

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CHARLIS BARROSO DA ROCHA

**ANALISE DA FREQUÊNCIA E INTENSIDADE DA PRECIPITAÇÃO
NOS AEROPORTOS DE PONTA PELADA E EDUARDO GOMES NA
CIDADE DE MANAUS - AM**

MANAUS-AM
2017

CHARLIS BARROSO DA ROCHA

**ANALISE DA FREQUÊNCIA E INTENSIDADE DA PRECIPITAÇÃO
NOS AEROPORTOS DE PONTA PELADA E EDUARDO GOMES NA
CIDADE DE MANAUS - AM**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do curso de Bacharelado em
Meteorologia da Universidade do Estado do
Amazonas como parte dos requisitos
necessários para obtenção do grau de
Bacharelado em Meteorologia.

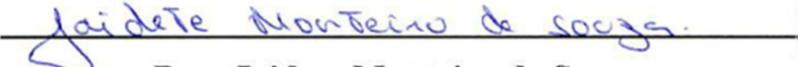
Aprovado em 01 de dezembro de 2017

BANCA EXAMINADORA



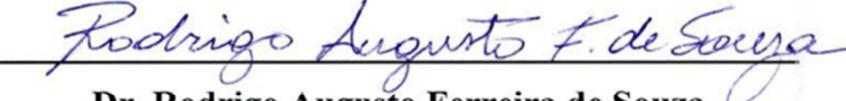
Dra. Rita Valéria Andreoli de Souza

(Orientadora)



Dra. Jaidete Monteiro de Souza

(Professora Convidada)



Dr. Rodrigo Augusto Ferreira de Souza

(Professor Convidado)

AGRADECIMENTOS

À Deus por todas as bênçãos que me foram dadas (família, saúde, amigos);

À minha mãe Laurita de Souza Barroso, por ter-me ensinado a dar os devidos valores às pessoas que nos ajudam nos momentos mais difíceis e por ter me dado à ordem de concluir essa graduação. Sou eternamente grato por tudo o que ela fez por mim e dedico este meu trabalho especialmente a ela;

Ao meu pai Joedilson Duarte da Rocha, por todos os conselhos, ajudas, motivações e inspirações que me deu durante toda a minha vida;

À minha sogra dona Maria Mercedes de Oliveira Pontes, por todos os seus apoios e incentivos dados a minha pessoa;

À minha esposa Hellen Cristina Pontes da Rocha, por ter sido pai e mãe as nossas filhas durante as minhas ausências em família;

Aos amigos Anme Sampaio e Nikolai Espinoza que nas minhas ausências em sala de aula, por estar na escala de serviço de resgate no Corpo de Bombeiro, faziam as anotações e ainda me explicavam o conteúdo das aulas no dia seguinte, a exemplo deles não poderia esquecer o Paulo Moura e Luan Rogério;

Aos meus grandes amigos Raimundo Rocha, Rafael Barbosa, que sempre me ajudaram e me deram grandes incentivos e apoios, além de terem me proporcionado bastante alegria durante o curso;

Ao professor Rodrigo e professora Rita pela orientação e toda a ajuda que me foi dada durante o curso;

Aos demais professores do curso de Meteorologia da Universidade do Estado do Amazonas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cidade de Manaus com destaque os areroportos de Ponta Pelada e Eduardo Gomes. Fonte: Google Earth.	15
Figura 2. Precipitação acumulada mensal para AEG e APP em relação a climatologia da cidade de Manaus.	21
Figura 3. Frequência absoluta de precipitação mensal para as regiões do AEG e APP.....	26
Figura 4. Frequência horária da Precipitação para as regiões AEG e APP no período de 2009 a 2016.	30
Figura 5. Frequência de Precipitação sazonal para os anos de 2009-2016.	34
Figura 6. Frequência de Precipitação por classe para anos de 2009 a 2016.....	37

LISTA DE ABREVIACÕES

AB – Alta da Bolívia

AEG - Aeroporto Eduardo Gomes

AMJ – Abril, Maio e Junho

APP - Aeroporto Ponta Pelada

ENOS – El Niño Oscilação Sul

EST/UEA – Escola Superior de Tecnologia/ Universidade do Estado do Amazonas

IFAM – Instituto de Educação, Cincia e Tecnologia do Amazonas.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

JAS – Julho, Agosto e Setembro.

JFM – Janeiro, Fevereiro e Março.

LI – Linha de Instabilidade

LIC – Linha de Instabilidade Costeira

LIP – Linha de Instabilidade que se Propaga

OND – Outubro, Novembro e Dezembro.

ROL – Radiação de Onda Longa

TSM – Temperatura da Superfcie do Mar

UFAM – Universidade Federal do Amazonas

ZCA – Zona de Confluncia dos Alísios

ZCAS – Zonas de Convergncia do Atlântico Sul

ZCIT – Zona de Convergncia Intertropical

RESUMO

Este estudo buscou avaliar a frequência e intensidade da precipitação para duas regiões da cidade de Manaus – AM no período de 2009-2016. Para tanto utilizou-se dados de precipitação diário e mensal disponibilizados pelo INMET. As regiões de estudo foram o Arerporto Eduardo Gomes (AEG) e Aeroporto Ponta Pelada (APP) localizados na zona sul e noroeste da cidade de Manaus, respectivamente. Inicialmente, calculou-se o acumulado mensal de precipitação para as duas regiões, para cada ano separadamente, com intuito de comparar com a climatologia de Manaus. Em seguida foram calculadas a frequência mensal absoluta e a frequência horária dos eventos de precipitação, e a distribuição sazonal de frequências dos eventos de chuva em relação à sua intensidade. De modo geral, pode-se dizer que os acumulados mensais de precipitação para o AEG e APP seguiram a sazonalidade de precipitação da cidade de Manaus. No entanto, em alguns anos são observados valores abaixo ou acima da climatologia da cidade, possivelmente associados ao fenômeno El Niño-Oscilação Sul. No que diz a respeito à classificação por intensidade de chuva, nas duas regiões as maiores frequências ocorrem na categoria de precipitação muito fraca (0,2 - 1,6 mm) durante o trimestre de Janeiro, Fevereiro e Março (JFM). Eventos considerados extremos (> 18 mm) também ocorrem com maior frequência no período de JFM, porém com menores números de ocorrências. A frequência de precipitação mensal mostrou uma maior ocorrência de eventos no período chuvoso da Região Amazônica (dezembro a abril), com maiores valores no mês de abril, enquanto, o período de junho a novembro apresentou as menores ocorrências, com menores valores em setembro. Em relação, a frequência horária, o maior número de eventos ocorre no horário das 10:00h as 15:00h e picos secundários pela madrugada (00:00h), manhã (06:00h) e noite (18:00h) na maioria dos meses.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the frequency and intensity of precipitation for two regions of the city of Manaus - AM in the period 2009-2016. For this, precipitation data of two stations, the Eduardo Gomes Airport (AEG) and Ponta Pelada Airport (APP) located in the south and northwest of the city of Manaus were used. The methodology consisted of evaluating seasonal and diurnal variability of rainfall in terms of intensity and frequency. Initially, the monthly rainfall accumulation of the two regions was calculated for each year separately, in order to compare with the climate of Manaus. Then, monthly and daytime frequency of precipitation and the seasonal distribution of the insensitive of the rain events were calculated. In general, the total monthly precipitation for the AEG and APP followed the seasonal precipitation of the city of Manaus. However, in some years, values below or above monthly climatology are observed, possibly associated to interannual variability of the El Niño-Southern Oscillation phenomenon. Concerning the classification by rain intensity, in the two regions the highest frequencies occur in the very low precipitation category (0.2 - 1.6 mm) during the January, February and March (JFM) trimester. Events considered extreme (> 18 mm) also occur more frequently in the JFM period, but with smaller numbers of occurrences. The frequency of monthly rainfall showed a higher occurrence of events in the rainy season of the Amazon Region (December to April), with higher values in April, while that in period from June to November (dry season) shows the lowest occurrences, with lower values in September. In relation to the daytime frequency, the highest frequency occurs from 10-15 local time and secondary peaks occur by dawn (00 local time), morning (06 local time) and night (18 local time) on most months.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1 Objetivos	9
1.1.1 Objetivo Geral.....	9
1.1.2 Objetivos Específicos	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 Sistemas Precipitantes na Região Amazônica	10
2.2 Precipitação na cidade de Manaus	13
3. DADOS E MÉTODOS	15
3.1. Área de Estudo.....	15
3.1.1 Dados	15
3.1.2 Métodos	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	18
4.1 Acumulados de Precipitação Mensal	18
4.2 Distribuições de Frequência Absoluta da Precipitação.....	23
4.3 Distribuição de Frequência Horária da Precipitação	27
4.4 Frequências de Precipitação por Estação.....	32
5. CONCLUSÃO	38
6. REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

A Bacia Amazônica é a maior floresta tropical da Terra e possui uma grande variedade e diversidade biológica, contendo cerca de 30% de biomassa total do planeta. A floresta atua como regulador climático em escala global atuando como um importante regulador nos balanços hídrico e de energia (Marengo e Nobre, 2009), tornando-se assim vital na manutenção e equilíbrio do clima da região Amazônica. Essa região possui um clima equatorial quente úmido, com precipitação média anual de 2300 mm, temperaturas variam em torno de 24 a 28°C que estão associadas com a elevada evapotranspiração fazendo com que a floresta exerça uma influência sobre a precipitação e circulação regional.

A cidade de Manaus, capital do Amazonas, encontra-se no meio da maior bacia hidrográfica do globo, a Bacia Amazônica, e possui características climáticas similares. Manaus possui índices pluviométricos elevados ao longo do ano, com duas estações bem definidas, seca e chuvosa. De acordo com os dados climatológicos do INMET (2009), a cidade possui um total anual médio da precipitação de 2.307,4 mm, na qual o trimestre de fevereiro, março e abril apresentam um total de 40,6% da precipitação anual, sendo março o mês mais chuvoso (335,4 mm). Já no trimestre de julho, agosto e setembro a precipitação acumulada é de 206,4 mm, 8,9% do total anual, com o mês de agosto apresentando a menor climatologia mensal da precipitação da cidade (47,3 mm).

Este regime de precipitação é resultado dos sistemas meteorológicos atuantes em diferentes escalas de tempo e espaço. Na estação de verão a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) são os principais sistemas que influenciam a precipitação da região, enquanto que nos meses de inverno os sistemas de mesoescala como a Linha de Instabilidade (Kousky, 1980; Cohen et al., 1995) são mais influentes no regime de precipitação local. Localmente, alguns estudos sugerem a influência de sistemas de brisa fluvial, que se forma em decorrência do contraste térmico entre o rio e a floresta, afetam os índices de precipitação na cidade de Manaus mostrando totais pluviométricos menos expressivos em uma estação localizada em uma ilha do Rio Negro devido ao efeito de brisa fluvial (Molion e Dallarosa, 1990).

Estudos como de Aguiar (2017), Barbosa (2014) e Espinoza (2014) mostram que a cidade de Manaus possui uma grande variabilidade espaço-temporal de precipitação. Em termos sazonais, a maior frequência de eventos de chuva ocorrem nos meses de abril e os menores em agosto e setembro, concordando com a climatologia da região. Em relação ao ciclo

diário, a maior frequência de precipitação diária se concentra entre 09:00h e 15:00h. Segundo Tanaka et. al, 2014, os máximos de precipitação, no período da manhã e tarde, na área urbana de Manaus, podem ser explicados em termos da importância do aquecimento diurno à atividade convectiva. Dentro desse contexto, o estudo da distribuição da frequência e intensidade espacial e temporal da precipitação é relevante do ponto de vista social, econômico e ambiental (SCHOR, 2011), uma vez que sua compreensão é de extrema importância para o monitoramento dos desastres naturais que são de extremo risco a população. Assim, um melhor conhecimento da distribuição espacial e temporal da chuva para a cidade de Manaus pode servir de subsídios ao poder público municipal para um melhor planejamento na ocupação populacional nas zonas próximas aos aeroportos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é avaliar a distribuição de frequência e intensidade da chuva em duas regiões da cidade de Manaus. São elas: aeroportos Eduardo Gomes e Ponta Pelada.

1.1.2 Objetivos Específicos

Especificamente pretende-se:

- (i) Determinar e avaliar a frequência e intensidade de precipitação nos aeroportos Eduardo Gomes e Ponta Pelada;
- (ii) Identificar e analisar a diferença de frequência e intensidade entre os dois aeroportos.
- (iii) Avaliar a distribuição dos eventos de precipitação quanto ao horário de ocorrência nas regiões estudadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemas Precipitantes na Região Amazônica

A atuação de vários sistemas meteorológicos é considerada resultado do regime de precipitação na região da Amazônia, o qual se pode também relacionar com os efeitos de circulação de grande escala da atmosfera tais como: ZCIT, ZCAS e AB. As LI's consideradas sistemas de mesoescala e os sistemas de escala local como as brisas fluviais.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é definida como uma banda de nebulosidade, formada em uma zona de baixa pressão, situada na região equatorial e classificada como um fenômeno de escala sinótica. Devido à convergência dos ventos alísios vindos de nordeste e sudeste nesta região, o ar quente e úmido é forçado a subir, provocando uma intensa formação de nuvens cumuliformes e intensas chuvas convectivas (VIANELLO, 2001). Na região de formação da ZCIT, acontece a interação de vários sistemas, tais como, os sistemas de Zona de confluência dos Alísios de sudeste (SE) e de nordeste (NE) (ZCA), o Cavado Equatorial, a zona de máxima temperatura da superfície do mar (TSM), de máxima convergência e cobertura de nuvens convectivas, todos interagindo sobre a faixa equatorial dos oceanos (UVO, 1998). Desta forma a ZCIT pode ser identificada através de diferentes variáveis, como por exemplo, através da TSM estudada por Uvo (1989). A autora identificou que a ZCIT acompanha o deslocamento norte-sul da TSM, onde a banda de nebulosidade fica localizada bem próxima das anomalias positivas da TSM. Além dessas variáveis, a pressão ao nível médio do mar, a cobertura de nuvens, a radiação de onda longa (ROL) e a componente meridional do vento são utilizadas em muitos estudos para identificação da ZCIT. A posição da ZCIT muda dependendo da localidade analisada, tendo a maior variação sobre a Ásia, África e Austrália. Sobre a América do Sul, esta pode variar de 14°N, sendo essa sua posição mais ao norte, até 6°S em casos extremos. Cutrim et al., (2000) em seu estudo sobre as chuvas na Amazônia durante o século XX afirmam que, devido a posição mais ao sul da ZCIT, máximos de precipitação são observados sobre as áreas costeiras da Amazônia

Outra importante Zona de Convergência associada com eventos de chuva intensa e forte atividade convectiva são formadas no verão da América do Sul. Carvalho et al., (2004) definem essa banda de nebulosidade como Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), caracterizada como uma região de forte atividade convectiva que se estende da Amazônia até o sudeste do Brasil (Carvalho et al, 2004). Essa banda de nebulosidade e chuva está associada com um escoamento convergente de umidade na baixa troposfera e sua fase mais ativa e

intensa ocorre no verão do Hemisfério Sul (HS), dezembro, janeiro e fevereiro, (Carvalho e Jones, 2009).

A ZCAS sofre importantes variações espacial e temporal que geram mudanças no regime de chuva e na circulação, essas mudanças estão relacionadas com eventos extremos de precipitação que ocorrem na região Amazônica. Em relação à variabilidade espacial e intensidade, Carvalho et al., (2002) e (2004) mostram que sua intensidade é considerada independente de sua extensão, em outras palavras a ZCAS pode apresentar forte atividade convectiva sobre continente, sem que ocorra uma atividade convectiva sobre o oceano. Os autores sugerem que a variabilidade desse sistema (ZCAS) está possivelmente relacionada com fatores locais e remotos que ocorrem nos trópicos.

A Alta da Bolívia é um anticiclone (alta pressão) que forma-se na alta troposfera no verão do hemisfério sul centrado no platô boliviano (Gandu e Silva Dias, 1994). Essa circulação está associada com intensa liberação de calor latente que ocorre naquela região (Ferreira, 1998). Esse sistema atmosférico sofre grande variabilidade na sua posição e intensidade, entre o inverno e o verão, modificando-se de um padrão de circulação zonal para meridional. A Alta da Bolívia estabelece seu centro no Altiplano Boliviano durante o verão e desloca-se para dentro do continente. Durante o outono, o anticiclone desloca-se em direção ao Oceano Atlântico, diminuindo sua intensidade no inverno e ressurgindo na primavera sobre o centro na Amazônia. Molion (1987) mostra que na estação de inverno a Alta da Bolívia está mais enfraquecida e posiciona-se sobre o norte sul e leste da Amazônia, enquanto em outubro a Alta retorna para sua posição média de verão.

As linhas de instabilidade (LI) são organizações convectivas de mesoescala, na qual as células convectivas apresentam-se contínuas ou aproximadamente contínuas. Não há classificação rigorosa sobre o tamanho das LIs. Segundo Molion (1987) as LIs podem atingir comprimentos maiores que 1000 km. Originam-se em latitudes médias e tropicais, podendo estar associadas a sistemas frontais e células convectivas.

As LIs na Amazônia foram estudadas por Cohen (1989), a fim de identificar os mecanismos que determinam seu deslocamento, para o período de 1979 a 1986, utilizando imagens do satélite GOES-W e GOES-E. Para isso, a autora classificou em duas as LIs que se propagam na costa norte-nordeste da América do Sul: Linhas de instabilidade que se propagam (LIP) e Linhas de instabilidade Costeira (LIC). Notou-se que a formação das LIs ocorre preferencialmente no período da tarde, devido ao fenômeno de brisa marítima. Em geral, esses sistemas têm maior frequência nos meses de abril a agosto. Durante todo o período estudado foram verificadas 268 LIs, sendo 62% LIC (com máximo em julho) e 38%

LIP. Sobre a extensão verificou-se, em média, 1400 km de comprimento por 170 km de largura.

Alcântara (2011) fez um estudo de caso da linha de instabilidade ocorrida no dia 21 de julho de 2001 na Amazônia através de alguns dados observacionais adquiridos do experimento CIRSAN/LBA, imagens do satélite GOES-8 e através de simulações numéricas. A intensificação da LI ocorreu durante o início da tarde e o estágio de dissipação no início da noite, quando as nuvens convectivas tornaram-se mais irregulares e menores. Através das análises das condições de grande escala, foi observado que a ZCIT estava deslocada mais para norte (como é esperado para essa época do ano). Sobre a região norte do Brasil identificou-se uma circulação anticiclônica em 250 hPa e ciclônica sobre o Atlântico Sul, além da presença de um jato subtropical intenso. Ferreira et al, (2004) afirmam que a existência desses sistemas promove divergência em altos níveis na região Amazônica, favorecendo as chuvas nessa região.

Em termos de variabilidade, na escala de tempo interanual, o El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um importante sistema acoplado oceano-atmosfera que atua na modulação da precipitação na região norte. Esse sistema produz alterações no comportamento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e mudança nos padrões dos ventos na região do Pacífico Equatorial. O ENOS é caracterizado por fase quente e uma fase fria. A fase quente (fria) ocorre quando a região do Pacífico Leste possui águas mais quentes (frias) que o normal e é denominado de El Niño (La Niña). Kousky et al., (1984) mostra que o fenômeno El Niño ocorre devido o aquecimento anormal das águas superficiais do Pacífico associado com enfraquecimento dos ventos alísios que escoam de leste para oeste na região equatorial, tem duração de 12 a 18 meses e atinge sua máxima intensidade no período de dezembro a janeiro. A La Niña tem comportamento oposto ao El Niño, com anomalias negativas de TSM e há intensificação dos ventos alísios.

Em relação aos efeitos regionais do ENOS, durante anos de El Niño (La Niña) são observadas escassez (aumento) de chuvas sobre a parte central e leste da Amazônia, incluindo a cidade de Manaus (Andreoli et al. 2012). Desta forma a variabilidade interanual associada ao ENOS no Pacífico tem importante contribuição para variabilidade de precipitação no norte da América do Sul.

2.2 Precipitação na cidade de Manaus

A cidade de Manaus possui elevados índices pluviométricos ao longo do ano, possui um período seco e outro chuvoso bem caracterizado. Os índices pluviométricos geralmente são mais relevantes entre o período de novembro e maio, no qual precipita cerca de 80% do total anual. Fatores como a floresta no entorno da cidade, urbanização e vento predominante influenciam a sua distribuição (Tanaka et al., 2014). De acordo com a climatologia do INMET (2009) o regime total de precipitação na cidade de Manaus é de 2307,4 mm, sendo mais elevada no trimestre fevereiro, março e abril, quando totaliza aproximadamente 40,6% da precipitação anual, sendo março o mês mais chuvoso do período com 335,4 mm. O trimestre de julho, agosto e setembro é caracterizado como período seco onde a precipitação acumulada é de 206,4 mm, ou seja, 8,9% do total anual, tendo o mês de agosto como o menor acumulado climatológico mensal de precipitação para Manaus (47,3 mm). Figueira e Silva (2011) mostram que, em termos de precipitação local, as chuvas convectivas intensas de curta duração podem acontecer devido ao calor, umidade e divergência, podendo ser atribuídas também à atuação de brisas fluviais. Segundo Molion e Dallarosa (1990), as brisas fluviais foram apontadas como sendo responsável pelo menor índice pluviométrico anual em uma ilha localizada no rio Negro nas proximidades de Manaus e redução da precipitação à medida que se afasta do Rio Negro em direção Manaus. A brisa fluvial é uma pequena circulação provocada pelo contraste térmico entre o rio e áreas adjacentes, fazendo com que haja o transporte do vapor d'água pela cidade adentro impedindo a precipitação nas zonas da orla da cidade como na zona Sul. Oliveira e Fitzjarrald (1993) mostram que a brisa fluvial na Amazônia forma-se nos baixos níveis (até 1500-2000m), com sentido floresta/rio durante a noite e início da manhã, revertendo o sentido (rio/floresta) durante a tarde e início da noite.

Baseando-se em dados pluviométricos, o estudo de Espinoza (2014) teve como objetivo classificar os eventos de precipitação registrados na estação meteorológica da UEA/EST localizada em Manaus, durante o período de abril de 2010 a setembro de 2014, totalizando 1630 eventos. Esses eventos foram identificados de acordo com os horários no qual ocorreram, ou seja, madrugada, manhã, tarde e noite e também de acordo com a intensidade. Em termos de intensidade, os eventos foram classificados usando o método de percentis e classificados em: muito fraco, fraco, moderado, forte, muito forte e extremo. Seus resultados mostram que a precipitação mensal e anual teve o mesmo padrão do regime climatológico da região, com apenas um máximo para o trimestre considerado chuvoso e mínimo no trimestre caracterizado como seco. Para classificação horária dos 1630 eventos de

precipitação, 578 ocorreram à tarde, 514 pela manhã, 296 durante a madrugada e 242 no período noturno. Em relação à intensidade, 91% dos eventos foram de intensidades muito fracas, fracas e moderadas, com os 9% restantes para eventos mais intensos. Seus resultados mostram ainda que, grande parte dos eventos observados durante o período diurno foram mais frequente entre os horários de 10 as 16 h.

Nesse mesmo contexto, Aguiar (2017) analisou a variabilidade espaço-temporal da precipitação e da temperatura no campus da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e no seu entorno. O estudo envolveu uma rede cidadã de coleta de dados de chuva, a partir da instalação de pluviômetros artesanais e uma estação meteorológica instalada no interior do Campus da UFAM. O período de dados coletado foi para o ano de 2016, obtidos assim 8 meses de dados (abril a novembro). Estações meteorológicas em outras regiões da cidade também foram utilizadas, com intuito de compreender a variabilidade espacial da precipitação e temperatura do ar em diferentes partes da cidade. Duas estações fazem parte do Projeto REMCLAM/FINEP e estão situadas no Campus Leste do Instituto Federal do Amazonas – IFAM e na área da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas – EST/UEA. A estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instalada na sede do instituto em Manaus e a quarta estação se encontra instalada na torre do Km 34 da estrada ZF-02 (rodovia BR-174).

Os resultados de Aguiar (2017) mostram que a precipitação para a região estudada possui uma marcante variabilidade espaço-temporal. Em relação ao acumulado de precipitação, o maior total acumulado de chuva foi observado na estação da EST/UEA e na K34 e o menor total acumulado na UFAM. A UFAM apresentou números de dias com chuva muito similar ao verificado nas estações INMET e EST/UEA. A estação da K34 mostrou-se valores de acumulado mensal de precipitação acima da climatologia em praticamente todos os meses e uma possível explicação é que a mesma encontra-se em uma região vegetada, tendo assim maior contribuição da floresta (evapotranspiração) na sua precipitação. Para todas as estações verificou-se que o mês de maior (menor) números dias com chuva foi abril (agosto).

Para frequência de precipitação ao longo do dia as estações K34 e EST/UEA tiveram os maiores totais acumulados, sendo que no conjunto das estações (com exceção da K34) os maiores totais de chuva concentraram entre às 09:00h e 12:00h. A K34 obteve seus maiores totais acumulados entre às 13:00h e 17:00h. Em termos de precipitação diária, o mês de agosto (abril) possuiu os menores (maiores) ocorrências de chuva.

3. DADOS E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

Para esse estudo foram analisados dados de precipitação registrado por meio de estações meteorológicas automáticas situadas nas dependências dos aeroportos de Ponta Pelada e Eduardo Gomes, ambos localizados respectivamente na zona sul e noroeste da cidade de Manaus. A Figura 1 ilustra a localização dos aeroportos.



Figura 1. Cidade de Manaus com destaque os aeroportos de Ponta Pelada e Eduardo Gomes. Fonte: *Google Earth*.

3.1.1 Dados

Foram utilizados dados diários de precipitação para estações meteorológicas do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes (AEG) e do Aeroporto de Ponta Pelada (APP) estão localizadas nas latitudes de -3.02 e longitude de -60.03 e latitudes de -3.13 e longitude de -59.97, respectivamente. O período de estudo se concentrou entre os anos de 2009 a 2016 para as duas regiões e são disponibilizados nos horários de 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 e 21 horas. Os

dados estão disponíveis no site do CPTEC/INPE e podem ser acessados em: <http://bancodedados.cptec.inpe.br/tabelaestacoes/faces/consultacidade.jsp>.

3.1.2 Métodos

A partir dos dados obtidos, inicialmente, foram realizados os cálculos da precipitação acumulada mensal, considerando os oito anos (2009-2016) de dados separadamente, para as duas regiões, com intuito de avaliar o ciclo anual mensal comparando-o com a climatologia de precipitação da cidade de Manaus. Em seguida foram obtidas as frequências em relação ao horário de ocorrência, a distribuição sazonal e a intensidade dos eventos.

Com objetivo de verificar exatamente a quantidade de vezes de ocorrência de chuva em um determinado mês e ano, calculou-se a frequência absoluta da seguinte maneira: para ambas as regiões contabilizou-se como evento de chuva aquele em que a precipitação acumulada for maior ou igual a 0,1 mm. Para cada mês e ano a frequência mensal foi obtida através da somatória do número de eventos encontrados para cada dia durante o mês. Em seguida fez-se o cálculo da frequência relativa da precipitação, sendo esta feita como a razão entre a frequência absoluta e o número total de observações para cada mês. Por outro lado, a frequência horária absoluta anual foi obtida através da somatória do número de eventos encontrados para cada horário considerando todos os meses do ano.

A distribuição de frequência de precipitação em relação à sua intensidade foi feita utilizando a classificação de eventos obtida por Espinoza (2014) em: muito fraco, fraco, moderado, forte, muito forte e extremo conforme Tabela 1. Com base nessa classificação as distribuições de frequências foram obtidas, considerando o número de eventos de chuva distribuídos em cada classe, para os trimestres de Janeiro, Fevereiro e Março (JFM), Abril, Maio e Junho (AMJ), Julho, Agosto e Setembro (JAS) e Outubro, Novembro e Dezembro (OND), para o período de 2009 a 2016.

Tabela 1. Classificação dos eventos de chuva estabelecida para estação meteorológica da EST/UEA a partir da técnica dos percentis.

Precipitação (mm)	Classificação
0,2 – 1,6	Muito Fraco
1,8 – 4,0	Fraco
4,2 – 8,4	Moderado
8,6 – 12,8	Forte
13,0 – 18,3	Muito Forte
>18,3	Extremo

Fonte: *Espinoza (2014)*

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Acumulados de Precipitação Mensal

A Figura 2 apresenta o acumulado mensal de precipitação para os aeroportos Eduardo Gomes (AEG) e Ponta Pelada (APP) e a climatologia para cidade de Manaus, para os anos de 2009 a 2016. De forma geral, se observa a variação sazonal da precipitação, com os máximos no período de dezembro a maio (estação chuvosa) e os mínimos de junho a setembro (estação seca). No entanto alguns anos valores acima e abaixo da média mensal indicam variabilidade interanual da precipitação nas regiões.

Para o ano de 2009 (Figura 2a) o máximo (mínimo) acumulado mensal de precipitação na estação AEG foi verificado em janeiro (agosto) quando foram registrados 426,2 (47,0) mm na estação AEG. Nesse caso o valor é de 162,2 (35,8) mm acima (abaixo) da climatologia local para o referido mês. Para o APP o máximo (mínimo) de precipitação foi registrado no mês FEV (SET) com acumulado em torno de 284 (0,1) mm, valores considerado abaixo da climatologia mensal que a 290 mm para o mês de FEV e 74,0 para o mês SET.

Em 2010 (Figura 2b) ambos os aeroportos apresentaram acumulados mensal de precipitação abaixo da média climatológica em praticamente todos os meses com exceção do mês de DEZ no qual foram registados acumulados de 335,2 mm no APP e 275,2 mm no AEG. O menor valor de precipitação foi de 19 mm registrado no mês de AGO no APP e 40,2 mm no AEG.

No ano de 2011 (Figura 2c), foi possível observar maiores acumulados de precipitação durante a estação chuvosa em comparação aos anos anteriores, onde o maior (menor) valor acumulado de precipitação para o AEG foi registrado no mês de ABR (JUL) apresentando 674,1 mm (22,4 mm) que corresponde à cerca de 363 mm (62,6 mm) acima (abaixo) da media climatológica. Para o APP o maior (menor) valor foi registrado no mês de FEV (JUL) com aproximadamente 451 mm (3 mm), equivalente a 161,6 mm (82 mm) acima (abaixo) da média. Os altos valores de precipitação acima da média possivelmente devem estar associados ao evento de La Nina que se caracterizou durante o ano de 2010-2011.

Em 2012 (Figura 2d) a precipitação sobre o AEG ficou acima da climatologia durante quase todo o ano. O mês de JAN teve maior precipitação do ano com aproximadamente 583,6 mm. Os menores valores de precipitação para o mesmo aeroporto ocorreram em AGO com 62,3 mm, cerca de 15,3 mm acima da média climatológica. O inverso pode ser observado no APP onde se notou a maioria dos meses esteve abaixo da climatologia com exceção de DEZ

que ultrapassou a média climatológica com precipitação acumulada de, aproximadamente 288,6 mm, e o menor valor de precipitação para o mesmo aeroporto foi registrado em OUT com aproximadamente 41,1 mm.

No ano de 2013 no AEG foi observado acumulado de precipitação acima da média para grande parte do período anual, com maior valor acumulado em torno de 658,1 mm no mês de FEV e menor valor acumulado no mês de JUN com aproximadamente 112,9 mm. Para o APP durante o primeiro semestre foi observada precipitação acumulada acima da média, o maior valor de precipitação foi registrado em FEV com cerca de 377 mm e o menor foi registrado no mês de AGO com 4,1 mm como pode ser observado na Figura 2e.

Em 2014 (Figura 2f) a precipitação no AEG apresentou acumulado máximo de precipitação no mês de MAR com valor acima de 700 mm e menor precipitação no mês de SET com 38,4 mm. Vale ressaltar os meses de JUN, JUL e AGO nos quais os valores de precipitação ficaram bem acima da média climatológica, fato não comum para a estação do ano. Para o APP a precipitação se manteve dentro da variação sazonal esperada para o ano, apresentando acumulado máximo e acima da climatologia de precipitação no mês de MAR com 444,4 mm e menor valor acumulado em AGO com 60,6 mm de precipitação.

De acordo com os dados a precipitação no ano de 2015 (Figura 2g) para ambos os aeroportos, esse ano ficou caracterizado por um ano anômalo, onde para o AEG houve um déficit muito grande de precipitação durante os meses de FEV, MAR e ABR, tendo o mês de MAI com maior precipitação em torno de 298 mm e SET com menor valor de precipitação com valor de 6 mm. O APP apresentou a mesma variação de precipitação em relação ao EG, com maior valor de precipitação no mês de NOV com 337 mm e menor em SET em torno de 2 mm.

Para o ano de 2016 (Figura 2h) a precipitação sobre o AEG segue a variação sazonal conforme o esperado na climatologia, porém com alguns meses acima da média climatológica tendo MAR como o mês mais chuvoso apresentando valor de 442 mm e menor em JUL com valor de 100 mm. Para o APP o mês de FEV teve maior precipitação acumulada 239 mm considerado abaixo da climatologia. Os demais meses ficaram comprometidos devido à ausência de dados.

De forma geral, é possível constatar em relação ao ciclo anual, que a estação chuvosa é mais longa em relação à estação seca. Além disso, durante a estação chuvosa ocorre em média cerca de 73,3% da precipitação total, por outro lado a estação seca representa cerca de 13,9 % de toda precipitação anual para a cidade de Manaus. Os 13,8% restantes foram considerados precipitação durante os períodos de transição.

Em relação à variabilidade interanual, por exemplo, o ano de 2009-2010 foi caracterizado por um ano de El Niño o que proporcionando valores de precipitação abaixo da média durante a estação chuvosa de 2010. Por outro lado, nos anos de 2010-2011 e 2011-2012 ocorreu um forte evento de La Niña ocasionando precipitação acima da média durante a estação chuvosa em ambas as estações. Esses resultados são consistentes com resultados de estudos anteriores que mostra que, eventos El Niño coincidem com redução da precipitação, especialmente nas regiões norte e central da Amazônia, enquanto anomalias opostas ocorrem durante eventos de La Niña (Andreoli et. al, 2012).

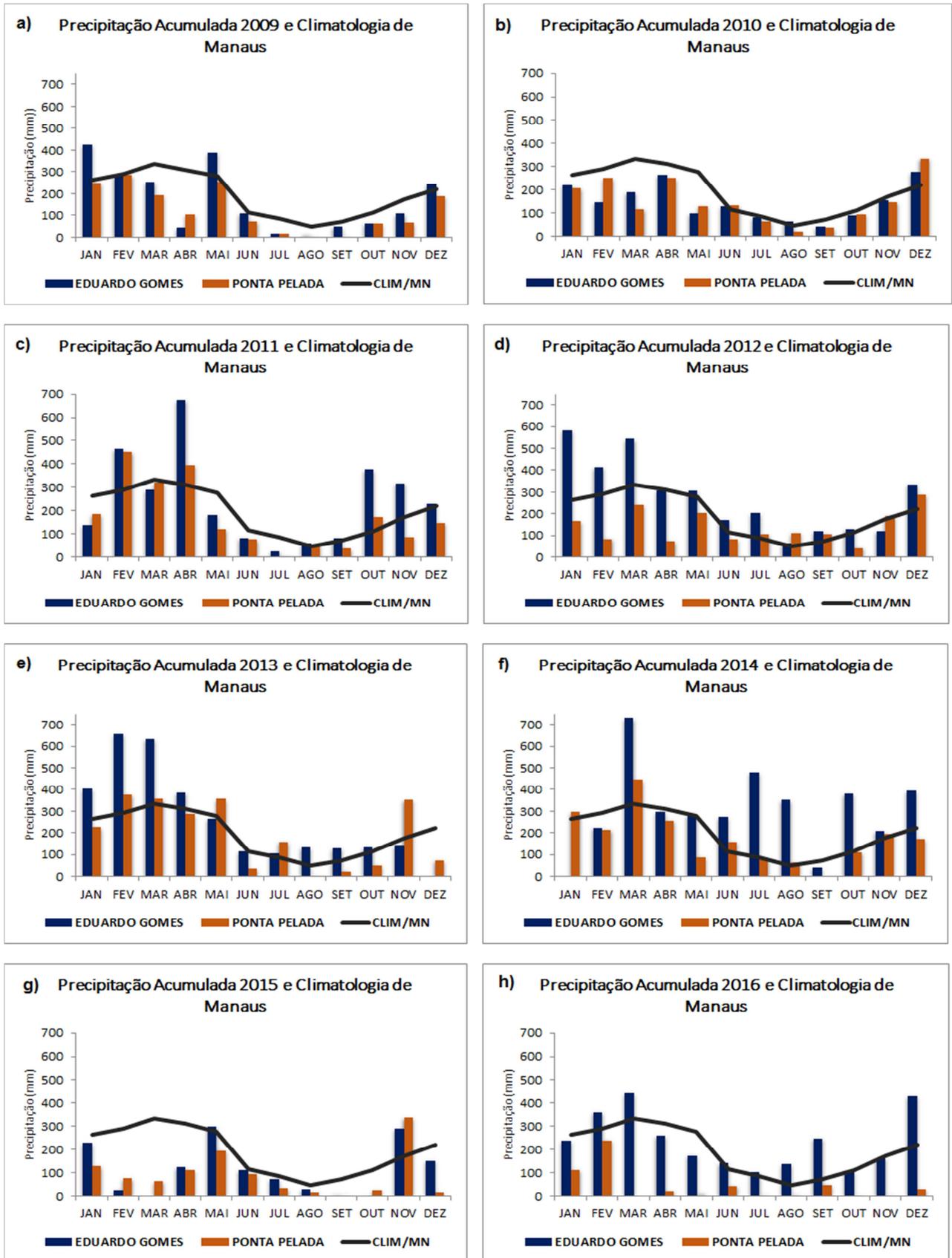


Figura 2. Precipitação acumulada mensal para AEG e APP em relação a climatologia da cidade de Manaus.

De forma geral, foi possível observar que o acumulado de precipitação anual seguiu a sazonalidade esperada para a cidade de Manaus. Ainda, as análises permitiram identificar a variabilidade interanual da precipitação. O ano de 2010 foi marcado pela precipitação abaixo da média climatológica para ambos os aeroportos, possivelmente associado com evento de El Niño que comprometeu o regime de precipitação nesse mesmo ano. O trimestre mais chuvoso (JFM) para os anos de 2011, 2012 e 2013 apresentaram precipitação acima da média climatológica, o que está relacionado ao evento de La Niña nos anos de 2011 e 2012. Consistente com esses resultados, estudos anteriores mostram que eventos El Niño coincidem com redução da precipitação, especialmente nas regiões norte e central da bacia Amazônica, enquanto que um aumento da precipitação ocorre durante eventos de La Niña (Andreoli et. Al, 2012).

4.2 Distribuições de Frequência Absoluta da Precipitação

A Figura 3 apresenta a distribuição da frequência absoluta mensal da precipitação para as regiões AEG e APP. A frequência absoluta da precipitação mensal foi calculada para os anos de 2009-2016 e determinam o número de vezes que ocorreu chuva com valores maiores ou iguais a 0.1mm, em ambas as regiões.

Para o ano de 2009, as distribuições para as estações AEG e APP possuem um comportamento similar ao longo do ano. Os menores valores de ocorrência de precipitação ocorrem nos meses de julho a novembro, com valores entre 0-10 eventos/mês, enquanto nos meses de dezembro a junho se observam os maiores valores de ocorrência (10-20 eventos/mês). Entre abril e junho ocorrem as maiores quantidades de casos de precipitação, chegando acima de 30 eventos/mês em maio, para as duas regiões. Nota-se que o APP possui maior número de casos em comparação com o AEG, como por exemplo, no mês de maio quando ocorreram aproximadamente 40 eventos no APP e 38 eventos no AEG.

No ano de 2010, os eventos variam de 5-20 casos por mês para as regiões AEG e APP. Os menores casos ocorrem de julho a setembro (abaixo de 10 eventos/mês) e os maiores de novembro a maio (acima de 10 eventos/mês). Já o ano de 2011 possuiu uma frequência de eventos de chuva entre 3-39 eventos/mês aproximadamente. Os meses que apresentaram abaixo de 20 eventos/mês foram de junho a setembro, os outros meses possuíram eventos de chuva acima de 20 por mês. Em geral, as duas regiões apresentaram um comportamento similar ao longo do ano, porém o AEG possuiu uma diferença nos casos de chuva nos meses de agosto a novembro. Em setembro no AEG a quantidade evento de chuva chegou a 13 enquanto no APP teve 05 casos aproximadamente.

Os anos de 2012 e 2013, de maneira geral, possuem um comportamento similar durante o ano com maiores quantidades de eventos de precipitação em dezembro a abril e menores de maio a outubro. Para o ano de 2012, as duas regiões apresentaram o mesmo perfil durante o ano, porém o AEG mostra valores acima do APP. Entre junho e setembro os evento/mês ficaram acima dos 20, exceto setembro, para o AEG. O APP teve nesse período abaixo de 20 evento/mês. Os meses de janeiro e março possuíram as maiores quantidades de casos para as duas regiões, o AEG teve em torno de 70 eventos/mês nos dois meses, já no APP possui em janeiro casos acima de 40 e em março 35. Enquanto, o ano de 2013 possui ocorrência de casos de no mínimo 0 e no máximo 62 eventos/mês. As menores quantidades de casos ocorreram no período junho a dezembro, enquanto a maior quantidade de casos ocorreu nos meses de janeiro a abril para as duas regiões. O AEG apresentou suas maiores

quantidades de casos de chuva em março (62 evento/mês), por sua vez o menor caso ocorreu em dezembro com 0 eventos/mês. Possivelmente esse valor está associado à ausência nos dados obtidos, uma vez que o mês de dezembro faz parte do período chuvoso da cidade de Manaus. O APP possui a máxima quantidade de eventos de chuva em março, em torno de 58 evento/mês, e o mínimo em junho e agosto com eventos de chuva abaixo de 20 evento/mês.

O ano de 2014 possui um padrão semelhante com os anos anteriores, com máximas quantidades de eventos no período de dezembro a maio e menores no período de junho a outubro. O AEG possui maiores quantidades de eventos de chuva em meados de maio (60 eventos/mês), e as menores quantidades de eventos ocorrem no mês de setembro (7 evento/mês). O APP apresentou suas maiores quantidades de casos em março e abril (55 eventos/mês), enquanto a menor quantidade ocorreu em setembro, próximo de 0 caso/mês. As duas regiões de estudo mostraram um pico de quantidades altas de eventos de chuva em outubro, não observado nos outros anos, acima de 40 eventos/mês.

Para 2015, os eventos de chuvas não ultrapassaram 40 eventos/mês e o mínimo de eventos chegou a 0 eventos/mês. Ambas as regiões possuem um comportamento muito similar ao longo do ano, com máximas (mínimas) quantidades de abril a junho (agosto a outubro). O AEG possui valores levemente maiores que o APP no mês de maio, sua máxima quantidade de caso chega próximo dos 40 eventos/mês, enquanto o APP fica abaixo desse valor, por outro lado em outubro o APP possui valores de eventos de chuva maiores que o AEG, seis casos a mais.

O ano de 2016 mostrou um comportamento no perfil de distribuição de eventos por mês diferente dos outros anos. O AEG tem quantidades maiores de eventos em fevereiro-abril, praticamente a mesma quantidade de eventos (acima de 40 eventos/mês) e mínimas em julho (em torno de 11 eventos/mês). O APP mostrou suas maiores quantidades de precipitação por mês de dezembro a fevereiro, não passando de 20 eventos/mês, enquanto os mínimos ocorrem de abril a agosto, abaixo de 5 eventos/mês. Diferente de outros anos, setembro não foi o ano com menor caso/mês, os mínimos se concentraram em outubro e novembro, 2 eventos/mês.

Esses resultados mostram que, todos os anos apresentam um comportamento similar para a frequência absoluta da precipitação ao longo do ano. As maiores quantidades de eventos/mês ocorrem nos períodos de dezembro a abril, período chuvoso da cidade de Manaus e os menores de junho a novembro, associado ao período de escassez de precipitação da região. O mês com maiores casos ocorrem em abril e o menor em setembro, que corresponde aos meses mais chuvosos e secos, respectivamente. Outro fator é que ambas as

regiões possuem um perfil similar ao longo do ano, exceto 2016, porém o AEG mostrou maiores valores de eventos, na maioria dos anos, comparado com o APP. Assim, pode-se dizer que os números de eventos de precipitação estão relacionados com as quantidades de chuvas, ou seja, os números de eventos influenciam na quantidade de chuva em todas as estações.

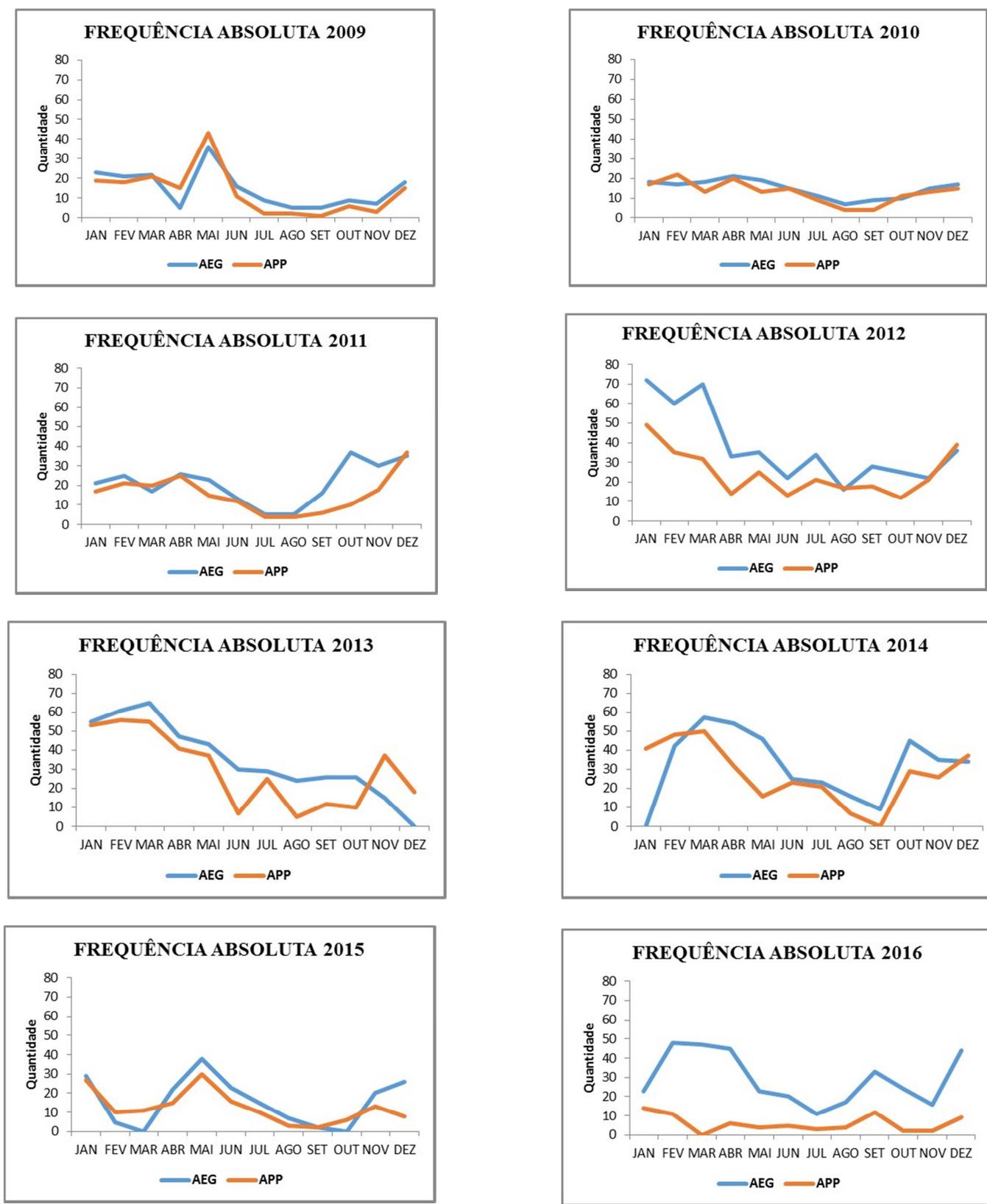


Figura 3. Frequência absoluta de precipitação mensal para as regiões do AEG e APP.

Assim, em relação à frequência mensal absoluta os maiores (menores) número de eventos de precipitação mensal ocorreram no período chuvoso (seco) da cidade de Manaus para as duas regiões de estudo, AEG e APP. Esse comportamento da frequência de precipitação é consistente com o estudo de Tanaka et al, (2014) e está relacionado com a quantidade de chuva, ou seja, maior (menor) frequência de eventos de precipitação ocorrem durante a estação chuvosa (seca). Os meses com maiores extremos de eventos de chuva foram os de abril (setembro) com maior (menor) casos respectivamente. Assim, a frequência de precipitação na cidade de Manaus varia com a estação do ano. O ciclo sazonal no transporte de umidade e da radiação solar incidente na superfície determina as estações chuvosa e seca que estão ligados aos maiores (menores) eventos de precipitação mensal.

4.3 Distribuição de Frequência Horária da Precipitação

As distribuições de frequência horária de precipitação para as regiões do AEG e APP são mostradas na Figura 4. A frequência relativa foi realizada para todo o período de estudo (2009-2016) e é mostrada no horário local da cidade de Manaus.

Os gráficos para todos os anos mostram a maior frequência de chuva no horário entre as 10:00h e 14:00h local. Esse padrão está associado às características climatológicas da cidade, na qual a maior incidência de radiação solar concentra-se nesse horário. O maior pico de ocorrência de chuva ocorre as 12:00h para todos os anos observados. Também nota-se que ocorre maior frequência para o AEG, principalmente no pico máximo dos eventos (12:00h).

Os anos de 2009 e 2010 mostram um comportamento muito similar para as duas regiões de estudo. O horário entre 09:00 até 15:00h mostram as maiores frequências do ano, a região do AEG possui até 160 eventos as 12:00h, enquanto o APP mostra em torno de 140 eventos para o mesmo horário. Entre 00:00h e 09:00h a ocorrência de eventos é praticamente zero. No ano de 2009 observou-se no horário das 18:00h ocorrência de eventos para as duas regiões. O ano de 2011 é muito similar ao comportamento dos anos de 2009 e 2010, suas ocorrências de eventos no horário das 12:00h chega próximo de 200 casos para o AEG e 150 para o APP. Esse ano também mostra um pico de eventos as 18:00h, acima de 10 aproximadamente.

Para os anos de 2012 a 2015, observou as maiores quantidades de eventos as 12:00h, porém esses anos mostram outros picos secundários em outros horários do dia. Para a região do AEG a quantidade de eventos varia entre 100 a 180 eventos as 12:00h, já o APP possui uma quantidade na faixa de 90 a 150 eventos. Em todos os anos, um pico secundário bem pronunciado de chuva é observado no horário das 15:00h as 19:00h, em relação aos anos anteriores. Os anos de 2012 até 2014 mostram valores acima de 100 eventos para o AEG e o APP possui seus valores na faixa dos 80 eventos, com picos máximos as 18:00h. Um terceiro pico é observado as 00:00h, com eventos que chegam 100 para os anos de 2012 e 2014 da região do AEG, enquanto o APP fica em torno de 60. O ano de 2015 também possui esse terceiro pico, porém com menor quantidade de caso, para o AEG (APP) os eventos estão acima (abaixo) de 20. Por fim, no horário das 03:00h as 08:00h observa-se ocorrências de chuva para os anos de 2012, 2013 e 2014, não observados nos outros anos. Os anos de 2012 a 2014 mostram valores entre 20 a 40 eventos no horário das 06:00h para as duas regiões. No ano de 2015, esses eventos são em menores quantidades não chegando a 10 para as duas regiões.

Diferente dos outros anos analisados, o ano de 2016 apresentou comportamentos distintos para AEG e APP. O AEG possui no horário das 12:00h quantidades de eventos acima de 160, enquanto o APP mostra 40 eventos no mesmo horário, diferença essa não observada nos anos anteriores. Ainda, o ano de 2016 possui dois picos em horários diferentes, os mesmos observados nos anos de 2012 a 2015. Para o AEG observa-se quantidades de eventos acima de 80 as 18:00h e 00:00h, também as 06:00h em torno de 20 eventos. O APP possui 20 eventos as 18:00, porém as 06:00h e 00:00 fica abaixo dos 10 eventos.

De modo geral, todos os anos analisados mostraram-se um comportamento similar no que diz a respeito a distribuição de frequência horária. A maior frequência de ocorrência de precipitação ocorre entre as 09:00 a 12:00h, horário local, chegando até 180 eventos/ano as 12:00h. Os anos de 2012 a 2016 mostram picos de quantidades de chuva diferentes dos anos de 2009-2011, estes possuem quantidades de eventos significativo as 00:00h, 06:00h e 18:00h e os eventos ultrapassam 100 por ano. Os comportamentos de chuva nesses horários são muito similares para as regiões do AEG e APP, exceto o ano de 2016. Esse ano, 2016, mostrou diferença de quantidade expressiva para as duas regiões, o AEG possui os maiores valores (160 eventos/ano) para o horário de 12:00h, enquanto o APP chegou aos 40 eventos/ano.

A maior ocorrência de casos de chuva horária no período de 09:00h a 12:00 para as duas regiões é consistente com o estudo de Tanaka (2014) que analisou a variabilidade diurna da intensidade e frequência da precipitação para a região da Amazônia Central. O estudo foi realizado para um período de seis anos (2006-2011), em quatro regiões da cidade da Amazônia Central, nas proximidades da cidade de Manaus. A autora encontrou as maiores frequências dos eventos durante os horários da manhã e tarde, o que pode ser explicado em termos da importância do aquecimento diurno à atividade convectiva. No estudo de Tanaka et al, 2014, as quatro regiões estudadas (duas na região urbana de Manaus e dois em regiões de floresta) apresentaram uma maior frequência dos eventos ocorrentes durante o período da tarde, e menor frequência durante a noite e madrugada similar ao encontrado nesse estudo com maiores quantidades de eventos ocorridos as 12:00H e com picos secundários as 00:00H, 06:00H e as 18:00H. Os picos secundários pela manhã e madrugada pode estar associada com uma possível convergência de umidade devido ao efeito de circulação local (brisa fluvial e brisa terrestre).

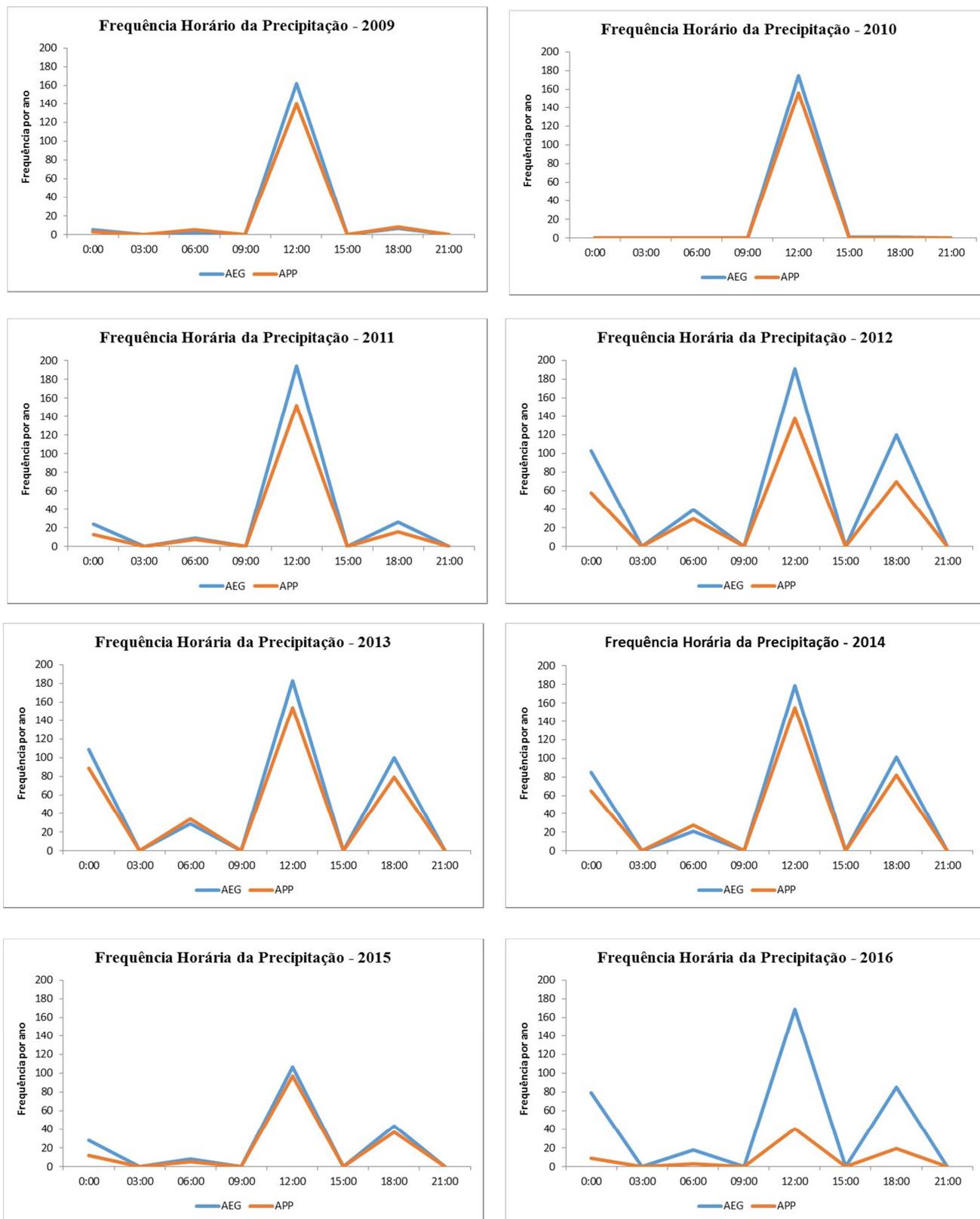


Figura 4. Frequência horária da Precipitação para as regiões AEG e APP no período de 2009 a 2016.

Em relação à distribuição horária da frequência da precipitação, as regiões do AEG e APP apresentaram o comportamento similar. A frequência dos eventos é maior durante os horários da manhã e tarde (09:00h a 12:00h) e está possivelmente associado a importância do aquecimento diurno à atividade convectiva (Tanaka, 2014). Também foi observado picos significativos de eventos de chuva nos horários da madrugada (00:00H), manhã (06:00h) e pela noite (18:00h). Os eventos de chuva no período da madrugada e manhã possivelmente podem estar associados à circulação local que ocasionam formação de nuvens através da convergência de umidade. É importante descartar que os eventos de precipitação do APP pela manhã e madrugada possivelmente sofre influência da brisa fluvial, uma vez que está localizado adjacente ao rio Negro.

4.4 Frequências de Precipitação por Estação

Nesta secção são apresentadas as frequências de precipitação em relação à sua intensidade durante os trimestres JFM, AMJ, JAS e OND para os aeroportos de Ponta Pelada (APP) e Eduardo Gomes (AEG) (Figuras 5 e 6). Os resultados mostram que para o ano de 2009 no AEG o trimestre JFM teve maior frequência de precipitação em praticamente em todas as classes de precipitação, exceto no intervalo 0,2|-- 1,6 classificadas como “muito fraco” no qual predominou o trimestre AMJ. Para as classes de precipitação classificadas como “extremo” verificou-se que houve maior frequência de precipitação durante os trimestres JFM e AMJ considerados como período chuvoso e de transição da região. Vale ressaltar que no trimestre JAS foi observada maior frequência nas classes de precipitação (mm) muito fraco (0,2|-- 1,6), fraco (1,8|-- 4,0) e extremo (>18,3) com frequência em média abaixo de 10 dias de precipitação devido ao fato desse trimestre ser considerado como período seco da região, ou seja, período com maior déficit de precipitação. O APP apresentou um padrão semelhante ao AEG, porém com uma frequência de precipitação menor. O trimestre AMJ manteve maior frequência de precipitação nas classes muito fraco e fraco, enquanto as menores frequências foram observadas no trimestre JAS com menos de cinco dias de precipitação em todas as classes, deixando claro que durante esse ano o regime de precipitação foi maior no AEG em relação ao APP.

Para o ano de 2010 as frequências de precipitação no AEG nas três primeiras classes foram praticamente similares, podendo destacar os trimestres JFM e AMJ os quais tiveram maiores frequências de precipitação da ordem de 10 a 13 dias. O intervalo com precipitação > 18,3 mm (extremo) ocorreu de forma mais frequente durante os trimestres JFM, AMJ e OND considerado período chuvoso e transição. O APP para as três primeiras classes (muito fraco, fraco e moderado) não apresenta muita similaridade em relação ao AEG. As maiores frequências de precipitação foram classificadas como muito fraco principalmente para os trimestres JFM e AMJ com 14 dias cada.

Diferente dos anteriores o ano de 2011 para o AEG o trimestre OND apresentou maiores frequências de precipitação em praticamente todas as classes com destaque a classe muito fraco e fraco onde a frequência de precipitação foi acima de 30 dias. Vale destacar também a classe extrema (precipitação > 18,3 mm) que para os trimestres de JFM, AMJ e OND apresentaram uma frequência igual e/ou maior que 15 dias. Ao analisar a frequência de precipitação para o APP, observou-se similaridade para as classes muito fracas e fracas em relação ao AEG, onde o trimestre com maior frequência foi em OND com precipitação acima

de 20 dias. Precipitações extremas foram observadas principalmente durante o trimestre JFM com frequência acima de 15 dias para valores maiores que 18,4 mm.

O trimestre JFM durante o ano de 2012 foi bastante atípico e apresentou precipitação acima da média climatológica, que pode estar associada à maior frequência de precipitação em todas as classes, principalmente nas classes muito fraco, fraco, moderado e extremo com valores de 73, 49, 25 e 26 dias de precipitação respectivamente. Ao contrário do AEG a frequência de precipitação para o trimestre JFM no APP é salientada apenas nas classes muita fraca e fraca. Nas demais classes principalmente a extrema (precipitação > 18,3 mm) a frequência de precipitação não foi tão elevada em relação ao outro aeroporto o qual pode ser respondido pela precipitação abaixo da média nessa região da cidade.



Figura 5. Frequência de Precipitação sazonal para os anos de 2009-2012.

O ano de 2013 foi bastante similar ao ano de 2012 onde as maiores frequências foram observadas no trimestre JFM principalmente na classe 0,2|-- 1,6 mm. Maiores frequências também foram observadas na classe de chuva extrema, ou seja, precipitação acima de 18,3 mm, as outras classes de precipitação se mantiveram na média esperada para cada trimestre. Para o APP destacou-se também valores na frequência de precipitação relevantes, principalmente nas classes muito fraco, fraco e moderado as quais ultrapassam frequências de 20 dias. Para casos de precipitação extremas não foi registrada nenhuma frequência para o trimestre JAS.

Observou-se que para o ano de 2014 os trimestres de AMJ e OND obtiveram maiores frequências de precipitação principalmente nas classes muito fraco com 0,2|-- 1,6 mm e fraco com 1,8|-- 4,0 mm. Destacou-se também a concentração de chuvas consideradas extremas com valores acima de 18,4 mm para os trimestres OND e JFM caracterizados como período de transição da estação seca para estação chuvosa da região. As frequências de precipitação para o APP obtiveram maiores concentrações durante os trimestres JFM e OND para as classes muito fraco e fraco. Destaca-se também o trimestre JAS o qual apresentou baixa e nenhuma frequência de precipitação durante o ano pelo fato de ser considerado período seco, porém ficou mais enfatizado por registrar precipitação abaixo da climatologia o que leva a um déficit de precipitação considerável.

O ano de 2015 para o AEG apresenta uma distribuição de frequência bastante distinta dos anos anteriores, onde foi observado que as maiores frequências foram registradas no trimestre AMJ para eventos classificados como fraco que variando de 1,8|-- 4,0 mm. Nos demais trimestres foram às frequências de precipitação ficaram abaixo de 15 dias. Para o APP a distribuição de precipitação apresenta o mesmo comportamento em relação ao AEG, porém com uma concentração maior nas classes que representam eventos muito fraco e fraco. Os maiores valores de frequência podem ser observados no trimestre AMJ na classe que varia de 1,8|--4,0 mm. Essa distinção se torna evidente devido à falta e/ou não registro da precipitação durante o período estudado no qual foi visto no gráfico do acumulado de precipitação.

Em 2016 a distribuição de frequência de precipitação apresenta maiores concentrações durante o trimestre JFM considerado período chuvoso da região para todas as classes destacando as classes muito fraco, fraco, moderado e extremo com valores acima de 20 dias de precipitação. O trimestre JAS considerado período seco da região apresenta também valores bem consistente no qual é evidenciado devido o regime de precipitação ter sido relativamente acima da climatologia. Para o APP distribuição de frequência de precipitação é bem correlato comparado ao ano de 2015, o maior valor de frequência de precipitação foi

registrado no trimestre JAS para a classe fraco 1,8|-- 4,0 mm no qual é considerado período seco. Para as outras classes foram registrados poucas e nenhuma frequência de precipitação, esse aspecto se deu devido a ausência de dados o que acabou comprometendo a análise.

De forma geral, grande parte dos anos para ambos os aeroportos se mantiveram com a mesma característica para distribuição de frequência dos eventos, exceto os anos de 2012-2013 no qual tiveram frequência de eventos de precipitação acima de 50, principalmente para as classes consideradas muito fracas e fracas. A categoria “muito fraca” apresentou alta frequência para cidade de Manaus principalmente durante a estação chuvosa (JFM) seguido da classe considerada fraco (1,8 – 4,0) alternando entre os trimestres de OND e JFM. Eventos considerados como extremos, ou seja, precipitação acima >18 mm tiveram maiores frequências durante a estação chuvosa (JFM) alternando com o trimestre OND, porém, não apresentaram frequências significativas, sendo esta classe a que apresenta os menores números de eventos.



Figura 6. Frequência de Precipitação por classe para anos de 2013 a 2016.

5. CONCLUSÃO

Esse estudo teve como objetivo analisar a frequência e intensidade da precipitação para duas regiões da cidade de Manaus, aeroportos Eduardo Gomes (AEG) e Ponta Pelada (APP), no período de 2009 a 2016. Para os dois aeroportos estudados os resultados mostram semelhanças no seu comportamento anual, mensal e horário de precipitação. Foi notado que o AEG possui valores de eventos de chuva acima do APP, na maioria dos casos analisados, o que pode estar associado com as características locais de cada região. Em termos sazonais, a climatologia das suas estações segue o comportamento da climatologia da cidade de Manaus (INMET). Ainda, variações acima ou abaixo da normal climatológica foram observadas. Nestes casos, os anos que apresentaram precipitações acima ou abaixo da normal estão associados aos anos atuação do fenômeno ENOS (El Niño - Oscilação Sul). Um exemplo disto ocorreu no ano de 2010 que apresentou menores valores de precipitação em comparação aos outros anos analisados, possivelmente devido à atuação do evento El Niño, fase quente do ENOS, que gera escassez de chuva na região central da Amazônia. Outro exemplo está associado aos eventos La Niña em 2011 e 2012 mostrou aumento da precipitação na região. Nesse ano o evento de La Niña, fase fria do ENOS, estava atuando e contribuiu assim para os maiores eventos de chuva da região.

Em relação ao ciclo diurno da precipitação, o AEG mostrou maiores eventos de chuva em relação ao APP e o mesmo padrão de intensidade, muito fraca, foram observadas para ambas as regiões. Assim, pode se dizer que a circulação local, o ciclo diurno de radiação solar e umidade da cidade de Manaus modulam a frequência horária de precipitação, enquanto que a frequência mensal e sua variabilidade estão associadas diretamente com o ciclo anual de chuva e fenômenos de grande escala como o ENOS.

6. REFERÊNCIAS

ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A. F.; KAYANO, M. T.; CANDIDO, L. A. **Seasonal anomalous rainfall in the central and eastern Amazon and associated anomalous oceanic and atmospheric patterns.** International Journal of Climatology, 32: 1193-1205, DOI: 10.1002/joc.2345, 2012.

AGUIAR, D. G. **Análise da variação sazonal da precipitação e temperatura em Manaus (AM).** 2017. Dissertação de Mestrado. INPA.

ALCÂNTARA, C. R. **Linha De Instabilidade Da Amazônia.** Ciência e Natura, v. 33, n. 2, p. 197, 2011.

BARBOSA, R. G. **Caracterização da distribuição espacial do vento e da precipitação em Manaus.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Amazonas. 67pp, 2014.

CARVALHO, L. MV; JONES, C; LIEBMANN, B. **The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall.** Journal of Climate, v. 17, n. 1, p. 88-108, 2004.

CARVALHO, L. MV; JONES, C; LIEBMANN, B. **Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone.** Journal of Climate, v. 15, n. 17, p. 2377-2394, 2002.

COHEN, J.C.P. **Um estudo observacional de linhas de instabilidade na Amazônia.** 1989. Tese de Doutorado. INPE.

CUTRIM, E.MC; MOLION, L.C.B.; NECHET, D. **Chuvvas na Amazônia durante o século XX.** In: XI Congresso Brasileiro De Meteorologia, Rio de Janeiro. Anais do XI CBMET. Rio de Janeiro, RJ. SBMET. p. 1327-1333,2000.

ESPINOZA, N.S. **Caracterização dos eventos de precipitação registrados na estação meteorológica da EST/UEA em Manaus.** Trabalho de Conclusão de Curso. UEA. 2014.

FERREIRA, N.J.; CORREIA, A.A.; RAMÍREZ, M.CV. **Synoptic scale features of the tropospheric circulation over tropical South America during the WETAMC TRMM/LBA experiment.** *Atmosfera*, v. 17, n. 1, p. 13-30, 2004.

FERREIRA, N.J.; PEREIRA, V.M.; FLORESTA, V.G.Silva. **Considerações sobre a circulação atmosférica da alta troposfera durante o verão da America do Sul.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 1998.

FIGUEIRA, W. S.; SILVA, M. M. **Eventos severos na Amazônia: estudo de caso de 2 temporais que atingiram a região urbana de Manaus nos dias 27 e 29 de abril de 2011.** In: IV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 2011, João Pessoa.

GANDU, A. W.; SILVA DIAS, P. L. **Simulação numérica dos efeitos locais da convecção de verão sobre a América do Sul.** *Anais do VIII Cong. Brasileiro de Meteorologia*, v. 2, p. 481-484, 2004.

KOUSKY, V.; KAGANO, M. T.; CAVALCANTI, I.F. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, v. 36A, n. 5, p. 490-504, 1984.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. **Clima da região amazônica.** *Tempo e Clima no Brasil*, edited by: Fonseca de Albuquerque Cavalcanti, I., Ferreira, N., Justi da Silva, M., Faus da Silva Dias, M., Oficina de Textos, p. 179-212, 2009.

MOLION, L. C. B.; DALLAROSA, R. L. G. **Pluviometria da Amazônia: são os dados confiáveis.** *Climanálise–Boletim de Monitoramento e análise climática*, v. 5, n. 3, p. 40-42, 1990.

MOLION, L.C.B. **Climatologia Dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 2, n. 1, p. 107-117, 1987.

SCHOR, T.; ALVES-GOMES, J. A. 2011. **Vulnerabilidade Socioecológica em Manaus.** *Revista Geonorte*, 2(1): 57-78.

TANAKA, L.M.S. **Convecção profunda na Amazônia Central**. 2014. Tese de Doutorado. INPA.

TANAKA, L. M. D. S.; SATIAMURTY, P.; MACHADO, L. A. T. **Diurnal variation of precipitation in central Amazon Basin**. International Journal of Climatology, v.34, p. n/a, 2014.

UVO, C.R.B; UVO. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro**. INPE, 1989.

VIANELLO, R.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. 3. ed. Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2001.