e 16°C no inverno (Nimer, 1990).

Segundo Vianna *et al* (2006), a distância latitudinal não é grande o suficiente para permitir uma diferenciação climática maior no RS, excetuando-se o efeito de altitude do Planalto Superior e Serra do Nordeste, onde ocorre a variante *Cfb* – mais fria, encontrada acima da cota de 800 m, aproximadamente. O que corrobora a afirmação de que fatores como a geomorfologia, continentalidade/maritimidade e cobertura do solo, também exercem influência sobre o clima do Estado (Viana, 2006).

A distribuição de precipitação média anual no RS apresenta-se de forma equilibrada sazonalmente (24% no verão; 25% no outono; 25% no inverno e 26% na primavera), apresentando porém deficiência hídrica nos meses do verão (Berlato, 1992). Viana (2006) apresenta a média anual de precipitação para o período de 1945-2004 na marca de 1.613 mm, variando entre 1.391 mm (Santa Vitória do Palmar) e 1.940 mm (São Luiz Gonzaga). E totais anuais localizados na metade Norte maiores, ficando acima de 1.600 mm e na metade sul abaixo. Segundo Viana (2006), a Normal climatológica (1975-2004) apresenta um incremento médio de 8% na precipitação anual no RS, comparado com a Normal anterior (1945-1974). Sazonalmente o incremento na precipitação média se pronunciou mais efetivamente nas estações de transição, o outono apresentou um incremento de 17%, a primavera 9%, já os menores valores ocorreram no inverno (2%) e verão (7%). Especialmente Viana (2006) destaca as estações do extremo norte (Iraí), do noroeste (São Luiz Gonzaga), do sudoeste (Bagé, Santana do Livramento e São Gabriel), do sul (Rio Grande), do litoral (Torres), do centro (Taquari) e Porto Alegre. Como locais onde o incremento de precipitação foi superior a 10%.

2.3 - A Circulação Atmosférica no Rio Grande do Sul

O clima do planeta Terra e as condições do tempo meteorológico em uma escala menor, têm as suas condições e características essencialmente formadas, influenciadas e alteradas pela dinâmica da circulação atmosférica. Esse mecanismo dinâmico caracteriza-se principalmente pelo gradiente latitudinal do aporte de radiação solar, o que vai oferecer à superfície da terra diferentes faixas de aquecimento. Soma-se e associa-se a esse fator principal o gradiente de pressão, a atuação da força de Coriolis e correntes oceânicas. Nessa

dinâmica de interação entre os sistemas de circulação das massas atmosféricas teremos a própria condição climática de determinada área (Vieira, 1984).

De acordo com Ayoade (2002), classificamos a circulação atmosférica seguindo três ordens de grandeza, sendo:

1) Circulação primária ou circulação geral: resultante de padrões globais de vento e pressão anuais ou com repetição sazonal no globo terrestre;

2) Circulação secundária: atuação de anticiclones e sistemas deprecionários, com a atuação de perturbações tropicais (sistemas de curta duração e deslocamento rápido);

3) Circulação terciária: ventos locais (brisas marítimas ou terrestres), ondas de sotavento e ventos catabáticos e anabáticos.

A dinâmica meteorológica do RS é condicionada, principalmente pela circulação atmosférica secundária (Viana, 2006). A faixa localizada entre as latitudes de 30° e 40° segundo Barry e Chorley (1978) apresenta um excedente da radiação terrestre em relação à radiação solar e coincide com a transição da zona tropical para a temperada. Essa transição climática implica ao RS um modelo atmosférico coordenado pela dinâmica dos centros de ação que movimentam as massas de ar. A transição das médias para as baixas latitudes caracteriza-se pela atuação de anticiclones permanentes. Os centros de alta pressão (anticiclones), originários no Atlântico e no Pacífico são de elementos caracterizadores da circulação atmosférica do RS (Figura 2.1). Diferenciando-se apenas na intensidade de suas atuações; o Anticiclone do Pacífico encontra na Cordilheira dos Andes uma barreira orográfica que o impede de avançar sobre o continente, logo é a influência do Anticiclone do Atlântico Sul, que consegue avançar sobre o continente, que vai determinar as condições meteorológicas no RS (Nimer, 1977).

As propriedades reguladoras dos anticiclones são influenciadas pelas massas de ar atuantes na região, que segundo a classificação proposta por Strahler (1989) o RS é influenciado pelas massas de ar tropical e polar.

Para Barry e Chorley (1978), uma massa de ar é uma grande porção de ar cujas propriedades físicas, em especial a temperatura, umidade e gradiente vertical de temperatura, são mais ou menos uniformes para extensas regiões. Para que o ar apresente tais

características, ele deve permanecer estacionário ou deslocar-se muito lentamente sobre grandes extensões homogêneas (Tubelis e Nascimento, 1980).

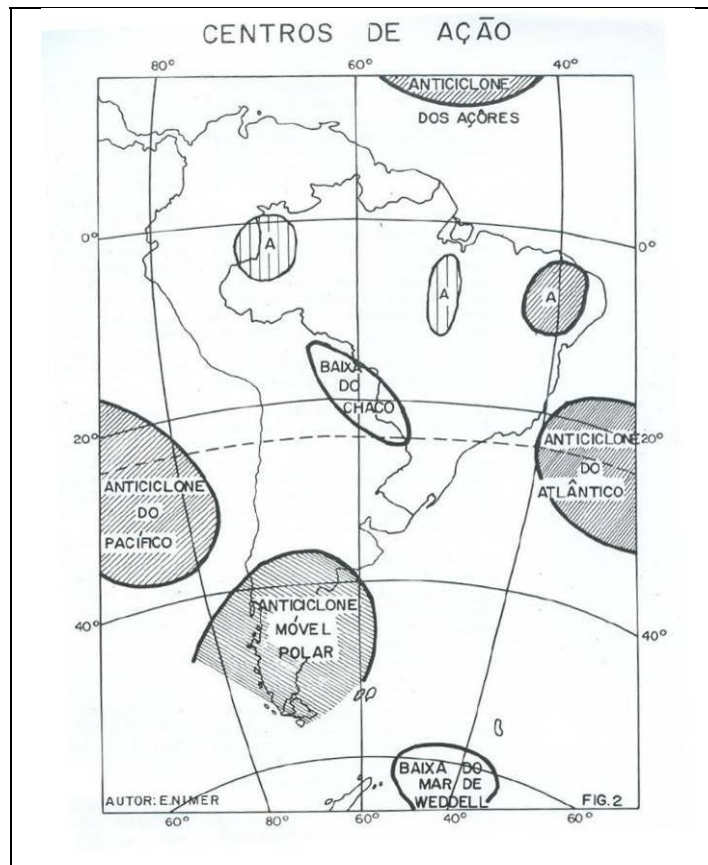


Figura 2.1 – Centro de ação de massas de ar que atuam na América do Sul. Fonte: Nimer, 1989.

Conforme a latitude de origem as massas de ar recebem diferentes denominações: Árticas (A), Antárticas (AA), Polares (P), Tropicais (T) e Equatoriais (E). E conforme a superfície sobre a qual a massa de ar foi formada, esta recebe as denominações de Continental (c) e Marítima (m). Quanto à temperatura da massa de ar ao atingir uma determinada região, ela pode ser classificada como fria (K) ou quente (W) em relação à temperatura da massa de ar que estiver sendo desalojada (Tubelis e Nascimento, 1980).

Devido à localização do RS, temos a influência de massas de ar de origem polar e tropical, com características continentais e marítimas. Pode-se destacar como principais influências nas condições meteorológicas do RS a atuação das massas marítima Polar (mP), marítima Tropical (mT) e a continental Tropical (cT) [Tubelis e Nascimento, 1980].

Segundo Nimer (1977), a movimentação e interação dessas massas de ar é que irão definir as características climatológicas do RS. Sendo que os dois principais sistemas originários dessa dinâmica de massas de ar e atuantes no clima do RS são o anticiclone móvel polar (AMP) que se desloca preferencialmente no sentido SW-NE, originado e caracterizado pela massa marítima polar (mP) que impõe, após a passagem de frentes frias uma condição de estabilidade meteorológica para a região; e influenciado pela massa mT, com deslocamento sazonal pequeno, predominantemente no verão, atua na região o anticiclone semipermanente do Atlântico Sul (AST), que também age como uma barreira ao avanço do AMP (Figura 2.1).

A associação entre a mP com as altas temperaturas e baixas pressões implica na predominância das frentes frias no período de abril a setembro na região. Devido às características de ar seco frio e estável essa massa de ar vai proporcionar condições meteorológicas de tempo bom e temperaturas baixas muitas vezes. Porém antes disso a massa sofre subsidência e durante o avanço sobre a superfície oceânica sofre inversão térmica tornando-se instável, o que gera precipitações e antecede condições de tempo bom, e baixas temperaturas. O avanço de Frentes Polares ocorre durante todo o ano, porém são mais extensas e freqüentes no inverno (Tubelis e Nascimento, 1980).

Durante o verão no Hemisfério Sul o maior aporte de radiação solar na latitude onde está localizado o RS, deixa o Estado sob ação predominante da mT, que se caracteriza como uma parcela de ar com elevados valores de temperatura e umidade na superfície, porém, sofre constante subsidência causada pela AST, a qual origina tempo instável com temperaturas amenas próximas ao litoral. Logo a maior quantidade de precipitação que ocorrerá no verão é na costa leste, e de características convectivas, visto que o alto teor de umidade absorvida no oceano aliada a corrente marítima quente conseguir atingir maiores altitudes, gerando instabilidade e precipitação (Tubelis e Nascimento, 1980; Nimer 1990; Barry e Chorley, 1978).

Por fim, ainda no verão, outro sistema que influencia a dinâmica climática do RS, é a cT que se desloca de NW para SE. Originada pelo maior aquecimento do continente em relação ao mar e da depressão térmica continental denominada Baixa do Chaco, ocasionando fortes elevações de temperaturas, além do fenômeno de ondas de calor. Segundo Ferreira (2007), este sistema é extremamente dinâmico, deslocando-se da região Peru-Acre-Rondonia durante os meses de inverno e nos meses de verão desloca-se para a região do Chaco argentino. A constituição do sistema se dá por uma circulação ciclônica na superfície,

entretanto seu baixo índice de umidade específica aliada à forte subsidência da alta pressão em níveis superiores dificultam a formação de nuvens. Esse sistema de baixa interage com a frente polar e faz alterações nas condições climáticas de quase todo o país, na região sul é responsável pelo verão com pouca precipitação ou verão “seco” (Tubelis e Nascimento, 1980; Nimer, 1990).

2.4 - O Clima da cidade de PA e RMPA

A partir do uso quase que exclusivamente de dados de hipsometria e continentalidade e/ou maritimidade Araújo (1930) em seu trabalho “Memórias sobre o Clima do Rio Grande do Sul” classificou o Estado em oito regiões climáticas, dentre as quais a Depressão Central, onde se localiza a Cidade de Porto Alegre e sua Região Metropolitana.

Araújo (1930) caracteriza a região Climática Depressão Central como uma região quente, com temperatura média anual de 19,4°C. As normais anuais de chuva superiores a 1.300 mm e inferiores a 1.800 mm, fazendo parte do regime de chuvas de inverno (28%), exceto o oeste da região que acompanha a faixa de outono. Apresenta a formação de nevoeiros notadamente no centro e no leste da região e um número relativamente grande de trovoadas.

Segundo Livi (2006), a cidade de PA por estar situada na latitude de 30° S e a 100 km do Oceano Atlântico, possui um clima subtropical úmido, tendo como característica marcante a grande variabilidade dos elementos do tempo meteorológico ao longo do ano. Durante o período de 1912 a 1977, PA apresentou os seguintes valores para os elementos climáticos: temperatura média do ar 19,4°C, precipitação pluviométrica anual média 1.324 mm, e extremos de precipitação no ano de 1917 (650,0 mm) e 1941 (2.125 mm).

Mesmo sob estas características marcantes de clima subtropical, a área de estudo localiza-se numa zona de transição climática em que massas de ar mT (frequentes durante o verão) alternam-se com massas de ar mP (frequentes durante o inverno). É esta alternância de massas de ar que vai gerar, além das quedas bruscas de temperaturas, na sua linha frontal, chamada de frente fria, fenômenos meteorológicos de grande relevância, principalmente por perturbarem a população da região, como chuvas torrenciais, raios, ventos e trovões (Livi, 2006; Viana, 2004).

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

3.1 – Apresentação

O objetivo deste capítulo é apresentar os aspectos conceituais que nortearam o desenvolvimento deste estudo, a procedência dos dados meteorológicos e os procedimentos metodológicos adotados para a sua realização.

3.2. – Conceitos

3.2.1 - Clima e Tempo meteorológico

Segundo Blair e Fite (1964) o tempo atmosférico compreende a condição e as características da atmosfera num dado momento; clima envolve a totalidade das condições de tempo num dado período de anos. O clima não é apenas uma média do tempo; ele inclui também os extremos e a variabilidade dos elementos do tempo, como por exemplo, o maior e o menor índice de chuvas, as temperaturas mais elevadas e as mais baixas, e a máxima velocidade do vento para um dado período. Uma vez que o tempo se apresenta variando constantemente, necessitamos de uma longa série de observações, a fim de que se possam obter informações razoavelmente corretas, concernentes às condições médias e às mais frequentes, bem como as variações prováveis.

Muitos dos fatos referentes ao tempo e ao clima são expressos em valores normais. Em meteorologia a palavra normal é usada para o valor médio de um elemento meteorológico, por um período considerável de tempo. Ordinariamente, um valor médio não é considerado normal, a menos que haja, no mínimo dez anos de registros; e registros sobre períodos mais longos são requeridos, na maioria dos casos, para que estabeleça de maneira aproximada um valor normal. Um valor normal absolutamente invariável não existe nos registros meteorológicos, não é, necessariamente, o seu valor mais provável num dado momento (Blair e Fite, 1964).

Para Cavalcanti (2009), o clima é definido pela média das condições do tempo ao longo de um período de algumas décadas, 30 anos, que é também o período considerado adequado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para constituir uma normal climatológica. No dia a dia, temos os sistemas de tempo que provocam a variabilidade que observamos e que afetam as atividades humanas.

Neste trabalho serão adotados os conceitos de clima e tempo meteorológico propostos por Blair e Fite (1964) e Cavalcanti (2009), e o conceito de normal climatológica proposto por Cavalcanti (2009).

3.2.2 – Trovoadas

Para Lima e Lehn (2006), trovoadas, em meteorologia aeronáutica são definidas como nuvens Cbs com ocorrência de relâmpagos. Podem ser prejudiciais às aeronaves, uma vez que Cbs são associados a correntes verticais intensas, gerando turbulência e formação de gelo em seu interior, podendo danificar seriamente a aeronave e comprometer a segurança do voo. Essa definição corrobora Nechet (1996b) que associa tecnicamente trovoadas a nuvens Cbs.

Uma trovoada é constituída por um conjunto de células convectivas (cb), em diferentes estágios de desenvolvimento. Ocasionalmente, há apenas uma dessas células (Varejão e Silva, 2006).

Em Brasil (2005), trovoada é definido como uma tormenta local, de curta duração e de origem convectiva, que se desenvolve a partir de uma nuvem Cb. Muitas vezes acompanhada de chuva forte e outras vezes de granizo ou saraiva.

Strahler e Strahler (1989) definem trovoadas como a manifestação direta das correntes de convecção no interior de grandes nuvens de desenvolvimento vertical, os Cbs, que é frequentemente acompanhada de descargas elétricas, rajadas de vento na superfície e fortes aguaceiros.

Logo, neste trabalho utilizaremos o conceito de trovoadas diretamente ligada à ocorrência de Cbs e conseqüentemente associado a suas frequentes conseqüências como fortes chuvas, granizo, ventos fortes, etc.

3.2.3 – Escala de estudo

Segundo Mendonça e Danni-Oliveira, (2007) a escala de estudo de todo e qualquer objeto que se quer investigar conduz à delimitação da sua dimensão. O ponto de vista geográfico relaciona a escala à dimensão espaço-temporal dos componentes terrestres, sendo o clima um deles. Com os estudos climáticos não poderia ser diferente, principalmente pela manifestação do clima em toda a superfície do planeta.

A escala climática diz respeito à dimensão ou ordem de grandeza, espacial (extensão) e temporal (duração), segundo o qual os fenômenos são estudados. Os fenômenos atmosféricos ocorrem de forma continuada, influenciando os climas de toda uma zona planetária, mas podem não determinar diretamente os climas de ilhas de calor urbanas e áreas agrícolas, por exemplo, mesmo impondo forte influência sobre eles (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

Segundo Ayoade (2002) e Mendonça e Danni-Oliveira, (2007), a climatologia considera três níveis de abordagem: macroclimático, mesoclimático e microclimático. Para o estudo em questão, utilizou-se a escala mesoclimática, a qual, segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), possui uma extensão espacial bastante variável, sendo uma unidade intermediária entre a grandeza superior e inferior do clima, comportando, como exemplo, regiões naturais interiores aos continentes. Destaca-se ainda como sub-unidade de escala mesoclimática o clima local que é definido por aspectos específicos de determinados locais como uma grande cidade por exemplo.

Em termos de escala temporal destaca-se a escala contemporânea, a qual segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), é a mais utilizada pelos estudiosos do clima na atualidade. Para a utilização desta escala é recomendado que haja uma série temporal de dados

meteorológicos, normalmente produzidos por estações meteorológicas, chamada de normal climatológica, essa série segundo Blair e Fite (1964), deve ter no mínimo dez anos de registros e em alguns casos deve superior a 30 anos (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

É importante salientar que de acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), os estudos climatológicos elaborados nas escalas espacial (mesoclimática) e temporal (contemporânea), não exclui a necessidade de uma prévia análise dos condicionantes climáticos impostos pela atmosfera e sua circulação. A utilização das escalas mencionadas complementa os conceitos sobre as influências atmosféricas e facilita nos processos de análise dos tipos de tempo, variabilidade climática de curta duração e estabelecimento de tendências e médias para as variáveis climáticas em estudo.

Este estudo considera 48 anos de dados meteorológicos, sendo que para a variável precipitação pluviométrica apresentam-se registros para toda a série temporal e para trovoadas serão apresentados registros de 20 anos (1990-2009). Através dos dados abordam-se tendências para o período, utilizando, portanto, a escala temporal que permite verificar possíveis mudanças climáticas.

3.3 - Origem dos dados meteorológicos

Para o estudo do comportamento das ocorrências de trovoadas na área de estudo, foram utilizados dados de precipitação pluviométrica e trovoadas obtidos de fontes distintas e organizados da seguinte maneira:

3.3.1 – Dados de precipitação pluviométrica de PA (1961-2008)

Os dados de precipitação de PA (1961-2008) foram fornecidos pelo 8º Distrito de Meteorologia (DISME). Dados coletados a partir da Estação Meteorológica localizada nas coordenadas 30° 3' 12" S e 51° 10' 29" W.

3.3.2 – Dados de precipitação pluviométrica e trovoadas de SBPA e SBCO

Os dados foram cedidos pelo Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), conforme metodologia adotada pelo próprio órgão, que consiste no levantamento e processamento das séries climatológicas das EMS dos Aeródromos SBPA e SBCO no período de janeiro de 1990 a dezembro de 2009. O horário de funcionamento do aeródromo de SBPA foi das 00:00 às 23:59 hora local para o período de 1990 a 2009. O horário de funcionamento do aeródromo de SBCO variou de acordo com os seguintes períodos: entre os anos de 1990 a 1998, das 07:00 às 23:00 horas local; o ano de 1999, foi das 06:00 às 22:00 horas local; no ano de 2000, das 05:00 às 21:00 horas local; entre 2001 e 2008, foi das 05:00 às 23:00 horas local, entre os anos de 2009 a 2010, foi das 00:00 às 23:59 horas local.

3.4 – Tratamento estatístico dos dados

O tratamento estatístico dos dados foi realizado utilizando a planilha eletrônica Microsoft Office Excel 2003, cujos resultados são apresentados na forma de gráficos no corpo do trabalho, seguidos das respectivas análises.

Segundo Shepherd, (2005) a maioria das pesquisas sobre como as áreas urbanas têm modificado os fenômenos convectivos tem se focado principalmente na precipitação, já que a origem das trovoadas relaciona-se diretamente com os mesmos mecanismos que produzem chuva. Logo, há necessidade de avaliar a precipitação urbana e ocorrência de trovoadas em conjunto.

Diante disto, primeiramente foi analisada a normal climatológica da precipitação pluviométrica de PA (1961-1990) por tratar-se da última normal climatológica disponível do município. Posteriormente foi analisado o comportamento da normal climatológica de precipitação pluviométrica utilizando os dados da estação de SBPA (1990-2009). Observa-se que os dados faltosos nos registros de SBPA (janeiro, fevereiro e março/1990, janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro/2000 e janeiro fevereiro, março, abril, maio/2001) foram completados com os dados informados pelo 8º DISME, observado a similaridade entre os dados das estações.

Quanto aos dados de trovoadas, foram utilizados os dados fornecidos pelas EMS do SBPA e SBCO, ratifica-se que a utilização dos dados de trovoadas registrados em SBCO ocorreu para efeitos de parâmetros comparativos e por ser esta estação, a segunda

melhor fonte fornecedora para este tipo de dado. Ratifica-se que não foram utilizados os dados de precipitação da EMS de SBCO, por estes apresentarem muitas falhas na série e por considerar, devido à distância entre as estações, uma uniformidade na variável precipitação pluviométrica.

Os dados fornecidos permitiram determinar as médias mensais, sazonais, anuais e decenais de precipitação pluviométrica e trovoadas.

3.4.1 Determinação da precipitação pluviométrica média mensal

As médias mensais de precipitação pluviométrica foram calculadas a partir do somatório dos totais acumulados de precipitação no respectivo mês, para todo o período (1961-1990), dividido pelo total de anos (30) para os dados fornecidos pelo 8º DISME; (1990-2009), dividido pelo total de anos (20) para os dados fornecidos pelo ICEA.

3.4.2 – Determinação da precipitação pluviométrica média sazonal

Para a determinação das médias sazonais de precipitação pluviométrica foram definidas as estações de verão (dezembro, janeiro e fevereiro), outono (março, abril, maio), inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro, outubro e novembro).

As médias sazonais foram calculadas a partir do valor acumulado dos três meses correspondentes à estação, divididos pelo número de meses da estação para cada ano do período, sendo ao final, determinado o valor das médias sazonais do período de 1961 a 1990 para PA e 1990 a 2009 em SBPA.

3.4.3 - Determinação da precipitação pluviométrica média anual

A média anual de precipitação pluviométrica foi obtida através do somatório dos totais de precipitação acumulada anual, para todo o período, dividido pelo total de anos.

Para o período de 1961-1990, em PA (30 anos) e para o período de 1990-2009, em SBPA (20 anos).

3.4.4 - Determinação da precipitação pluviométrica média decenal

A determinação das médias decenais de precipitação pluviométrica foi feita primeiramente através da definição das décadas de 60, 70 e 80 que compõe o período de 1961 a 1990; e, para o período, 1990 a 2009, as décadas de 1990 e 2000.

Para o cálculo dos valores, procedeu-se ao somatório do valor acumulado mensal dos dez anos de cada década, divididos pelo total de anos da mesma.

As médias decenais por estação seguiram o mesmo procedimento, porém, fazendo o somatório dos valores médios de cada estação do ano referentes à década.

3.5 - Cálculo dos parâmetros de trovoadas

Os parâmetros calculados para o fenômeno das trovoadas, média mensal, sazonal, anual e decenal, seguiram os mesmos padrões de cálculo utilizados para os dados de precipitação pluviométrica.

CAPÍTULO 4

O REGIME DE PRECIPITAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO

4.1 – Apresentação

Neste capítulo são apresentados o comportamento da precipitação pluviométrica de PA (1961-1990) com dados do 8º DISME e o comportamento da precipitação pluviométrica da EMS do SBPA (1990-2009).

4.2 – Tipos de Precipitação

Pode-se conceituar o termo precipitação como todas as formas de água líquida e sólida: chuva, neve, granizo, orvalho, névoa, etc. Porém, usualmente consideramos somente a chuva e a neve, por serem estas formas que contribuem de forma significativa aos totais de precipitação (Barry e Chorley 1978).

Segundo Tubelis e Nascimento (1980), as precipitações classificam-se de acordo com o mecanismo que originou a elevação da massa de ar, sendo assim as precipitações podem ser de origem orográfica, convectiva ou frontal.

As precipitações orográficas ocorrem nas regiões que apresentam grandes variações de altitude, podem abranger o ano todo ou qualquer época e ocorrem quando uma barreira orográfica impede o avanço de uma parcela de ar quente e úmido, fazendo este se elevar e resfriar-se, provocando, assim, a precipitação (Tubelis e Nascimento 1980).

As precipitações convectivas ocorrem nas épocas de maior aporte de radiação solar no ano. Estão associados às nuvens de grande desenvolvimento vertical, Cb. As

precipitações são originadas a partir de correntes convectivas (térmicas) que se resfriam adiabaticamente ao se elevarem, originadas pelo forte aquecimento da superfície da Terra no verão, ou também pela passagem sobre uma superfície mais quente uma massa de ar mais úmido e instável. Associam-se a este tipo de precipitação a ocorrência de grandes aguaceiros tropicais, chuvas de pequena duração, mas de grande intensidade, podendo ocorrer descargas elétricas, trovoadas, ventos fortes e granizo (Barry e Chorley, 1978; Tubelis e Nascimento 1980).

As precipitações frontais são mais frequentes no período do ano em que ocorre a penetração de massas de ar de origem polar. Durante o deslocamento de uma massa de ar quente e úmida, esta é impulsionada para cima ao encontrar uma massa de origem polar resfriando-se e condensando, provocando precipitação. Caracterizam-se por apresentar intensidade moderada a fraca, serem de longa duração (dias). São mais frequentes durante o inverno, quando a atuação da massa polar é mais ativa sobre o RS. No verão, a atuação mais intensa de uma frente fria atinge áreas do continente menores do que no inverno. Sua rota de atuação é praticamente litorânea, são menos frequentes e intensas e tem sua dissipação favorecida pelo rápido deslocamento para o oceano (Tubelis e Nascimento, 1980; Livi, 2006).

4.3 – Tipos de Trovoadas

De acordo com Blair e Fite (1964) as trovoadas são classificadas em dois tipos principais: frontal e de massas de ar.

Trovoadas Frontais: Resultam da interação de duas massas de ar, em conexão com a passagem de uma frente. São características de frentes frias.

Trovoadas de massa de ar: São aquelas que ocorrem como resultado da movimentação vertical do ar, no seio de uma única massa de ar. Neste tipo incluem-se as trovoadas de aquecimento local, induzidas por convecção térmica, trovoadas orográficas, devido ao movimento de ar contra acidentes orográficos, e trovoadas de altitude, causadas pela advecção de ar quente nos níveis inferiores ou pela advecção do ar frio nos níveis superiores.

4.4 – Condições favoráveis à formação de trovoada

Para o ICEA (2003) existem três condições favoráveis para a formação de trovoadas:

Alto teor de umidade: A umidade absoluta do ar atmosférico, consequência da evaporação, constitui o combustível do desenvolvimento das nuvens Cb. Grande parte da energia calorífica utilizada durante o processo de evaporação e que se mantém em estado latente no corpo evaporado é transformada em energia cinética e potencial no interior dos Cbs e será dissipada de forma violenta e destruidora.

Instabilidade do Ar: A instabilidade do ar contribui para que o crescimento vertical dos Cbs possa ocorrer. É importante lembrar que a instabilidade não significa, necessariamente, alta temperatura em superfície, mas um gradiente térmico vertical superior a $1^\circ \text{C}/100 \text{m}$.

Força Ascensional: A terceira condição significa o movimento de ascensão que gerará o transporte do ar úmido para os níveis onde se desenvolverão os Cbs. Esta ação de levantamento pode ser de duas ordens:

- a) **Ação térmica:** Durante o verão os continentes são mais quentes que os oceanos. Nessa época, as partículas de ar dos níveis inferiores, aquecidas pela troca de calor com o solo, tornar-se-ão mais leves e ascenderão naturalmente. No inverno, todavia, as forças ascensionais de origem térmica são mais ativas no oceano;
- b) **Ação mecânica:** A irregularidade topográfica dos continentes poderá gerar o fluxo horizontal intenso e constante do ar úmido. E esse ascender e dar início ao processo de crescimento de nuvens convectivas. A persistência dessa ação resultará em maior duração do fenômeno. Na maioria das vezes, trovoadas persistentes, em determinadas regiões, são devidas à topografia da região.

4.5 - Comportamento da precipitação pluviométrica média mensal em PA

Ao analisar-se a Normal de precipitação pluviométrica de Porto Alegre (1961-1990), percebe-se um regime de chuvas relativamente bem distribuídas durante o ano, com média mensal no período de 112,4 mm e tendência de incremento de 1,50 mm a⁻¹ (Gráfico 4.1). Verifica-se um aumento nos meses de junho a setembro, correspondendo respectivamente ao inverno e parte da primavera. Esse aumento pluviométrico é relacionado com o avanço de frentes frias que são mais freqüentes nessa época do ano.

Os seguintes meses destacam-se pela maior média de precipitação pluviométrica acumulada: os três meses do inverno, junho, julho e agosto com 132,7 mm, 121,7 mm e 140,0 mm, respectivamente; setembro (139,5 mm) e outubro (114,3 mm) durante a primavera. Para as menores médias de precipitação acumulada destacam-se os seguintes meses: abril (87,1 mm) e maio (94,6 mm) ambos no outono; dezembro (101,2 mm) janeiro (100,1 mm) no verão.

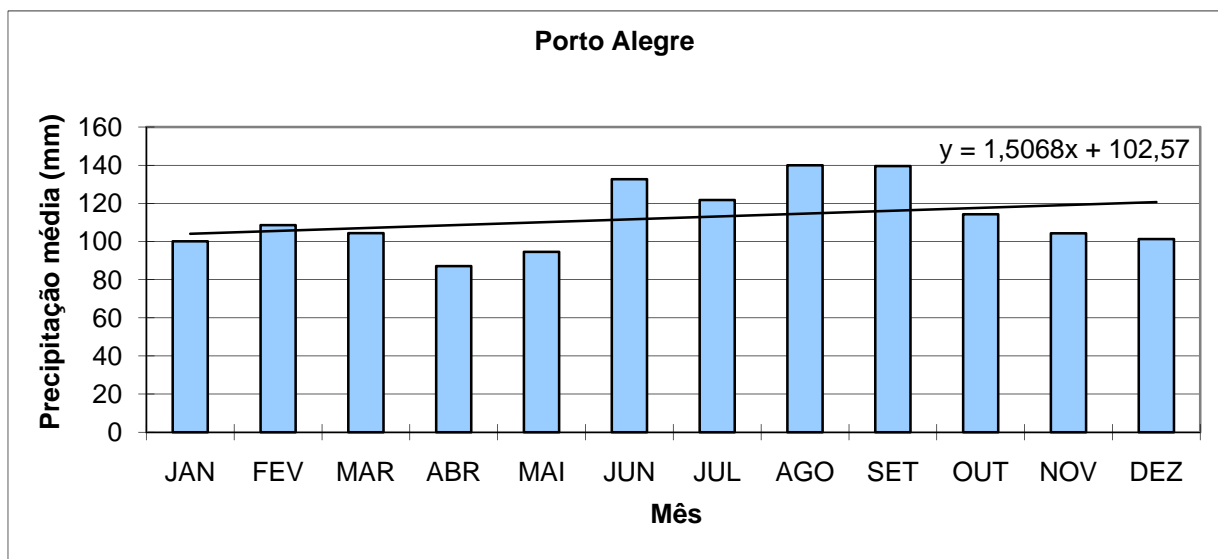


Gráfico 4.1: Precipitação média mensal para PA no período de 1961 a 1990.

As informações acima descritas e o gráfico 4.1 reforçam a classificação climática proposta por Köppen no que diz respeito à precipitação, onde o clima Cfa de PA apresenta chuvas bem distribuídas durante todo o ano. O maior índice pluviométrico observado entre os meses de junho a setembro caracteriza um regime de chuvas de latitudes médias, onde a chuva resulta do avanço mais frequente de sistemas frontais associados a

ciclones extratropicais migratórios e consequente alternância de massas de ar (Barry e Chorley, 1978; Vianna, 2006; Cavalcanti, 2009).

4.6 - Comportamento da precipitação pluviométrica média sazonal em PA

4.6.1 – Verão

Durante o período de 1961 a 1990 a precipitação pluviométrica média no verão foi de 103,0 mm em PA. A linha de tendência apresenta variação muito baixa, de $0,01 \text{ mm a}^{-1}$. A partir das informações do gráfico 4.2 observa-se uma normalidade nos valores de precipitação média no período (1961-1990). Destacam-se os extremos: máximo no ano de 1973 (145,0 mm) e mínimo no ano de 1963 (65,5 mm).

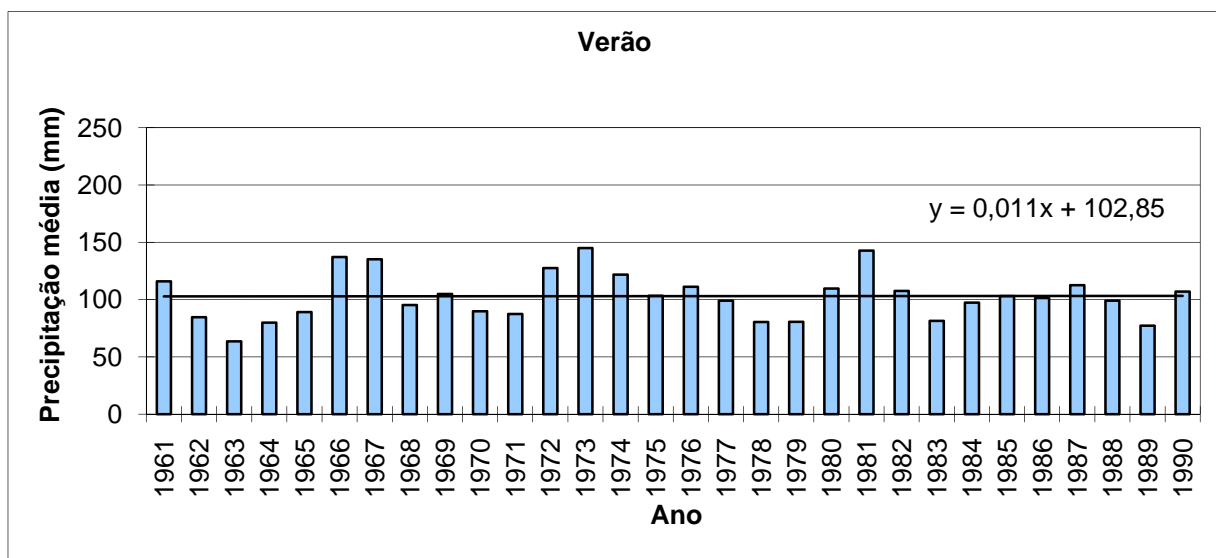


Gráfico 4.2: Comportamento da precipitação média no verão em PA (1961-1990).

4.6.2 – Outono

A precipitação pluviométrica média no outono (1961-1990) foi de 95,4 mm, e tendência de incremento de $2,17 \text{ mm a}^{-1}$ (Gráfico 4.3). Observa-se que é na última década do período, de 1980 a 1990, que se destaca o incremento na precipitação, com os picos máximos

da série registrados nos anos de 1983 (143,0 mm), 1984 (203,9 mm), 1985 (163,1 mm), 1986 (153,2 mm), 1987 (134,8 mm), 1989 (112,4 mm) e 1990 (119,0 mm).

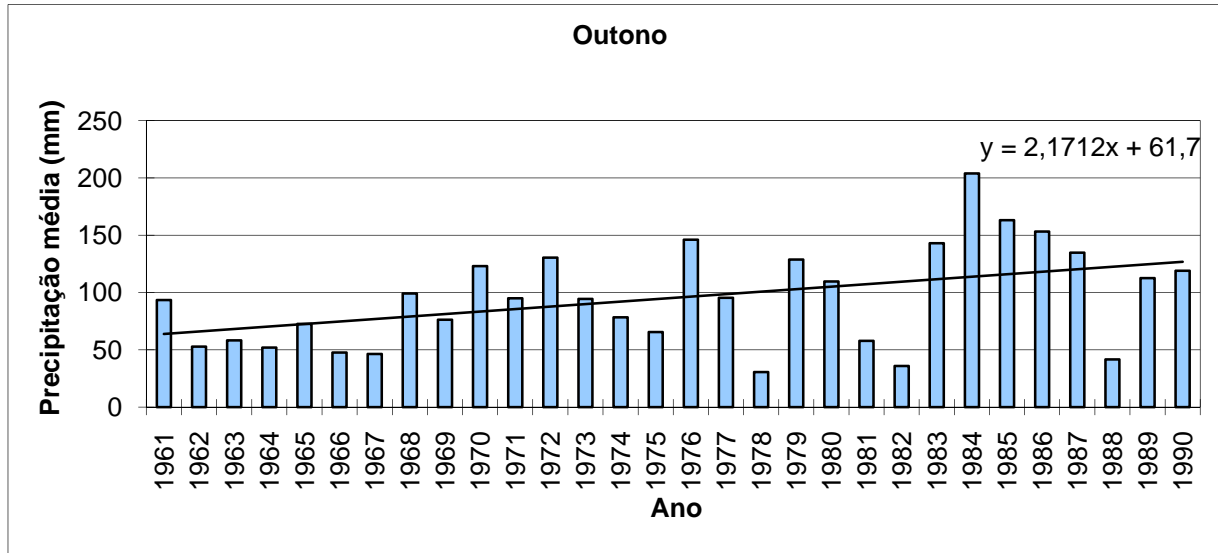


Gráfico 4.3: Comportamento da precipitação média no outono em PA (1961-1990).

Observa-se, a partir da década de 80, um aumento na precipitação. Até o ano de 1980 os maiores valores registrados foram em 1970 (123,0 mm), 1972 (130,4 mm), 1976 (146,0 mm) e 1979 (128,8 mm), quando prevaleciam acumulados médios abaixo dos 100,0 mm. A média de precipitação para as duas primeiras décadas do período (1961 a 1980) foi de 84,8 mm.

Porém, observou-se na última década, no período de 1981 a 1990, aumento de 27,21 % na média de precipitação no outono. Prevalecendo médias superiores aos 95,4 mm que é a média para toda a série temporal.

4.6.3 - Inverno

A precipitação média da estação para o período é 131,5 mm, apresenta tendência de acréscimo de $0,62 \text{ mm a}^{-1}$ (Gráfico 4.4). Verifica-se que o inverno apresentou a maior média pluviométrica entre as estações durante o período (1961-1990).

Percebe-se uma anormalidade no padrão das chuvas registradas no inverno. Os valores máximos e mínimos de precipitação no inverno são observados em 1982 (234 mm) e 1968 (46,1 mm) respectivamente.

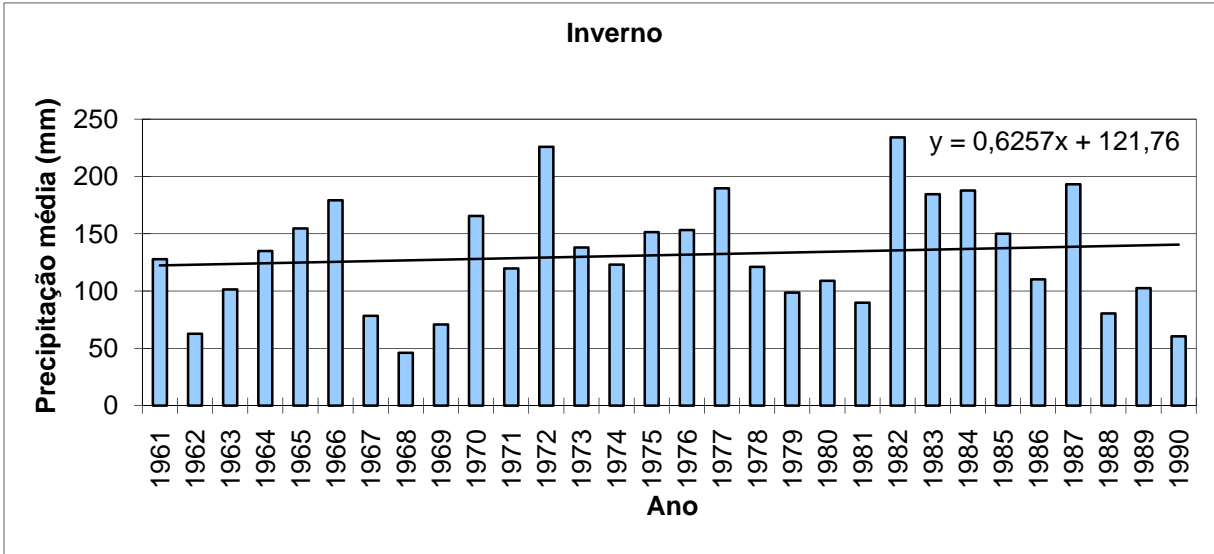


Gráfico 4.4: Comportamento da precipitação média no inverno em PA (1961-1990).

4.6.4 – Primavera

A estação da primavera apresentou uma média de precipitação de 119,4 mm e tendência de incremento de $0,77 \text{ mm a}^{-1}$. Observa-se que a primavera apresenta a segunda maior média de precipitação entre as estações, com a média apenas 11,48% menor do que a do inverno, estação mais chuvosa. Este alto valor para a média se deve principalmente aos expressivos valores computados para o mês de setembro que finaliza o período considerado de chuvas para PA, iniciado no mês de junho (Gráfico 4.5).

Observa-se o máximo de precipitação registrada na primavera no ano de 1990 (232,6 mm) e o mínimo em 1971 (51,2 mm).

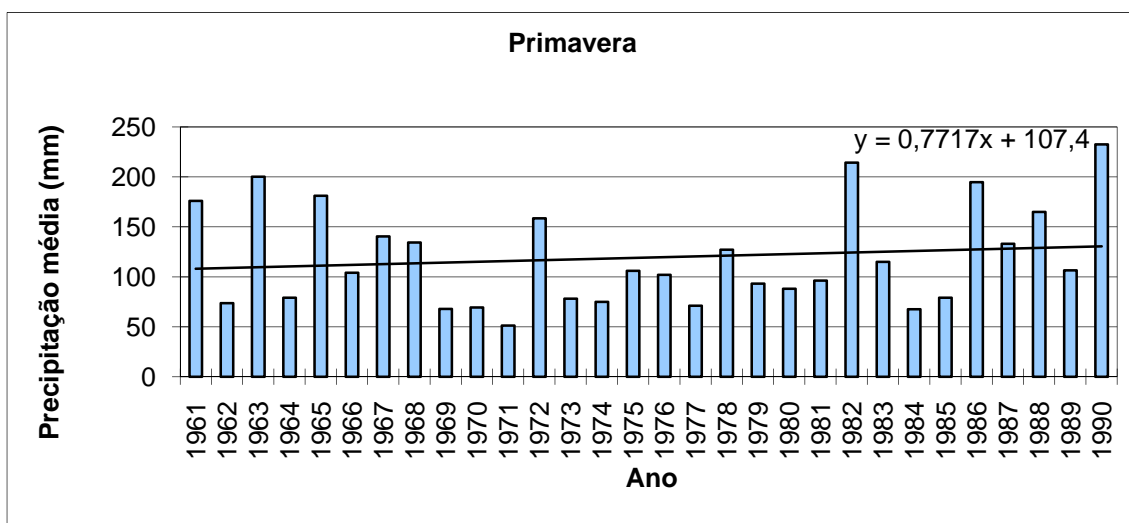


Gráfico 4.5: Comportamento da precipitação média na primavera em PA (1961-1990).

4.6.5 – Comportamento Sazonal

Através da observação do gráfico 4.6 verifica-se o comportamento sazonal do regime pluviométrico de PA. Observa-se a prevalência do inverno e da primavera como as estações com maiores médias pluviométricas para a normal (1961-1990) em PA.

Destacam-se o inverno de 1990 (234,1 mm) e a primavera de 1990 (232,6 mm) como as estações mais chuvosas do período e em contrapartida observa-se o outono de 1978 (30,6 mm) e a primavera de 1971 (51,2 mm) como as estações menos chuvosas. Ratifica-se a tendência de incremento da precipitação no outono durante o período.

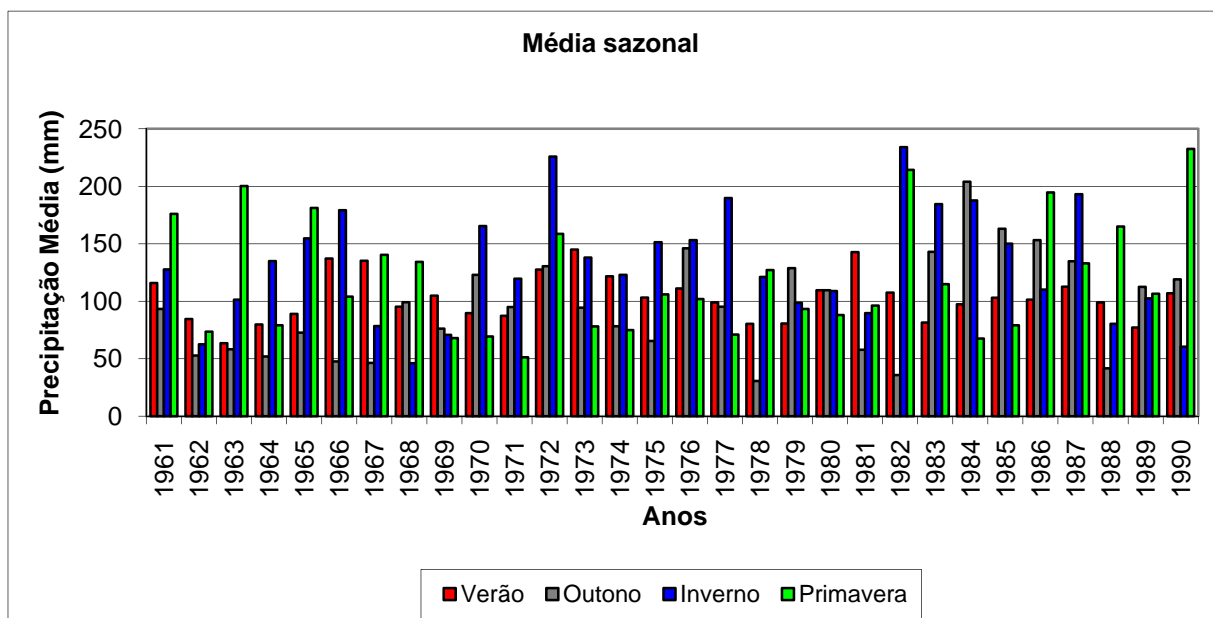


Gráfico 4.6: Comportamento da precipitação média sazonal em PA (1961-1990).

4.7 – Comportamento da precipitação pluviométrica média anual em PA

Observa-se entre 1961 e 1990 o valor de 1.348,38 mm para a precipitação pluviométrica anual média em PA. Na linha de tendência pode-se perceber um incremento nos totais acumulados de 11,05 mm a⁻¹. O maior valor acumulado foi observado no ano de 1972 apresentando 1.984,6 mm, o que representa 32% de precipitação acima da média do período. E para os menores valores pluviométricos podemos verificar os anos de 1962 (711 mm) e 1969 (983,9 mm), o que representa respectivamente 42% e 27% abaixo que a média do período (Gráfico 4.7).

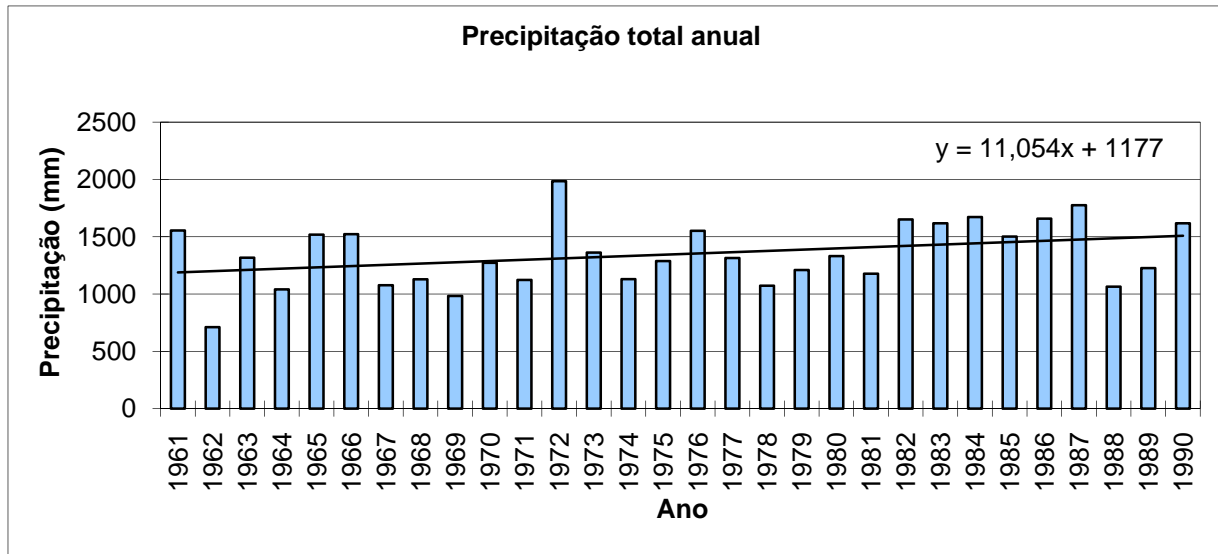


Gráfico 4.7: Comportamento da precipitação total anual em PA (1961-1990).

Percebe-se a ocorrência de uma diferença nos valores das precipitações, em um primeiro momento que corresponde aproximadamente as duas primeiras décadas do período analisado, (1961 a 1980) temos o valor médio de precipitação de 1.274,61 mm, já durante a última década do período (1981 a 1990) observamos aumento de 14,77% na precipitação pluviométrica que passou para 1.495,92 mm.

4.8 - Comportamento da precipitação pluviométrica média decenal em PA

A partir da análise dos dados de precipitação pluviométrica pode-se perceber incremento no valor de precipitação acumulada no decorrer das três décadas que compõe o período analisado. A primeira década analisada (1961-1970) apresenta um valor de 1.212,48 mm. A precipitação média teve um aumento de 9,26 % na década seguinte (1971-1980) que registrou o valor de 1.336,54 mm. Na última década do período analisado (1981-1990) verifica-se uma média de 1.495,92 mm e acréscimo de 10,65% em relação a década anterior.

Sazonalmente nota-se também uma pequena mudança no comportamento da precipitação média durante as décadas que compõe o período. Para a estação do verão os valores médios mantiveram-se quase inalterados, na primeira década, 1961-1970 os valores médios para o verão marcavam 99,52 mm, na década seguinte (1971-1980) a estação

apresentou uma média de 106,58 mm e na década (1981-1990) observa-se o valor de 102,94 mm. Os valores de precipitação para o outono apresentaram uma variação maior entre as décadas, comparavelmente aos valores do verão, sendo eles: 75,15 mm (1961-1970), 97,41 mm (1971-1980) e 116,49 mm (1981-1990). Já as estações do inverno e primavera apresentaram as maiores médias e também maiores variações durante as décadas (Gráfico 4.8).

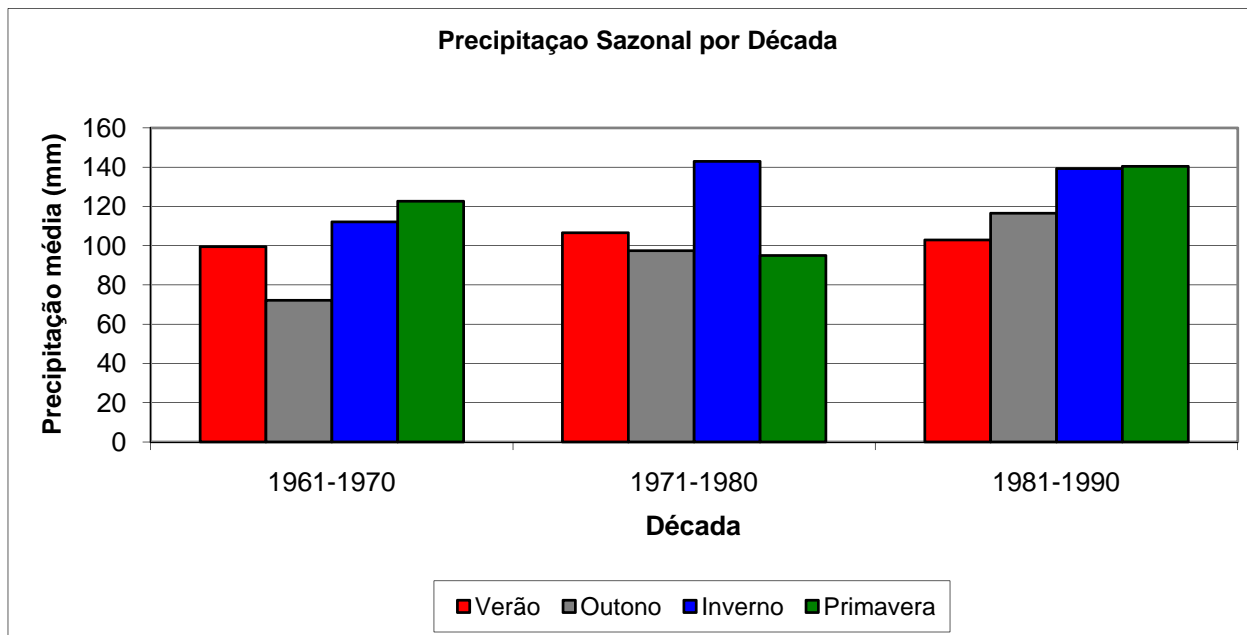


Gráfico 4.8: Comportamento da precipitação sazonal nas décadas de 60, 70 e 80.

4.9 - Comportamento da precipitação pluviométrica média mensal do SBPA

A partir da análise dos dados de precipitação pluviométrica da EMS de SBPA pode-se construir parte da normal climatológica seguinte ao período analisado para o município de PA, possibilitando um melhor embasamento para comparação e análise do comportamento pluviométrico e de trovoadas em SBPA e SBCO. Percebe-se um comportamento similar entre as duas séries de dados. A chuva no SBPA apresenta uma média de 116,28 mm e tendência de incremento de 0,9 mm a⁻¹. Assim como na normal (1961-1990) verifica-se a distribuição uniforme das chuvas, com um pequeno aumento nos meses de inverno.

Destacam-se com as maiores médias os meses de julho com 136,17 mm, no inverno, setembro (142,4 mm) e outubro (138,4 mm), ambos na primavera. As menores médias foram dos meses março (90,29 mm) no verão e agosto (99,54 mm) no inverno (Gráfico 4.9).

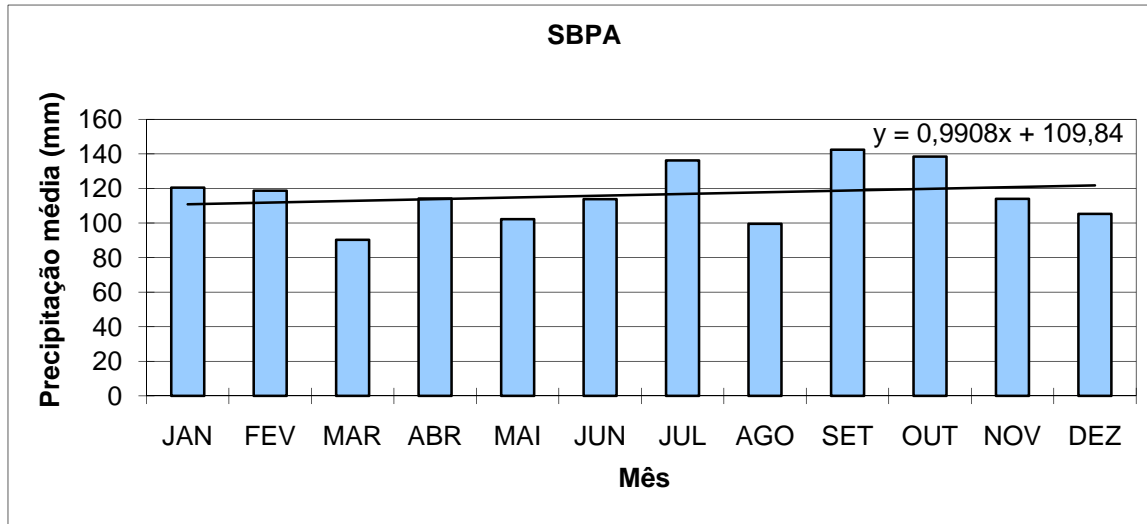


Gráfico 4.9: Comportamento da precipitação média mensal em SBPA (1990-2009).

4.10 - Comportamento da precipitação pluviométrica média sazonal no SBPA

4.10.1 – Verão

No verão a média de precipitação pluviométrica é de 113,94 mm e tendência de decréscimo de 1,40 mm a⁻¹ (Gráfico 4.10).

Percebe-se a ocorrência de verões com precipitações acima da média como os anos de 1993 (169,20 mm), 1994 (230,50 mm), 1998 (180,10 mm), 2001 (137,40 mm) e 2003 (179,67 mm). Contrastando-se com a ocorrência de verões com precipitação abaixo da média sazonal, como em 1997 (48,63 mm), 2000 (65,17 mm), 2002 (77,30mm) e 2005 (35,20 mm).

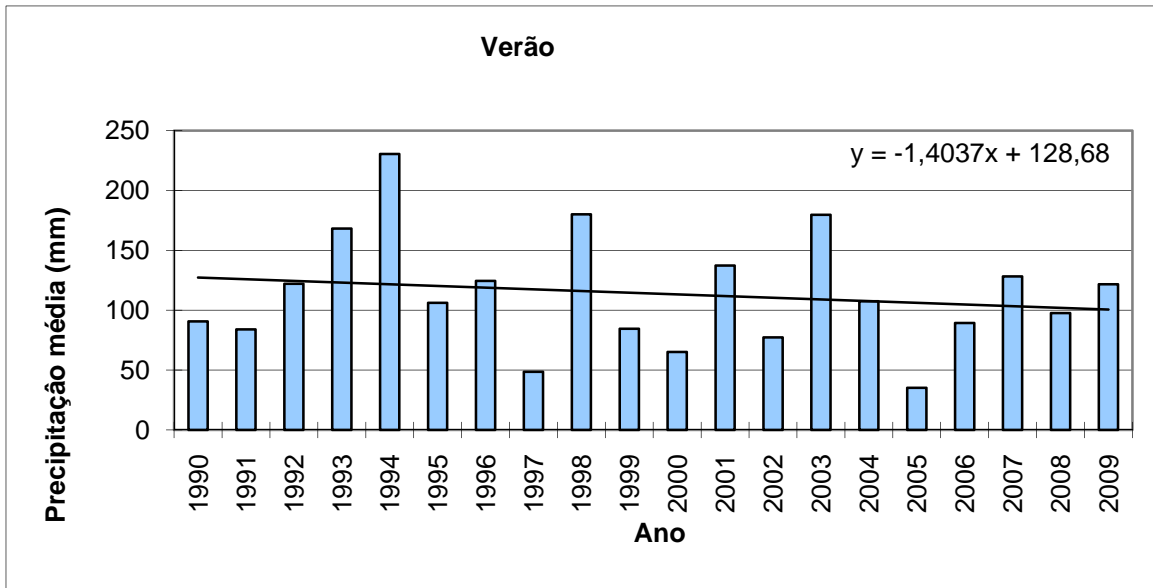


Gráfico 4.10: Comportamento da precipitação média no verão em SBPA (1990-2009).

4.10.2 – Outono

A precipitação média no outono para o período de 1990 a 2009 foi 101,24 mm, e tendência de decréscimo de 0,88 mm a⁻¹. O que contrasta com a tendência de acréscimo apresentado no outono da normal climatológica de 1961 a 1990 (Gráfico 4.11).

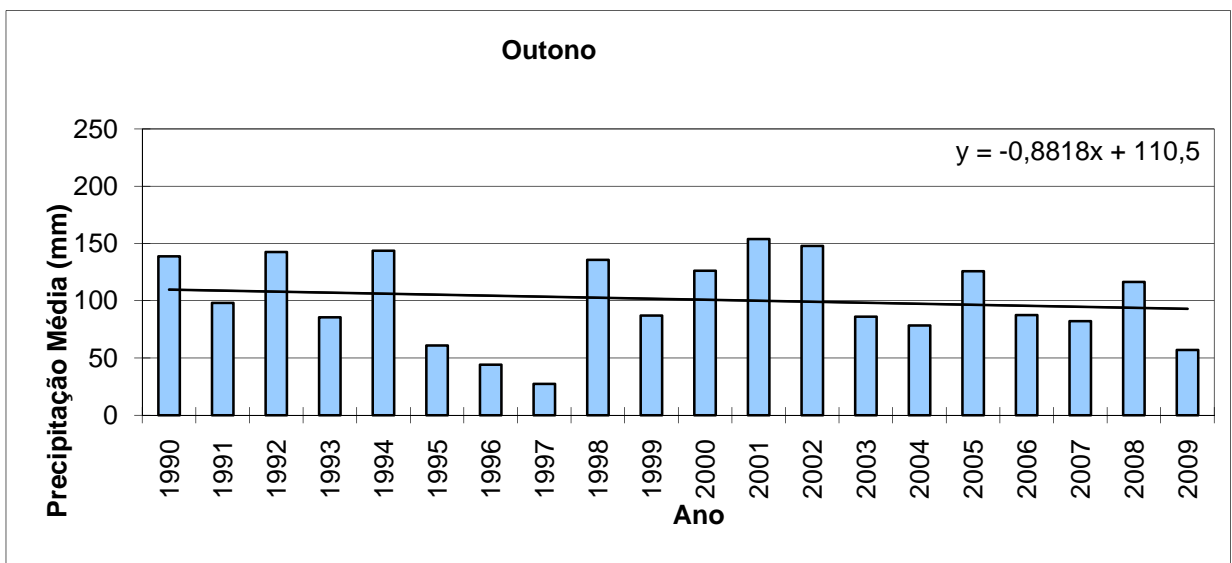


Gráfico 4.11: Comportamento da precipitação média no outono em SBPA (1990-2009).

Esse decréscimo na tendência se deve a ocorrência de 11 anos da série apresentando valores abaixo da média do período: 1991 (98,7 mm), 1993 (85,5 mm), 1995 (60,8 mm), 1996 (44,1 mm), 1997 (27,3 mm), 1999 (87,0 mm), 2003 (86,0mm), 2004 (78,4 mm), 2006 (87,4 mm), 2007 (82,1 mm) e 2009 (56,9 mm).

4.10.3 – Inverno

No inverno a precipitação pluviométrica média é de 116,42 mm. Comparativamente à normal climatológica (1961-1990) que registrou a média no inverno de 131,5 mm, e incremento de $0,62 \text{ mm a}^{-1}$, percebe-se além da diminuição da média da estação, a tendência de invernos com menor precipitação pluviométrica no período (1990-2009), quando se observa o decréscimo de $0,6 \text{ mm a}^{-1}$ na precipitação. Diferentemente da normal climatológica que apresentou o comportamento pluviométrico para PA, observa-se que o inverno não figura mais como a estação com as maiores médias de precipitação pluviométrica do período. (Gráfico 4.11).

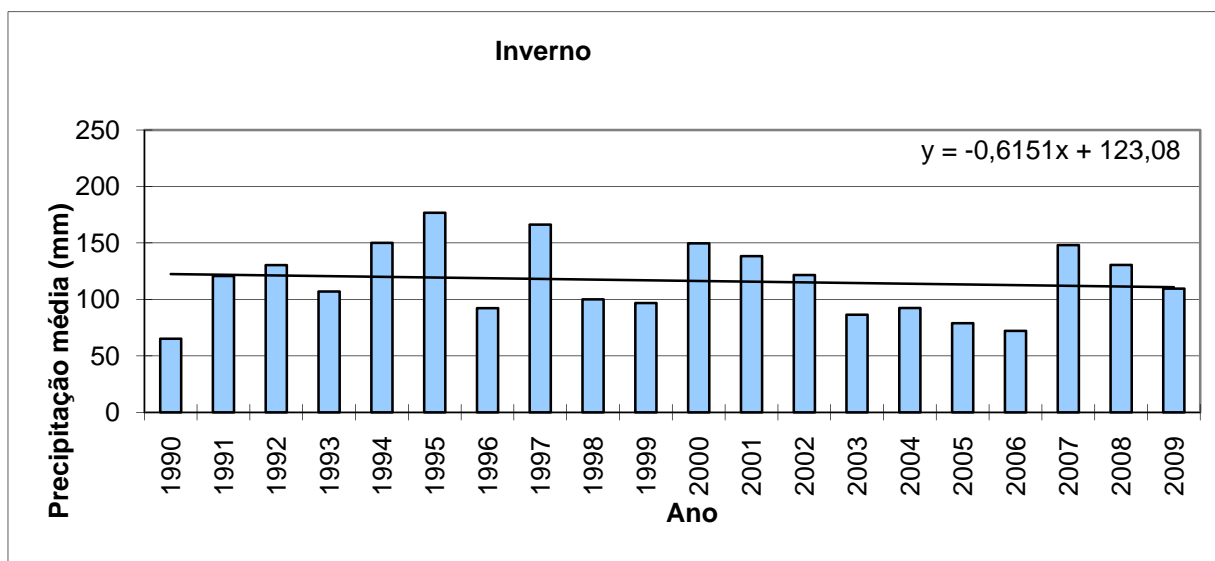


Gráfico 4.12: Comportamento da precipitação média no inverno em SBPA (1990-2009).

4.10.4 – Primavera

A estação da primavera apresentou média de precipitação de 131,61 mm com tendência de $0,93 \text{ mm a}^{-1}$ (Gráfico 4.12).

Verificou-se que diferentemente da normal analisada para PA a primavera apresenta maior média de precipitação entre as estações, superando a média do inverno em 11,38%. Observa-se, no entanto que é diferente na normal (1961-1990), para a mesma estação, verifica-se poucos anos com precipitações acima da média, sendo apenas: 1990 (247,17mm), 2000 (174,33 mm), 2001 (192,10 mm) e 2009 (206,70 mm).

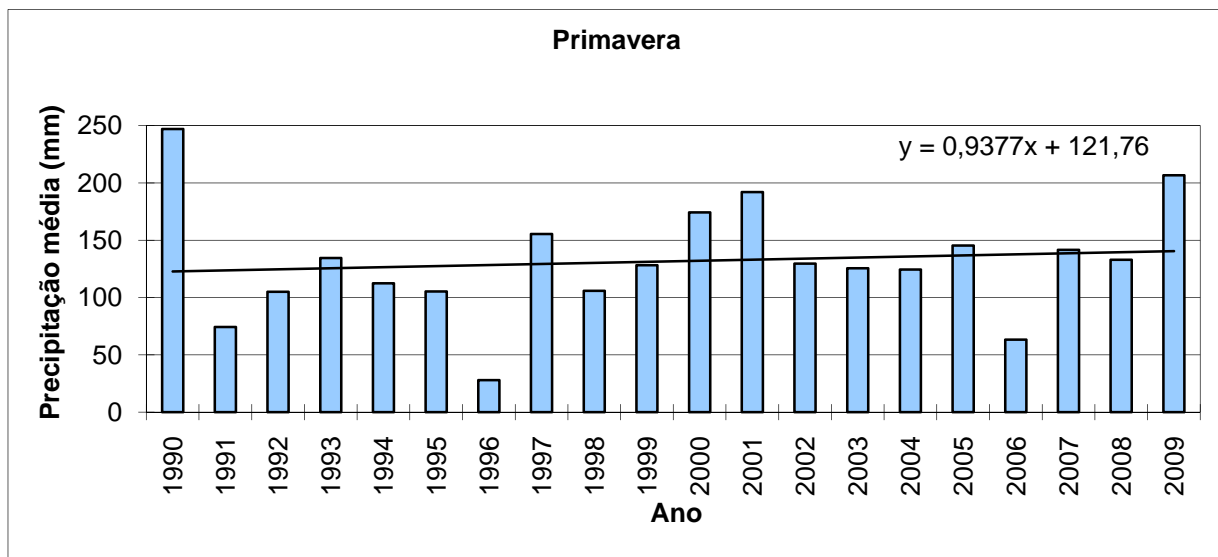


Gráfico 4.13: Comportamento da precipitação média na primavera em SBPA (1990-2009).

4.11 – Comportamento Sazonal SBPA

Na análise sazonal de precipitação pluviométricas no SBPA verifica-se que diferentemente da análise da Normal (1961-1990) para PA a primavera destaca-se com as maiores médias de precipitação, superando os valores do inverno, que para o período analisado anteriormente era a estação mais chuvosa (Gráfico 4.13).

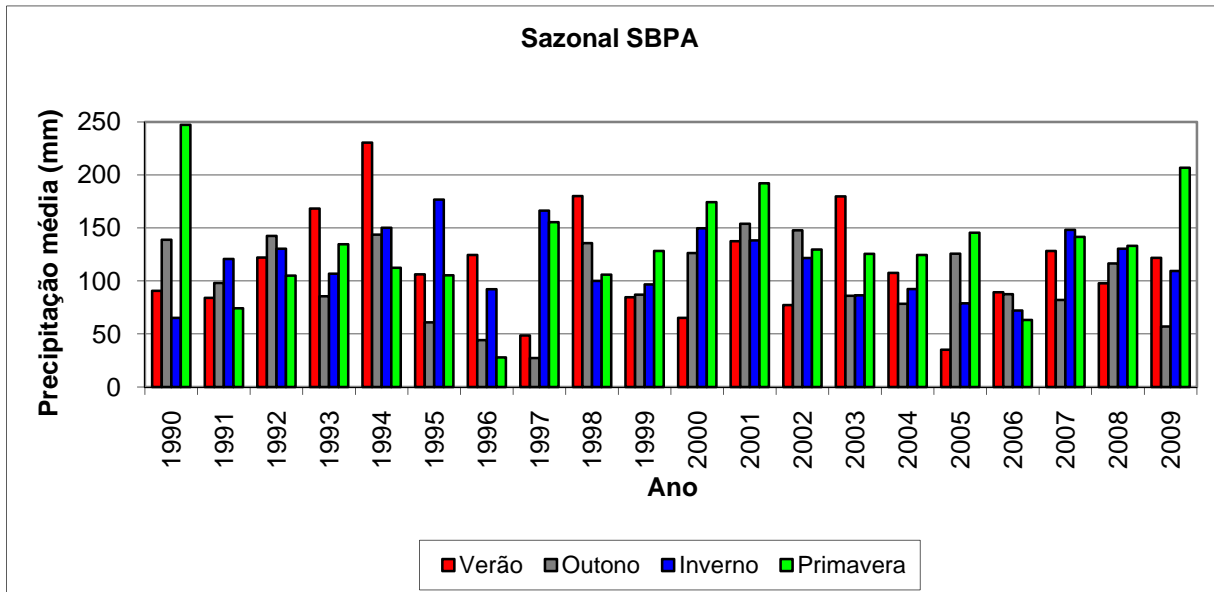


Gráfico 4.14: Comportamento da precipitação média sazonal em SBPA (1990-2009).

4.12 – Comportamento da precipitação pluviométrica média anual no SBPA.

Verifica-se para o período entre 1990 e 2009 uma diferença no regime de precipitação em relação à análise anteriormente feita para PA (1961-1990). Mesmo com a média do período (1990-2009), apresentando o valor de 1.398,67 mm, verifica-se tendência de decréscimo na precipitação de 7,57 mm a⁻¹, (Gráfico 4.14). Os anos de 1990 (1.756,20 mm), 1993 (1.682,90 mm), 1994 (1.767,70 mm) e 2001 (1.869,40 mm) destacam-se com os índices pluviométricos acima da média do período. E os anos de 1991 (1.118,70 mm), 1996 (814,50 mm), 1999 (1.141,90 mm), 2004 (1.021,30 mm), 2005 (1.185,90 mm), 2006 (1.110,20 mm).

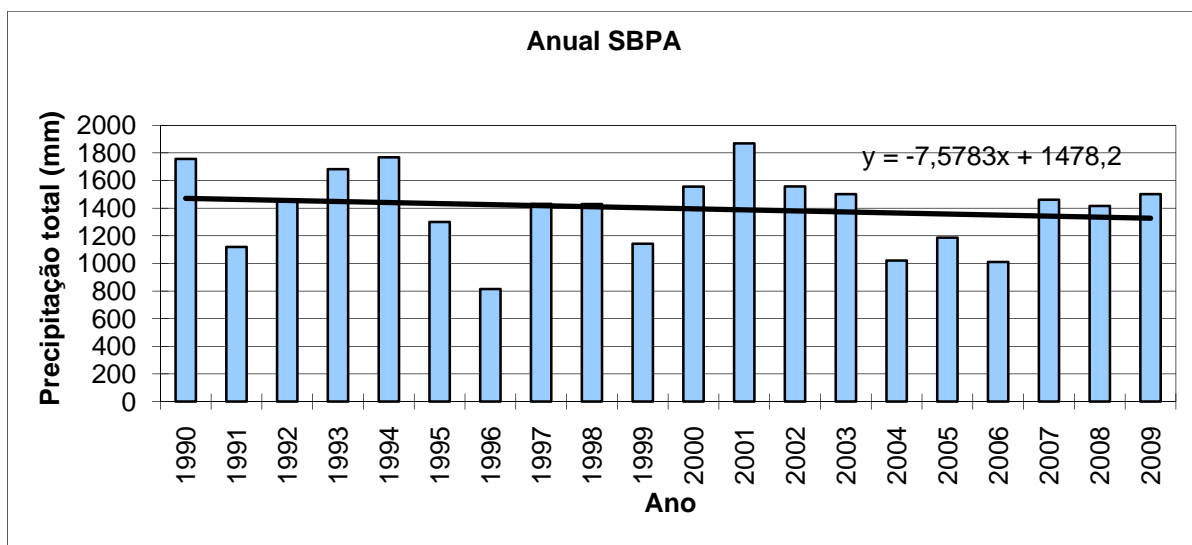


Gráfico 4.15: Comportamento da precipitação total anual em SBPA (1990-2009).

4.13 - Comportamento da precipitação pluviométrica média decenal no SBPA

Na análise do comportamento decenal da precipitação pluviométrica do SBPA (1990-2009), observamos uma constância entre os valores das décadas analisadas, 1990-1999 (1.389,20mm) e 2000-2009 (1.408,14mm) e em comparação as décadas da Normal (1961-1990) percebemos uma diminuição, já mencionada anteriormente, dos índices pluviométricos.

Sazonalmente as décadas do período, 1990-2009 apresentam a peculiaridades do incremento da precipitação no verão na primeira década com 123,96 mm destacando-se como a estação mais chuvosa da década (1990-1999) e apresentando um valor 16,15% maior que os verões da década seguinte (2000-2009). A década de 2000-2009 apresentou a mesma tendência da última década do período analisado anteriormente (1981-1990) que foi um aumento gradativo da precipitação durante as estações, culminando com a primavera como a estação mais chuvosa da década (2000-2009) [Gráfico 4.15].

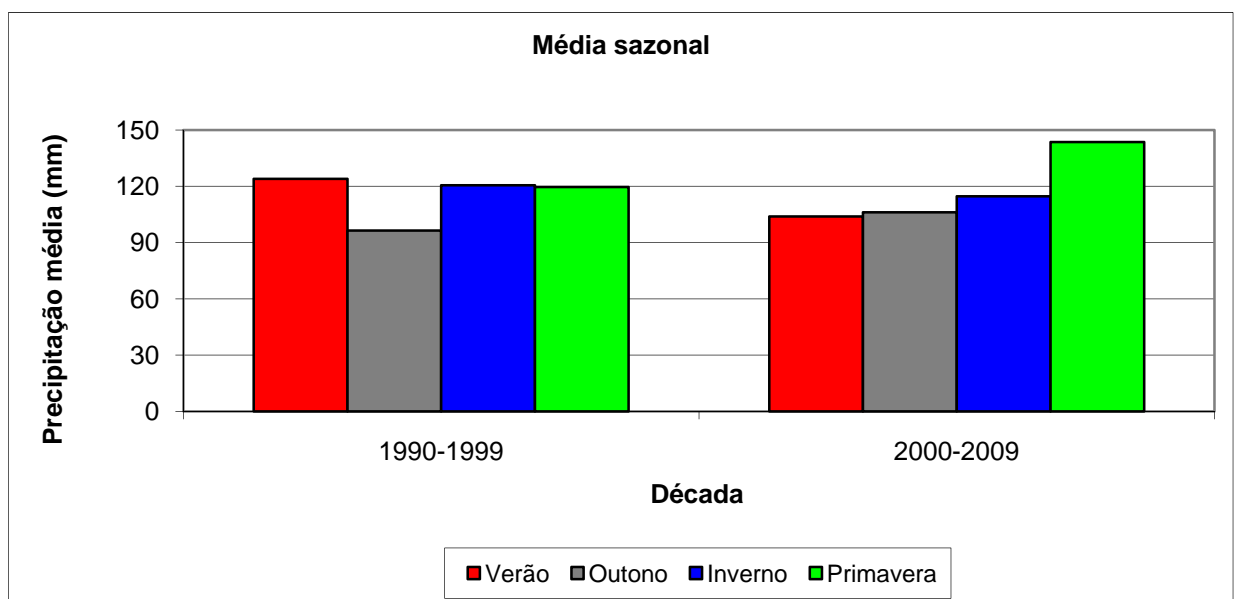


Gráfico 4.16: Comportamento da precipitação média sazonal por década em SBPA (1990-2009).

CAPÍTULO 5

TROVOADAS EM SBPA E SBCO

5.1 – Apresentação

Este capítulo traz a análise e discussão referente à identificação das trovoadas registradas nos Aeródromos SBCO e SBPA entre 1990 e 2009. Os registros de trovoadas são comparados com os regimes pluviométricos de PA e SBPA.

5.2 – Comportamento do registro médio mensal de trovoadas

A obtenção e os registros dos dados de trovoadas foram descritos anteriormente (Capítulo 3). Logo, observa-se um comportamento crescente nos registros de ocorrências médias mensais de trovoadas.

A EMS do SBPA registrou uma média mensal de 23 registros no período (1990-2009) e apresentou tendência de acréscimo de 1,39 trovoadas.

O comportamento das trovoadas registradas pela EMS do SBCO assemelha-se aos registros em SBPA, diferenciando em uma menor tendência de aumento 0,60 trovoadas (Gráfico 5.1).

O aumento mensal verificado em ambos os registros (SBPA, SBCO), deve estar diretamente relacionado ao regime de chuvas de PA que possui tendência de aumentar nos meses de junho a setembro, quando se tem uma maior atuação das frentes frias, associada à alternância de massas de ar prevalecendo as trovoadas do tipo frontal (Tubelis e Nascimento, 1980; Livi, 2006).

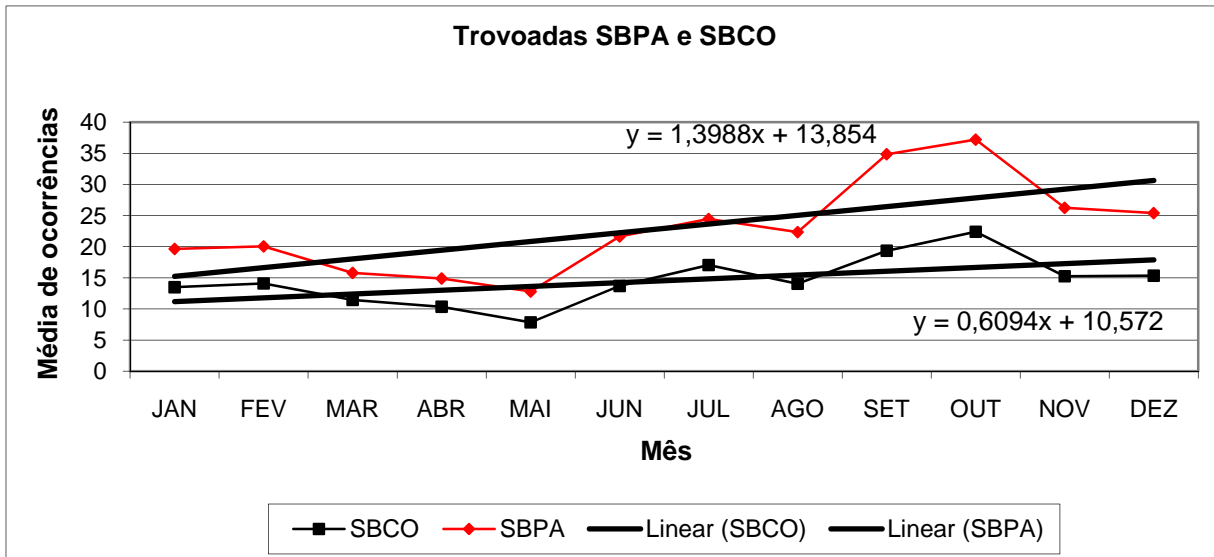


Gráfico 5.1: Comportamento das trovoadas média mensal em SBPA e SBCO (1990-2009).

Nos meses de verão, onde o aquecimento maior do ar nos níveis mais baixos vai propiciar um maior movimento vertical do ar, gerando as correntes de convecção que darão origem as trovoadas do tipo massas de ar, (Gráfico 5.2).

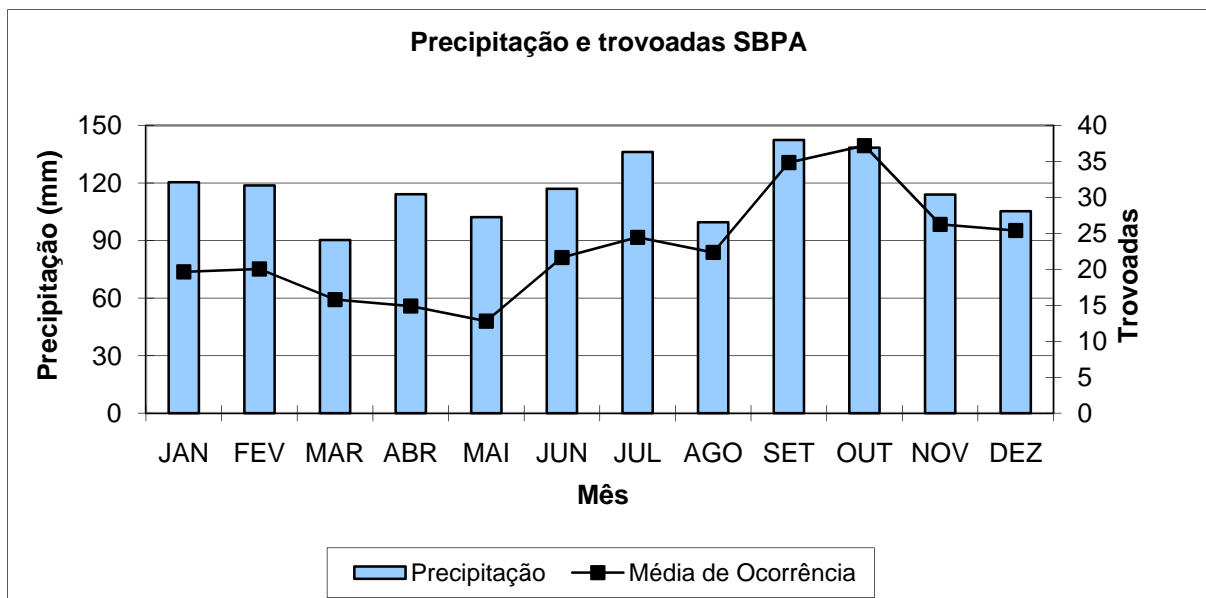


Gráfico 5.2: Precipitação e trovoadas em SBPA (1990-2009).

5.3 – Comportamento do registro médio sazonal de trovoadas

5.3.1 – Verão

Durante o período analisado (1990-2009), o comportamento da ocorrência de trovoadas na área de estudo apresenta-se de acordo com o gráfico 5.3.

Na EMS do SBPA registrou-se uma média de ocorrências de 21 trovoadas no verão para o período (1990-2009). Já na EMS do SBCO o registro médio foi de 14 ocorrências para o mesmo período. Percebe-se um comportamento semelhante no registro de trovoadas nas duas EMS, mesmo com o valor médio não refletindo isto. A discrepância entre as médias se dá também devido ao horário de funcionamento das estações. A similaridade nos comportamentos observada nos gráficos pode ser atribuída à característica principal das trovoadas ocorridas no verão, que são as trovoadas do tipo massa de ar, geradas principalmente pelas correntes de convecção. As células formadoras desse tipo de trovoadas têm a tendência de organizar-se em um cinturão de células que se estende por quilômetros, o que justificaria a similaridade dos comportamentos entre as estações.

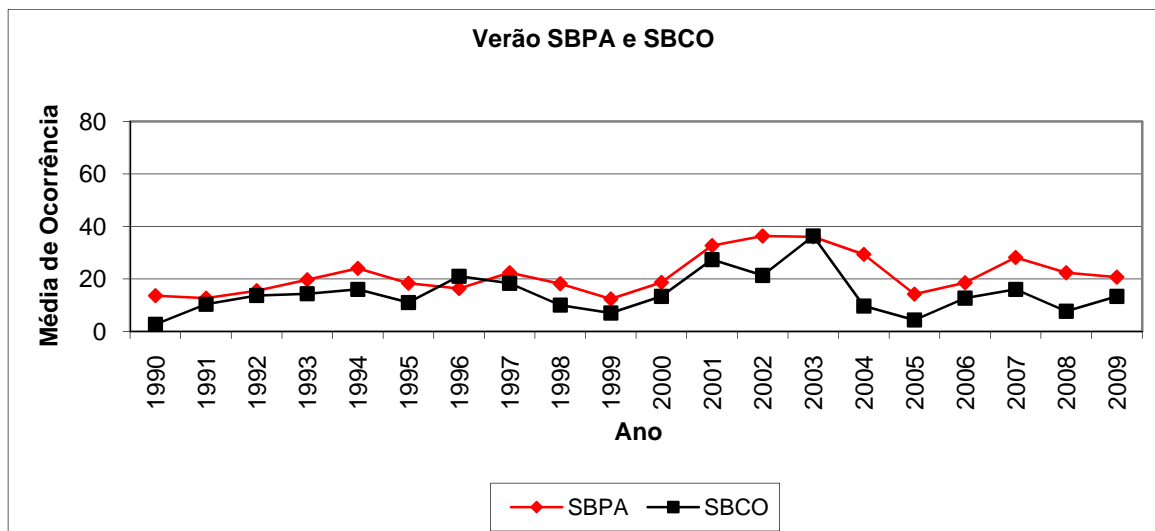


Gráfico 5.3: Trovoadas no verão em SBPA e SBCO (1990-2009).

Na análise conjunta feita entre os dados de precipitação e trovoadas, percebemos que as escalas não se acompanham, ou seja, não coincidem os picos de trovoadas com os picos pluviométricos durante o verão, (Gráfico 5.4).

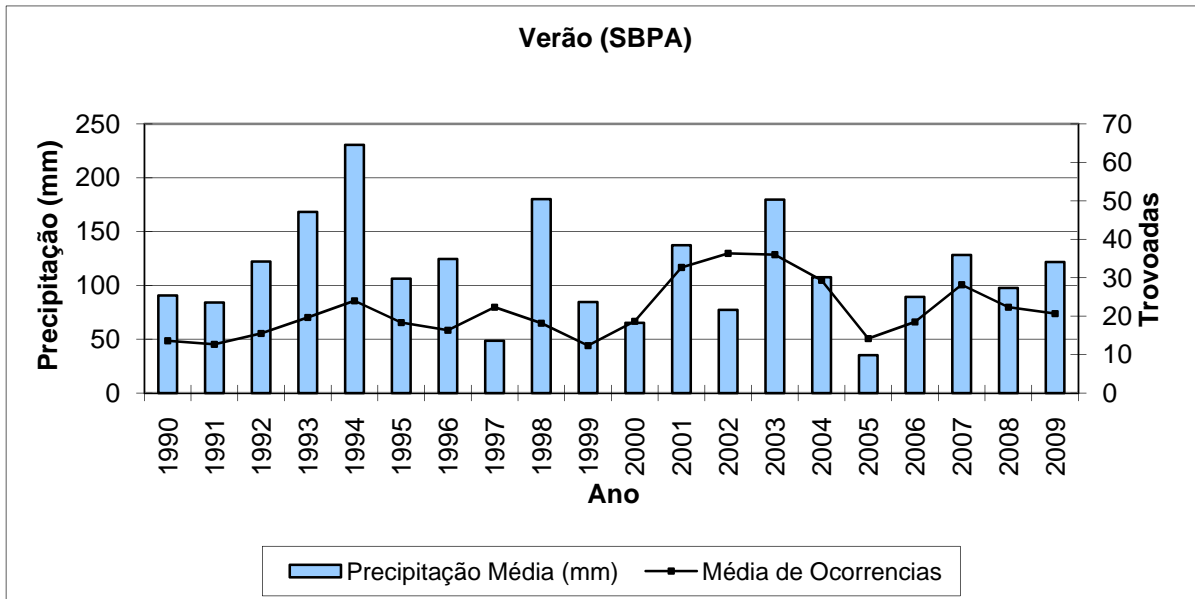


Gráfico 5.4: Tornadoes e precipitação no verão em SBPA (1990-2009).

5.3.2 – Outono

O comportamento outonal do registro das tornadoes nos aeródromos de SBPA e SBCO pode ser observado nos gráficos 5.5.

Verifica-se um comportamento similar nos registros das duas estações. A EMS de SBPA registrou uma média de 15 tornadoes no período, enquanto a EMS de SBCO, registrou uma média de 10 tornadoes. As maiores diferenças ocorrem nos anos de 2005, 2006, 2007 e 2008.

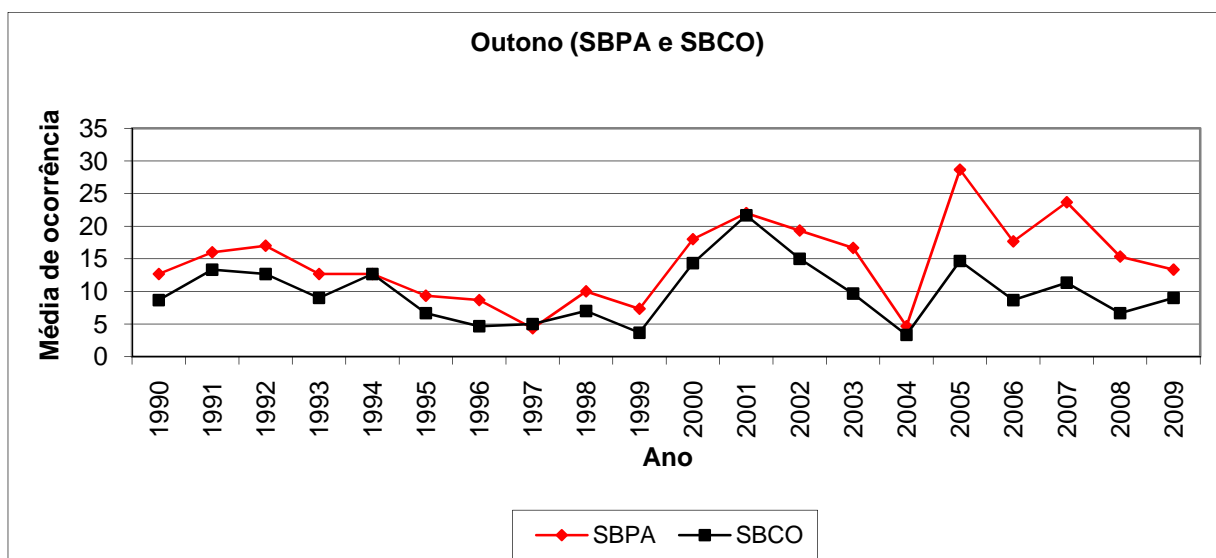


Gráfico 5.5: Trovoadas no outono em SBPA e SBCO (1990-2009).

No gráfico 5.6 observa-se o comportamento conjunto das trovoadas registradas em SBPA com as médias de precipitação para o outono do período (1990-2009).

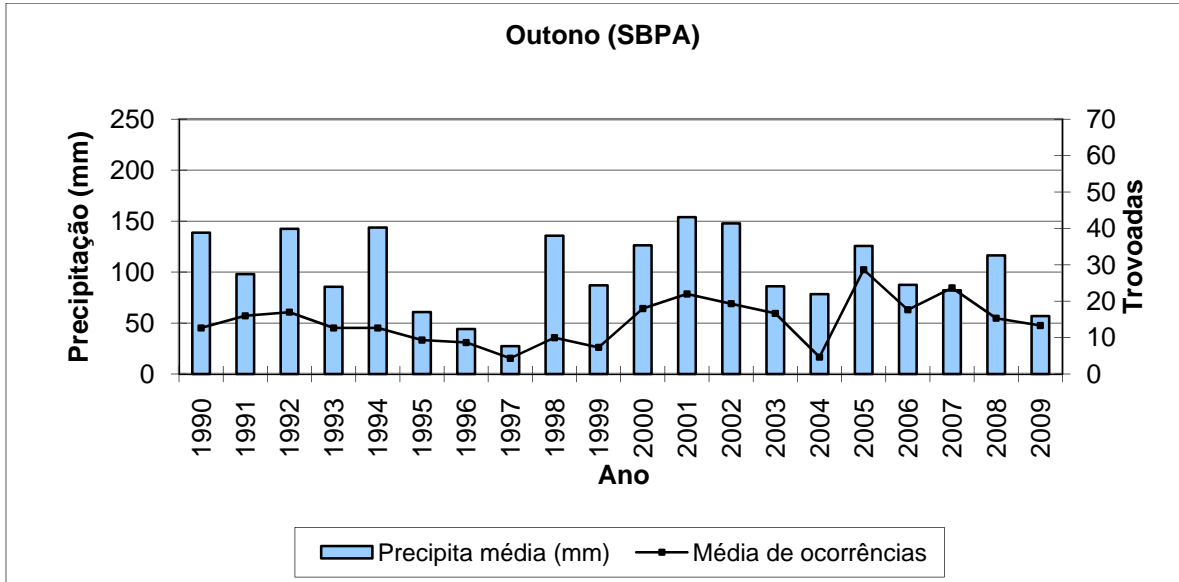


Gráfico 5.6: Trovoadas e precipitação no outono em SBPA (1990-2009).

5.3.3 – Inverno

O comportamento médio do registro das trovoadas nas EMS do SBPA e SBCO é apresentado no gráfico 5.7.

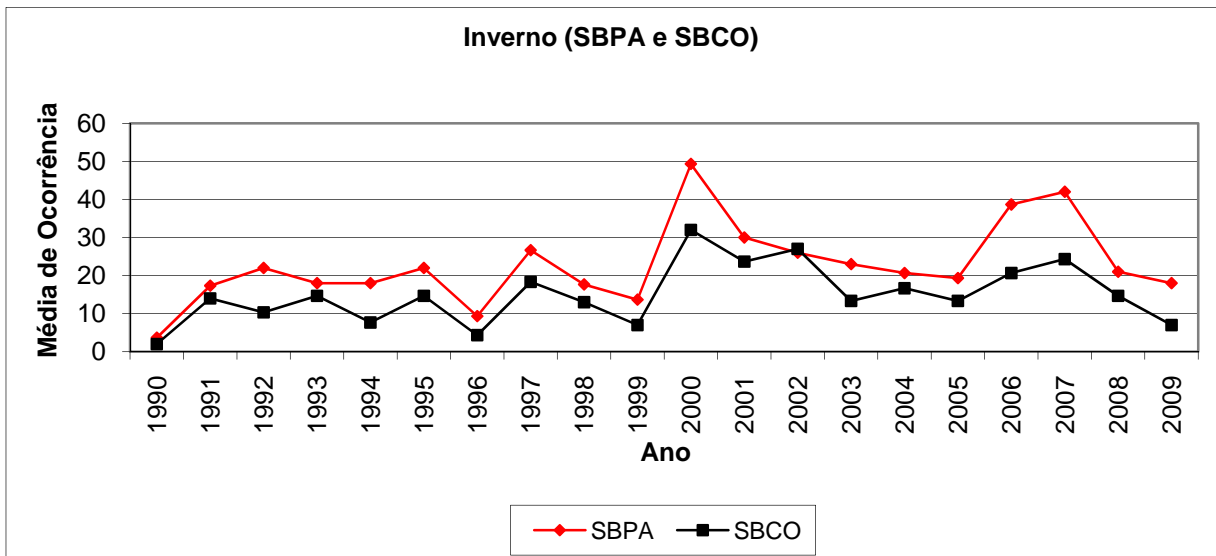


Gráfico 5.7: Trovoadas no inverno em SBCO e SBPA (1990-2009).

As trovoadas registradas no inverno durante o período (1990-2009), na EMS de SBPA apresentaram uma média de 23 ocorrências, já a estação de SBCO apresentou uma média de 15 ocorrências. Nota-se que há um aumento significativo no número de trovoadas em relação aos registros de verão e outono. Os registros de SBPA tiveram um aumento de 34% em relação à estação anterior (outono) e em SBCO tivemos um aumento de 50% em relação à estação anterior. Esse aumento relaciona-se provavelmente com o avanço das frentes frias na região nesta época do ano, ocorrendo desta maneira, na sua maioria trovoadas do tipo frontal. O incremento no número de registros também se relaciona ao incremento nos níveis pluviométricos médios que o inverno apresenta (Gráfico 5.8).

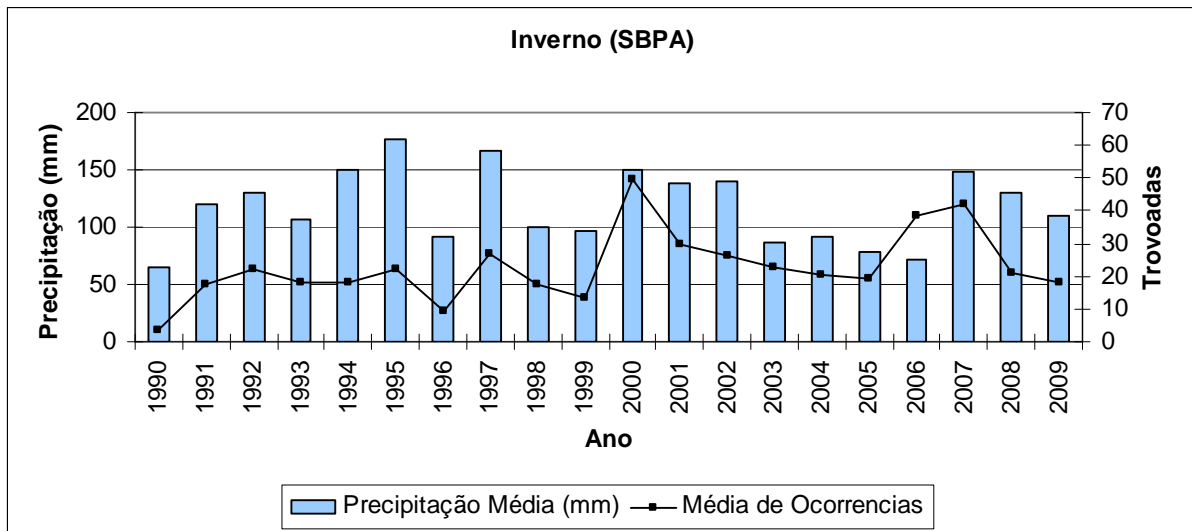


Gráfico 5.8: Trovoadas e precipitação no inverno em SBPA (1990-2009).

5.3.4 – Primavera

A estação da primavera foi a que apresentou a maior média nos registros das trovoadas para as EMS de SBPA e SBCO. Em SBPA registrou-se a ocorrência de 33 trovoadas e em SBCO 19 trovoadas. Observam-se os maiores registros de toda a série temporal (1990-2009) na primavera, identificados nas médias dos anos de 2000 (67 trovoadas), 2001 (52 trovoadas), 2002 (55 trovoadas) e 2009 (56 trovoadas) registros de

SBPA e registrado em SBCO 2000 (39 trovoadas), 2001 (37 trovoadas), 2002 (33 trovoadas) e 2009 (36 trovoadas), [Gráfico 5.9].

O alto número de registros de trovoadas nesta estação se dá principalmente por influências das frentes frias que ainda avançam sobre a região, e também por um maior aquecimento da camada de ar próximo a superfície, gerando desta maneira trovoadas do tipo frontal de massas de ar.

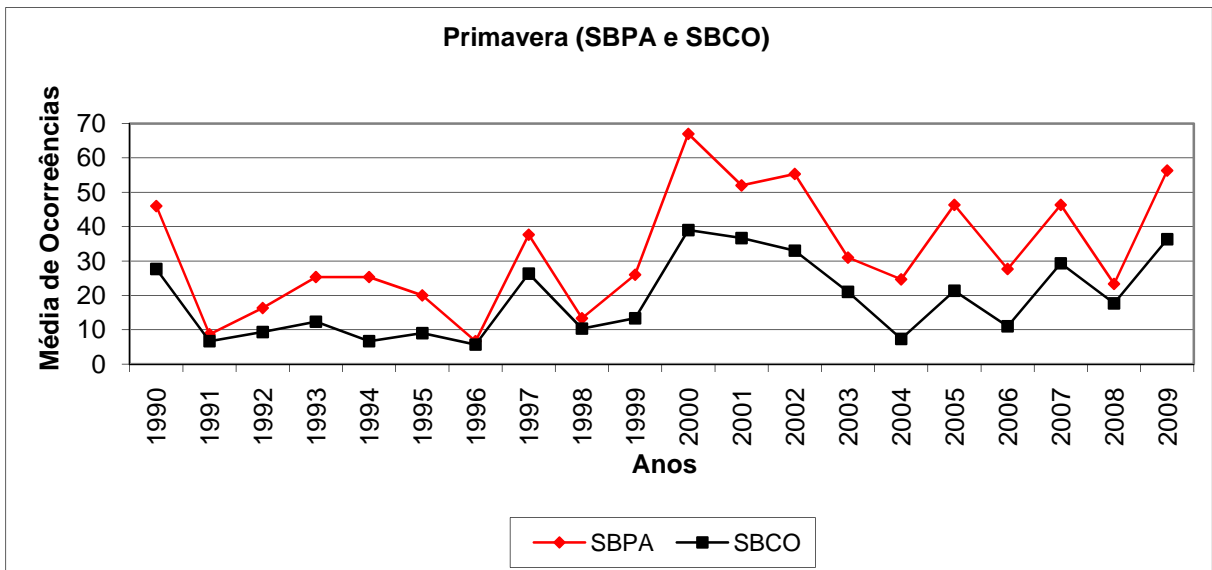


Gráfico 5.9: Trovoadas na primavera em SBPA e SBCO (1990-2009).

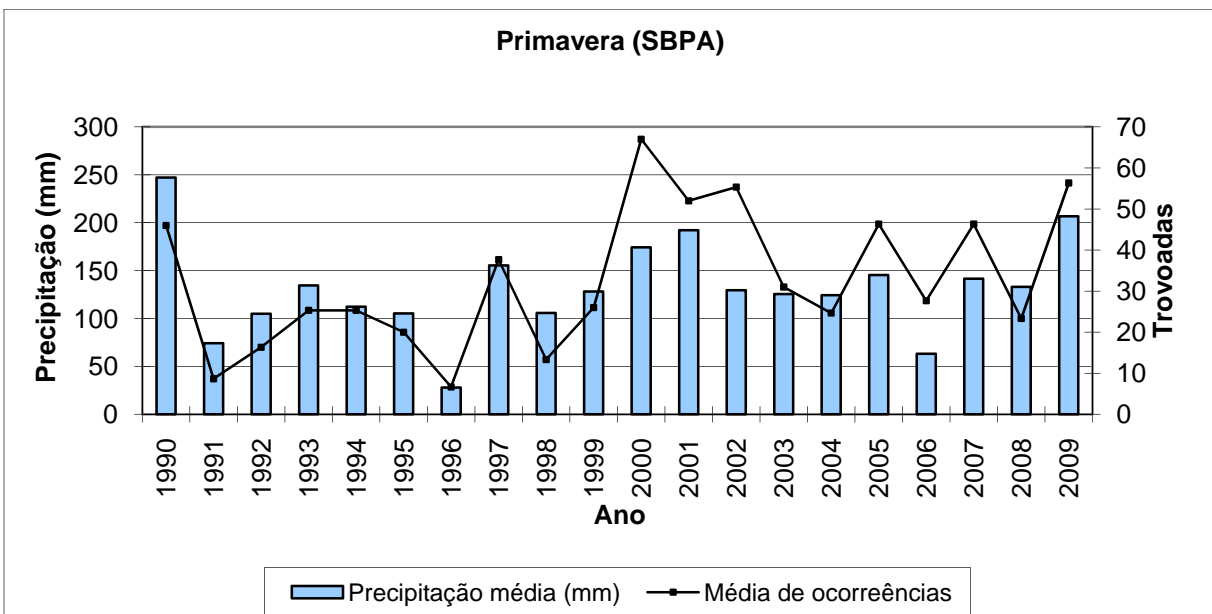


Gráfico 5.10: Trovoadas e precipitação na primavera em SBPA (1990-2009).

5.3.5 – Comportamento sazonal das trovoadas (SBPA e SBCO)

Através da observação dos gráficos 5.13 e 5.14 verificamos o comportamento sazonal das trovoadas registradas nas EMS do SBPA e SBCO, além dos maiores registros serem observados na primavera e no inverno respectivamente, podemos notar um aumento nos registros ocorrendo em todas as estações no período compreendido entre os anos de 2000 e 2003.

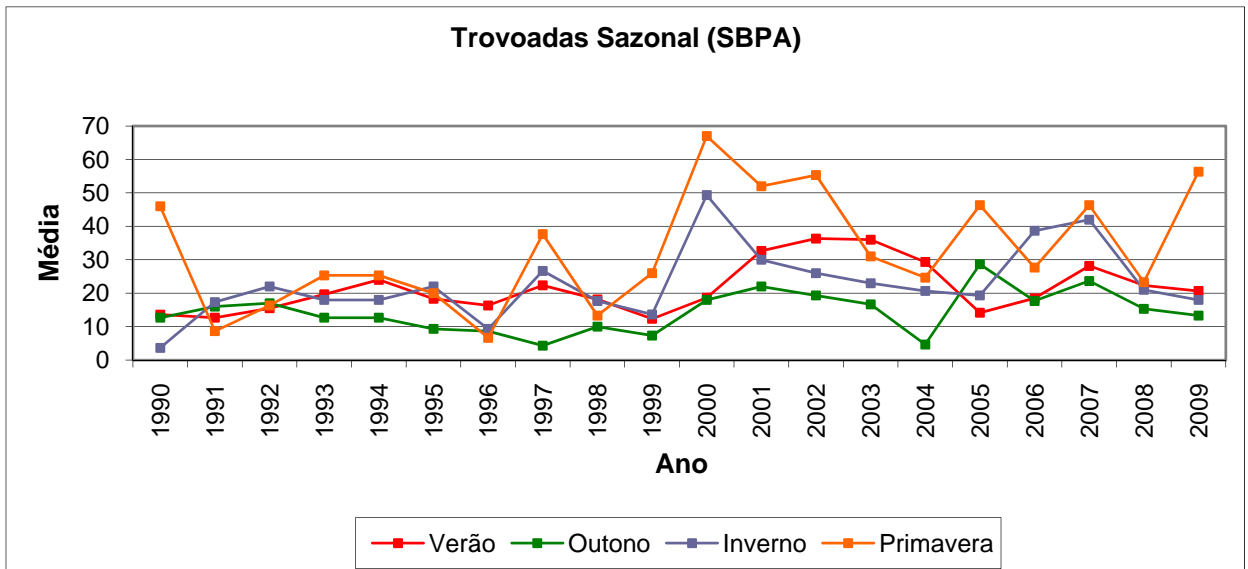


Gráfico 5.11: Trovoadas registradas sazonalmente em SBPA (1990-2009)

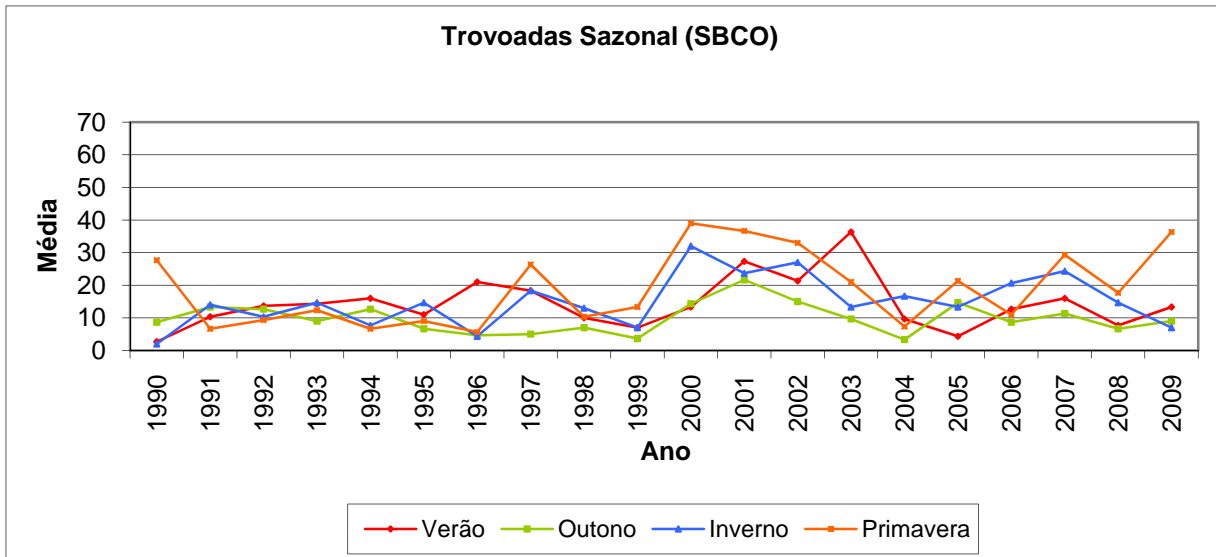


Gráfico 5.12: Trovoadas registradas sazonalmente em SBCO (1990-2009).

5.4 – Comportamento médio anual e decenal das trovoadas em SBPA e SBCO

Sem dúvida é através da análise dos gráficos 5.13 onde se pode perceber a variação que o fenômeno das trovoadas vem sofrendo no período analisado (1990-2009), na região. Observam-se os registros máximos e mínimos da média de ocorrência de trovoadas em SBPA no ano de 2000 (40 trovoadas) e 1996 (11 trovoadas) respectivamente; para SBCO os registros máximo e mínimo foram nos anos 2001 (27 trovoadas) e 1999 (8 trovoadas) respectivamente.

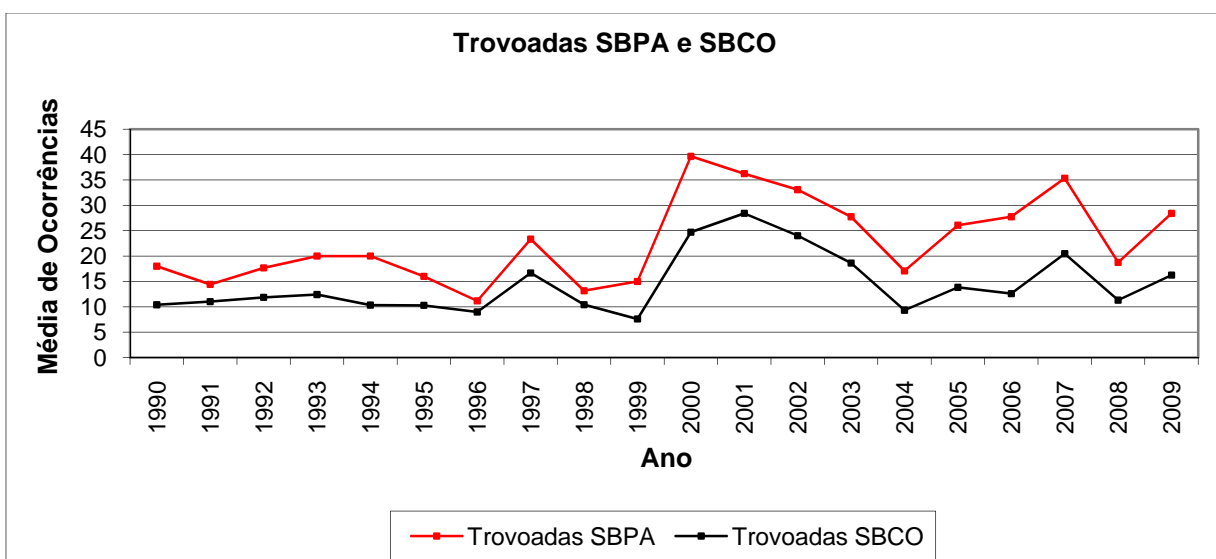


Gráfico 5.13: Trovoada média registrada anualmente em SBPA (1990-2009).

Observa-se um aumento gradativo durante o período e esse aumento torna-se mais expressivo quando analisamos os registros de trovoadas por década, onde se verifica um aumento de 71,95% no registro da média de ocorrência de trovoadas na última década. Na primeira década (1990-1999) apresentou uma média de 203 trovoadas, já na década seguinte (2000-2009) a média subiu para 348 trovoadas.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

6.1 – Considerações finais

Este trabalho teve como objetivo principal quantificar e identificar trovoadas registradas nos Aeródromos de SBPA e SBCO, e elaborar uma análise do comportamento da precipitação pluviométrica em SBPA e PA.

A análise comparativa entre a normal climatológica vigente (1961-1990) de PA e a série temporal de 20 anos (1990-2009) de SBPA mostra que apesar da segunda série temporal ainda não estar completa para caracterizar uma nova normal climatológica foi possível perceber que as médias mensais anuais de precipitação pluviométrica comportaram-se de maneira similar, no entanto verificou-se redução da tendência: a normal (1961-1990) apresentou uma média mensal de 112,4 mm e tendência de incremento de 1,50 mm a⁻¹, já a série temporal de SBPA apresentou uma média de 116,28 mm e incremento de 0,9 mm a⁻¹. Na análise dos totais anuais das duas séries temporais, apesar das médias apresentarem valores semelhantes, 1.348,38 mm (1961-1990) e 1.398,67 mm (1990-2009) percebeu-se um aumento de 50,29 mm entre as médias. No entanto observa-se diferença entre as tendências, que para o primeiro período foi de incremento de 11,05 mm a⁻¹ e para o segundo foi de decréscimo de 7,57 mm a⁻¹.

A análise sazonal da precipitação pluviométrica foi a que possibilitou as maiores diferenciações entre as séries. A normal climatológica de PA (1961-1990) apresentou as seguintes médias e tendências nas estações do ano respectivamente: verão (103,0 mm e 0,01 mm a⁻¹), outono (95,4 mm e 2,17 mm a⁻¹), inverno (131,5 mm e 0,62 mm a⁻¹) e primavera (119,4 mm e 0,77 mm a⁻¹). Observa-se que em todas as estações do ano a tendência foi de incremento na precipitação. Comparativamente à série temporal (1990-2009) os dados

pluviométricos de SBPA apresentaram as seguintes médias e tendência nas estações do ano respectivamente: verão (113,94 mm e $-1,40 \text{ mm a}^{-1}$), outono (101,24 mm e $-0,88 \text{ mm a}^{-1}$), inverno (116,42 mm e $-0,6 \text{ mm a}^{-1}$) e primavera (131,61 mm e $0,93 \text{ mm a}^{-1}$). Comparando-se à série anterior percebemos um aumento nas médias de todas as estações do ano, excetuando o inverno que diminui sua média e deixou de ser estação mais chuvosa. Mesmo com o aumento das médias percebe-se a tendência de decréscimo em quase todas as estações, excetuando a primavera que passou a ser a estação mais chuvosa.

A análise do regime de precipitação de PA se fez necessário para alcançar o objetivo principal desta pesquisa que é analisar o comportamento das trovoadas na RMPA, já que os mecanismos geradores de trovoadas coincidem quase que integralmente com os geradores de precipitação e por ser este método, de análise conjunto entre trovoadas e precipitação, o método mais indicado para estudar o comportamento desse tipo de evento meteorológico.

Através da análise estatística dos dados de trovoadas observou-se um aumento na ocorrência do fenômeno. Este incremento verifica-se de maneira mais expressiva em dois tipos de análise: na análise da média sazonal percebe-se um aumento das trovoadas do verão à primavera, quando se registrou as maiores médias de ocorrências de trovoadas. No verão registrou-se a média de 21 trovoadas em SBPA e 14 em SBCO, eventos diretamente ligados a formação por massas de ar, geradas principalmente pelas correntes de convecção. No outono onde há um declínio no registro médio das trovoadas, registrou-se a média de 15 trovoadas em SBPA e 10 em SBCO. Já no inverno percebe-se novamente o aumento no registro médio dos eventos, 23 trovoadas em SBPA e 15 trovoadas em SBCO, esse aumento continua na primavera, quanto se tem o máximo das médias de trovoadas registradas no ano, 33 trovoadas em SBPA e 19 em SBCO. Esse incremento expressivo dos eventos se dá principalmente pela origem dos mesmos, que estão diretamente ligados ao avanço das frentes frias no RS nesse período do ano, gerando trovoadas do tipo frontal e também ocorrem pela movimentação vertical do ar gerando trovoadas do tipo de massas de ar. Diante disto verifica-se uma tendência de incremento de $4,4 \text{ trovoadas a}^{-1}$ em SBPA e $2,2 \text{ trovoadas a}^{-1}$ em SBCO. Ratifica-se que as diferenças entre os valores das duas EMS, se dão principalmente pelo horário diferenciado de funcionamento das respectivas estações meteorológicas.

Na análise decenal dos dados de SBPA observa-se um aumento expressivo da média de trovoadas registradas, que na primeira década (1990-1999) foi de 203 trovoadas, sofreu um incremento de 71,95% na média da segunda década do período (2000-2009) que registrou 348 trovoadas.

Mesmo a série temporal dos registros de trovoadas ser de apenas 20 anos de registros, não satisfazendo por completo o conceito de Normal climatológica (30 anos), acredita-se ser suficiente para um estudo inicial sobre o comportamento das trovoadas na RMPA, e assim poder chamar atenção para as consequências que o aumento desses eventos meteorológicos extremos trazem para a sociedade. Assim como tem sido proposto em trabalhos como Stallins e Bentley (2006); Stallins e Rose (2008); Shepherd (2009).

Foi possível identificar os tipos de trovoadas e seus mecanismos de formação em SBPA e SBCO. Pode-se perceber que preferencialmente as trovoadas frontais, são mais comuns no inverno quando há a influência de sistemas frontais e as trovoadas de massas de ar preferencialmente mais ocorrentes no verão, mas também podem ser observadas na primavera que são influenciadas pelo alto teor de umidade, e ação térmica que eleva partículas de ar mais aquecidas para camadas mais altas, contribuindo para o aumento do gradiente térmico e consequente instabilidade do ar. Destaca-se que com os dados disponíveis não foi possível caracterizar pontualmente a trovoadas registradas de acordo com o seu tipo, essa caracterização seria possível se os registros de trovoadas fossem dados horários.

O comportamento sazonal do registro médio de trovoadas assemelha-se ao comportamento sazonal da precipitação pluviométrica, aumentando no decorrer do ano do verão à primavera. Excetuando uma diminuição nas médias no outono. Desta maneira conclui-se que as ocorrências de trovoadas têm aumentado consideravelmente durante o período analisado (1990-2009), mas ressalta-se que com os dados disponíveis e metodologia empregada não foi possível identificar um possível aumento ou anormalidade no volume de chuva intensa na RMPA.

6.2 – Sugestões de trabalhos futuros

Sugere-se a continuidade de estudos no assunto utilizando-se dados em uma escala temporal mais detalhada, com dados horários e diários. Esse estudo com dados horários poderia ser relacionado às diferenças de temperatura do ar durante o dia.

Uma pesquisa relacionando-se dados sobre trovoadas com dados que expressem o crescimento da área urbana, sua população e índices de poluição, poderia verificar a intensidade da influência antrópica no comportamento desses eventos extremos.

Propõe-se ainda um estudo comparativo do comportamento da precipitação pluviométrica e trovoadas entre as áreas urbanas e rurais de PA e RMPA.

REFERÊNCIAS

- Araújo, L. C. 1930. **Memória Sobre o Clima do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura. 100 p.
- Ayoade, J.O. 2002: **Introdução à climatologia para os trópicos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 332 p.
- Barry, R.G. e Chorley, R.J. 1978. **Atmósfera, Tiempo y Clima**. 2ª.ed. Barcelona: Omega. 395 p.
- Berlato, M. A. 1992. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: Bergamaschi, H. (coord.) **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. Universidade (UFRGS). 124 p.
- Blair, T. A. 1957. **Meteorologia**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A. 406 p.
- Brasil. ICEA. 2003. **Operação de estação meteorológica de superfície e de centro meteorológico de aeródromo classe II**.
- Cabral, E. e Farias, S. J. S. 1992. **Análise de Ocorrências de "Wind-Shear" na área do Aeroporto Internacional de São Paulo / Guarulhos (1988/1990)**. VII CBMET São Paulo V.1 248-252 p.
- Chede, F. C. 1974. **Manual de Meteorologia Aeronáutica**. ETA Editora Técnica de Aviação.
- Cole, F. W. 1980. **Introduction to meteorology**. New York : John Wiley. 505 p.
- Filho, J. A. M. N.; Pinto, M. L. A.; e Araujo, R. T. 2002. **Variabilidade diurna de trovoadas no Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos – 1985 a 1999**. 8º Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu-PR.
- Google. 2010. <www.google.com.br>. Acesso em 10 de junho de 2010.
- Lima, R. S. e Lehn, M. N. 2006. Avaliação das Previsões de Trovoada no Aeroporto Internacional de Guarulhos no Período de 1 de Dezembro de 2005 a 31 de março de 2006. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia - A Meteorologia a Serviço da Sociedade.
- Livi, F. P. 2006. Elementos do Clima: o contraste de tempos frios e quentes. In: MENEGAT, Rualdo *et al.* **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. 3ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 256 p.
- Machado, F. P. 1950. **Contribuição ao Estudo do Clima do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Geografia. 91 p.

- Menegat, R.; Hasenack, H. e Carraro, C. C.; 2006. As formas da superfície: síntese do Rio Grande do Sul. In: MENEGAT, Rualdo *et al.* **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. 3ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 256 p.
- Nechet, D. 1996a. **Variabilidade diurna de precipitação e de Trovoadas em São Luiz-MA**, Anais do 9º Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão-SP, Vol 1. p. 172-176.
- Nechet, D. 1996b. **Variabilidade diurna de precipitação e de Trovoadas em Boa Vista-RR**, Anais do 9º Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão-SP. Vol 1, p. 176-180.
- Nimer, E. 1977. Clima. In: **Geografia do Brasil - Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE/SERGRAF. v.5. p. 35-79.
- Nimer, E. 1989. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE. 422 p.
- Nimer, E. 1990. Clima. In: **Geografia do Brasil – Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE. Vol 2. p. 151-187.
- Riehl, H. 1965. **Meteorologia tropical**. Rio de Janeiro : Ao Livro Técnico. 426 p.
- Santos, A. P.; Araújo, M.A.A.; Aloise, E.D. e Araújo, C.M.A.; 1994. **Episódios de Wind-Shear” no Aeródromo Internacional de São Paulo - Guarulhos**. VIII CBMET v.2 p. 228-229.
- Sellers, A. H. e Robinson, P. J. 1986. **Contemporary Climatology**. England: Library of Congress. 439 p.
- Shepherd, J. M.; Stallins, J. A.; Jim, M. e Mote, T. M. 2009. **Urban effects on precipitation and associated convective process**. Handbook of Human Ecology. Eds. Ian Douglas et al. Taylor and Francis Books.
- Stallins, J. A e Rose L. S. 2006 **Urban lightning climatology and GIS: An analytical framework from the case study of Atlanta, Georgia**.
- Stallins, J. A e Rose L. S. 2008 **Urban lightning: Current research, methods, and the geographical perspective**. *Geography Compass*.
- Strahler, A.N. e Strahler, A. H. 1989. **Geografía Física**. Barcelona: Ed. Omega. 550 p.
- Strahler, A.N. e Strahler, A. H. 2002. **Physical Geography** Science and Systems of the Human Environment. 2 ed. New York: John Wiley & Sons. 748 p.
- Tubelis, A. e Nascimento, F. J. L. 1980. **Meteorologia Descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. 1ª ed. São Paulo: Nobel. 374 p.
- Vaghetti, N. N.; Couto, F. T. e Carvalho, M. H. 2007. **Condições sinóticas associadas à ocorrência de chuva intensa em Pelotas-RS em maio de 2007**. XVII Congresso de Iniciação Científica. UFPEL.

Varejão, M. A. 2000. **Meteorologia e Climatologia**. Brasília – DF: INMET, gráfica e editora Stilo, 515 p.

Viana, D. R. 2006. **Avaliação da precipitação e desastres naturais associados a complexos convectivos de mesoescala no Rio Grande do Sul entre outubro e dezembro de 2003**. Trabalho de Conclusão do Curso de Geografia. – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS – BR, 121 p.

Viana, D. R.; Matzenauer, R. e Aquino, F. E. 2006. **Desvios de Temperatura Média no Estado do Rio Grande do Sul em 2005**.

Vieira, E. F. 1984. **Rio Grande do Sul: geografia física e vegetação**. Porto Alegre: Sagra.

Zavatini, J. A. 2004 **Estudos do clima no Brasil**. Campinas: Alínea, 398 p.



INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

ALUNO: Ramiro Mendes Da Costa Junior

Composição da Banca Examinadora:

- 1º) Prof. Orientador: Prof. Francisco Eliseu Aquino
- 2º) Prof. Examinador: Prof. Fernando Pohlmann Livi
- 3º) Prof. Examinador: Prof. Ulisses Franz Bremer

Título do Trabalho de Graduação:

“Trovoadas na Região Metropolitana de Porto Alegre – RS (1990 – 2009)”

Data da Defesa do TG: 29 / 11 / 2010

Parecer da Comissão Examinadora:

O aluno cumpriu os requisitos de um Trabalho de Graduação II, tendo sido claro na definição dos objetivos, na escolha e aplicação da metodologia e mostrado habilidade na utilização destes métodos, alcançando os resultados propostos. A banca recomenda que a variável precipitação esteja contemplada no título do trabalho bem como a publicação dos resultados. A banca recomenda conceito (A).

Assinaturas dos Membros da Comissão:

1) Francisco Eliseu Aquino

2) Fernando Pohlmann Livi

3) Ulisses Franz Bremer

Ciente do Aluno:

Data: 29 / 11 / 2010