

ANÁLISE DE EVENTOS DE TEMPO SIGNIFICATIVOS ATUANTES DURANTE OS EXPERIMENTOS CHUVA-GOAMAZON2014/15

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE/CNPq)

Aline Luara dos Santos (UNIFEI, Bolsista PIBIC/CNPq)

e-mail: linesants@live.com

Dirceu Luis Herdies (CPTEC/INPE, Orientador)

e-mail: dirceu.herdies@inpe.br

Cristiano Wickboldt Eichholz (CPTEC/INPE, Coorientador)

e-mail: cristiano.eichholz@inpe.br

AGRADECIMENTOS

A bolsista agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a caracterização e análise da microfísica de eventos de tempo significativos (ETS) que ocorreram durante os experimentos de campo dos projetos CHUVA/GoAmazon no ano de 2014, na região de Manaus/AM. Para atingir esse objetivo foram utilizadas imagens do radar meteorológico Banda-S, que permitiu o rastreamento e a obtenção das características dos eventos precipitantes ocorridos na região de estudo. Foi definida uma metodologia para a classificação de eventos de tempo significativo (ETS), baseada em percentis, utilizando as características dos sistemas precipitantes como taxa de precipitação média, tamanho e duração. Com isso, foram definidos como ETS os sistemas que apresentaram maiores taxas de precipitação média, maiores áreas e maior duração. Uma vez que o desenvolvimento e a evolução dos sistemas precipitantes são modulados por diferentes variáveis ambientais, a etapa seguinte deste estudo, utilizou dados de radiossonda, coletados durante os experimentos, e avaliou as variáveis Energia Potencial Disponível para a Convecção (CAPE), Energia de Inibição Convectiva (CINE), Água Precipitável e Cisalhamento vertical do vento (shear). Estas variáveis foram selecionadas por apresentarem grande influência no desenvolvimento de nuvens convectivas e que por isso possuem potencial para impactar eventos de precipitação. Embora a estação úmida apresente maior conteúdo de água precipitável e acumulados de chuva, os sistemas precipitantes da estação seca foram os que apresentaram maiores taxas de precipitação e, por isso, maior potencial para o desenvolvimento de eventos severos. No geral, maior quantidade de casos de ETS ocorreram durante a estação seca e de transição, período com menor umidade atmosférica, porém com maiores valores de CAPE, CINE e shear, o que contribuiu para processos convectivos mais intensos e duradouros. Em relação a microfísica dos sistemas precipitantes, nota-se que a estação chuvosa apresentou sistemas com menores valores de refletividade e mais semelhantes entre si, no que se refere a intensidade. Na estação seca, no entanto, os sistemas apresentaram maiores valores de refletividade, em comparação com a estação úmida. Além disso, observou-se maior variação nos valores de refletividade, indicando maior variabilidade na intensidade dos sistemas. Os maiores valores do EcoTop de 20 dBZ, encontrados na estação seca., indicam a presença de sistemas mais profundos. Nota-se também maior concentração de água no interior das nuvens, evidenciado pelos maiores valores de *Vertically Integrated Liquid Water Content* (VIL) e *Vertically Integrated Liquid Water Content Density* (DVIL). Pela altura de Waldvogel percebe-se a ausência de gelo grande (> 20 mm) no interior das nuvens na estação chuvosa.

Palavras-chave: Tempo significativo. Meteorologia. Base de dados.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 4.1 - Região de estudo.	7
Figura 4.2 - Rastreamento da tempestade pelo CAPPI 3 km.	10
Figura 5.1 - Evolução diária da taxa de precipitação.	12
Figura 5.2 - Taxa de precipitação e água precipitável mensal.	13
Figura 5.3 - Sazonalidade da taxa de precipitação.	14
Figura 5.4 - Variação mensal de três índices de instabilidade atmosférica.	15
Figura 5.5 - Características mensais dos sistemas precipitantes.	17
Figura 5.6 - Taxa de precipitação para eventos regulares e significativos.	19
Figura 5.7 - Raio efetivo para eventos regulares e significativos.	19
Figura 5.8 - Duração para eventos regulares e significativos.	20
Figura 5.9 - CFAD das estações chuvosa e seca.	22
Figura 5.10 - Refletividade máxima e média das estações chuvosa e seca. ...	23
Figura 5.11 - VIL máximo e médio das estações chuvosa e seca.	24
Figura 5.12 - DVIL máximo e médio das estações chuvosa e seca.	25
Figura 5.13 - Altura de Waldvogel máxima e média das estações chuvosa e seca.	26
Figura 5.14 - EcoTop máximo e médio das estações chuvosa e seca.	26
Figura 5.15 - Parâmetros microfísicos no ciclo de vida das tempestades selecionadas na estação chuvosa.	27
Figura 5.16 - Parâmetros microfísicos no ciclo de vida das tempestades selecionadas na estação seca.	28

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 4.1 - Categorização das variáveis ambientais.	8
Tabela 4.2 - Tempestades selecionadas para o estudo de microfísica.	9
Tabela 5.1 - Número de eventos precipitantes.	18

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AM	-	Amazonas
AW	-	Altura de Waldvogel
CAPE	-	Energia disponível para Convecção
CAPPI	-	<i>Constant Altitude Plan Position Indicator</i>
CFAD	-	<i>Contour Frequency by Altitude Diagrams</i>
CINDACTA	-	Quarto Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo
CINE	-	Energia de Inibição Convectiva
CPTEC	-	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DVIL	-	<i>Vertically Integrated Liquid Water Content Density</i>
ETS	-	Eventos de Tempo Significativos
ForTraCC	-	<i>Forecasting and Tracking the evolution of Cloud Clusters</i>
INPE	-	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IWP	-	Água precipitável
PPI	-	<i>Plan Position Indicator</i>
PRF	-	Frequência de Repetição de Pulso
CHUVA	-	<i>Cloud Processes of the Main Precipitation Systems in Brazil: A Contribution to Cloud-Resolving Modeling and to the Global Precipitation Measurement</i>
GOAmazon	-	<i>Green Ocean Amazon</i>
SCM	-	Sistemas Convectivos de Mesoescala
Shear	-	Cisalhamento Vertical do Vento

SIPAM	-	Serviço de Proteção da Amazônia
SP	-	São Paulo
UTC	-	<i>Coordinated Universal Time</i>
VCAN	-	Vórtice Ciclônicos de Altos Níveis
VIL	-	<i>Vertically Integrated Liquid Water Content</i>
ZCIT	-	Zona de Convergência Intertropical
ZR	-	Refletividade/Taxa de precipitação

LISTA DE SÍMBOLOS

%	-	porcentagem
≈	-	aproximadamente
°C	-	grau Celsius
cm	-	centímetro
dBZ	-	decibel (unidade de medida de refletividade)
g.m^{-3}	-	gramas por metro cúbico (unidade de medida do DVIL)
J.kg^{-1}	-	energia por quilograma (unidade de medida do CINE e CAPE)
Kg.m^{-2}	-	quilograma por metro quadrado (unidade de medida VIL)
km	-	quilometro
M	-	metro
Mm	-	milímetro
mm.h^{-1}	-	milímetro por hora (unidade de medida de taxa de precipitação)
$\text{mm}^6.\text{m}^{-3}$	-	refletividade (unidade de medida)

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1	INTRODUÇÃO 1
2	OBJETIVOS DO TRABALHO..... 2
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 3
3.1	Sazonalidade de precipitação em Manaus/AM..... 3
3.2	Radar Meteorológico 4
4	MATERIAIS E MÉTODOS..... 6
4.1	Dados obtidos durante os experimentos CHUVA-GOAmazon 6
4.2	Rastreamento de sistemas precipitantes..... 7
4.3	Sistemas precipitantes e características ambientais 8
4.4	Características microfísicas..... 9
5	ANÁLISES E RESULTADOS 12
5.1	Regime de precipitação em Manaus/AM..... 12
5.2	Características ambientais 14
5.2.1	Energia Disponível para Convecção (CAPE) 14
5.2.2	Energia de Inibição Convectiva (CINE) 16
5.2.3	Cisalhamento Vertical do Vento (Shear) 16
5.3	Influência das características ambientais nos sistemas precipitantes 18
5.4	Características microfísicas..... 21
6	CONCLUSÃO 29
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 30
	APÊNDICE A – CARACTERÍSTICAS DOS EVENTOS DE TEMPO SIGNIFICATIVOS (ETS) DO AMBIENTE 34
A.1	Características dos Eventos de Tempo Significativo (ETS)..... 34
A.2	Características ambientais durante os Eventos de Tempo Significativo.... 36
	(ETS)..... 36
	APÊNDICE B - ARTIGO ACEITO PARA PUBLICAÇÃO NA REVISTA “ANUÁRIO DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UFRJ” 37

1 INTRODUÇÃO

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) são aglomerados de nuvens convectivas, mais extensas que tempestades individuais e, em geral, possuem tempo de vida de 6 a 12 horas (HOUZE, 1993). Podem produzir precipitação continua sobre áreas que excedem a 100 km na escala horizontal e possuem potencial para produzir eventos de tempo significativos, geralmente associados a precipitação intensa, granizo, ventos fortes e relâmpagos (HOUZE, 1993; COTTON, 2010), o que justifica o grande número de estudos que tem como foco SCM.

Enquanto SCM podem ou não gerar precipitação, sistemas precipitantes correspondem a evolução, no tempo, das células de chuva presente nas nuvens, que podem precipitar e gerar eventos significativos em superfície. Para o estudo de sistemas precipitantes utiliza-se dados de radar meteorológico, que tem como função principal estimar a precipitação em três dimensões, mas também permite fazer medidas de vento, detecção de turbulência e cisalhamento, previsão de curtíssimo prazo, detecção de granizo e gelo permitindo uma classificação do tipo de partículas presente nas nuvens (RINEHART, 2007).

Os sistemas precipitantes podem gerar precipitação do tipo estratiforme ou convectiva, dependendo da magnitude dos movimentos verticais dentro das nuvens e na escala de tempo em que os processos microfísicos acontecem (HOUGHTON, 1968). A precipitação convectiva está associada a fortes movimentos verticais e altas taxas pluviométricas; enquanto que na precipitação estratiforme predomina fraco movimento vertical em uma extensa área e taxas de precipitação menores (ANAGNOSTOU; KUMMEROW, 1997).

Uma forma de estudar a ocorrência de sistemas precipitantes é através de algoritmos que realizam o acompanhamento das células de chuva, o que permite acompanhar as principais etapas de evolução dos sistemas, como a iniciação, desenvolvimento e dissipação, registrando as principais características dos sistemas como tamanho, números de clusters convectivos, excentricidade. Além disso, esses algoritmos permitem a previsão de curtíssimo prazo (*nowcasting*) dos sistemas, o que gera subsídios importantes aos tomadores de decisão.

No Brasil, Vila et al. (2008), desenvolveram uma técnica de rastreamento de SCM chamada de ForTraCC (*Forecasting and Tracking the evolution of Cloud Clusters*), que considera a utilização de dois limiares de temperatura, o primeiro para identificar o sistema convectivo e um segundo limiar, mais frio, para delimitar os clusters convectivos inseridos nesse sistema. Para cada sistema convectivo primeiramente são calculados diversos parâmetros (tamanho, números de clusters convectivos, excentricidade), em seguida verifica-se a sobreposição das áreas desse sistema convectivo original e do sistema candidato na imagem seguinte, calculando a fração desta sobreposição, a velocidade e direção de propagação. Desta forma, o SCM pode ser rastreado durante todo seu ciclo de vida, o que permite estudar a evolução de suas propriedades morfológicas e radiativas.

O esquema de rastreamento de clusters ou agrupamentos de nuvens chamado ForTraCC utiliza imagens do canal infravermelho para a detecção dos sistemas convectivos e obtenção de vários parâmetros, como por exemplo, excentricidade, velocidade e direção de propagação, taxa de expansão da área de cobertura do sistema convectivo (Vila et al., 2008). Queiroz (2008) adaptou o algoritmo do ForTraCC para o uso de dados de radar meteorológico, o qual permitiu caracterizar sistemas precipitantes com base em limiares de refletividade e tamanho. Para este trabalho foram utilizados os limiares de refletividade e tamanho de 30 dBZ e 10 pixels, respectivamente.

E a partir da detecção desses sistemas precipitante é possível fazer um estudo dos processos microfísicos que ocorrem no interior desses sistemas. Essa análise pode ser feita por meio de subprodutos obtidos durante a varredura do radar, como CFAD, VIL e Altura de Waldvogel. Esse entendimento pode ser utilizado para melhorar as parametrizações de estimativa de precipitação em modelos de previsão numérica de tempo; visto que os processos de formação de precipitação e de escala convectiva ainda são pouco detalhados nesses modelos.

2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Este estudo objetiva analisar características básicas associadas a sistemas precipitantes, bem como avaliar a sensibilidade destes sistemas a diferentes

condições ambientais. Eventos de precipitação extrema, aqui mencionados como Eventos de Tempo Significativo (ETS), serão selecionados e avaliados para determinar quais condições ambientais tendem a favorecer a ocorrência destes eventos.

Para atingir o objetivo geral os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- A) Levantamento de dados de rastreamento de células de chuva e de nuvens;
- B) Caracterização de aspectos físicos e cinemáticos de eventos de tempo significativo;
- C) Análise estatística das principais características apresentadas pelos eventos selecionados;
- D) Construção de uma base de dados com a síntese das características dos eventos significativos.
- E) Análise das diferenças das propriedades microfísicas entre as estações chuvosa e seca;
- F) Estudo de cinco casos em cada estação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Sazonalidade de precipitação em Manaus/AM

Segundo Oliveira et al. (2006) a região de Manaus apresenta um regime de precipitação bem definido, onde o período chuvoso compreende os meses de dezembro a maio, enquanto o período seco abrange os meses de julho a novembro. A cidade de Manaus possui máximos pluviométricos no primeiro semestre do ano e o sistema atmosférico mais importante para a chuva na região é a zona de convergência intertropical (ZCIT). No verão e outono, este sistema atmosférico atinge sua posição mais sul, contribuindo para o estabelecimento da estação chuvosa na região. Já nas demais estações do ano, a ZCIT migra para norte e seu ramo descendente austral atinge a região inibindo a precipitação. Independente da época do ano, a chuva durante o dia pode ser influenciada pela brisa marítima e à noite pela convergência entre a brisa terrestre com os ventos alísios de sudeste. Neste processo, linhas de instabilidade podem se formar e adentrar o continente.

Ao longo do ano, há um intenso aquecimento radiativo da superfície e isso favorece a convecção, e, conseqüentemente, a formação de sistemas convectivos, que são sistemas mais organizados e com potencial para causar chuvas intensas. O leste da região também pode ser influenciado pela passagem de sistemas frontais, por vórtice ciclônicos de altos níveis (VCAN) e por ondas no escoamento de leste (REBOITA et al., 2010).

3.2 Radar Meteorológico

O Radar é um sistema eletromagnético para detecção e localização de objetos por meio de ecos de rádio e surgiu durante a Segunda Guerra Mundial, onde foi utilizado para indicar e monitorar navios e aviões de guerra. O radar meteorológico é um sensor ativo, ou seja, emite ondas eletromagnéticas e é composto basicamente de cinco componentes: transmissor, duplexador, antena, receptor e display (RINEHART, 2007).

O transmissor gera sinal eletromagnético de alta potência e alta frequência. A taxa com que o radar transmite os pulsos de energia é chamada de frequência de repetição de pulso (PRF) que é utilizada para determinar a distância máxima que um radar pode estimar a chuva (RINEHART, 2007).

O duplexador funciona como um sistema de chaveamento, enviando o sinal transmitido para a antena. Ele também protege o receptor da alta potência emitida pelo transmissor (RINEHART, 2007).

A antena é responsável por retransmitir o feixe no momento da emissão e concentrar o feixe num ponto da antena no momento da recepção. Ela é composta pelo suporte/base, prato/defletor e pelo cajado, que é quem emite e recebe as ondas eletromagnéticas. O tamanho da antena e a frequência de operação do radar determinam o volume a ser iluminado. Logo, se dobrar o tamanho da antena a abertura do feixe será reduzida pela metade (RINEHART, 2007).

O receptor detecta e amplifica os sinais fracos recebidos pela antena e o display mostra em uma tela os alvos detectados de forma que o cérebro humano possa interpretar. Existem várias formas de mostrar os produtos e subprodutos provenientes de radar, como por exemplo, o *Plan Position*

Indicator (PPI) e o *Constant Altitude Plan Position Indicator* (CAPPI) (RINEHART, 2007).

A classificação dos radares baseia-se na aplicação que será utilizada, podendo ser dividida em quatro tipos: Radar Monoestático e Biestático, Radar de Onda Contínua e Radar Pulsado, Radar Doppler e Radar Polarimétrico (RINEHART, 2007).

A onda eletromagnética que é emitida pelo radar, chega até um alvo meteorológico (nuvens, gelo ou gota de água líquida), é espalhada pelo alvo e parte desta energia retorna ao radar. A partir da energia que retorna ao radar (potência recebida) é calculada, através de uma equação, a distribuição do tamanho dos hidrometeoros e a quantidade de precipitação associada aquela nuvem (RINEHART, 2007).

O processo de varredura de um radar é feito fixando o feixe de radiação do radar em uma elevação e rotacionando o radar em torno do seu eixo. A cada nova elevação o radar realiza novamente uma rotação ao redor do seu eixo. Ao final da varredura completa temos a estrutura vertical da nuvem completa. Existem três parâmetros importantes para identificar uma tempestade num mapa de radar: elevação, azimute e os *bins* (RINEHART, 2007).

O ângulo de elevação é o ângulo formado entre o feixe do radar e o plano horizontal, quanto mais elevações menores serão os ângulos das elevações. O ângulo azimute é o ângulo formado entre o feixe do radar e a direção Norte. Os *bins* (volume iluminado) é a menor informação identificável no feixe do radar, quanto mais *bins* um feixe do radar possuir, maior detalhamento será obtido (RINEHART, 2007).

Pode-se determinar informações a respeito da natureza dos alvos, através de medidas da potência que retorna ao radar. A equação do radar relaciona a potência recebida à secção transversal retro-espalhada do alvo (RINEHART, 2007).

O radar não mede diretamente a chuva, ele recebe uma determinada densidade de potência refletida pelos alvos de chuva denominada refletividade. A refletividade é uma variável que depende do número e do espectro de gotas, podendo variar desde valores próximos de $0,001 \text{ mm}^6\text{m}^{-3}$ (névoa chuvosa) até

36.000.000 mm⁶m⁻³ (granizo grande ≈ 5 a 10 cm), normalmente usados em escala logarítmica convertidos para dBZ (RINEHART, 2007).

Alguns fatores que interferem na qualidade dos dados do radar meteorológico são os ecos de terrenos, calibração do radar, ventos horizontais e verticais, atenuação por gases atmosféricos, chuva e pela água que escorre sobre a redoma protetora da antena (BROOKS, 2001).

Os radares podem fornecer alguns produtos gerados durante a sua estratégia de varredura e diversos subprodutos produzidos a partir dos dados da varredura. A escolha do produto e subproduto de radar a ser utilizado depende da aplicação que será empregada (RINEHART, 2007).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Dados obtidos durante os experimentos CHUVA-GOAmazon

Os dados utilizados neste trabalho foram coletados durante os experimentos de campo dos projetos CHUVA (acrônimo para *Cloud Processes of the Main Precipitation Systems in Brazil: A Contribution to Cloud-Resolving Modeling and to the Global Precipitation Measurement*) e GOAmazon2014/15 (acrônimo para *Green Ocean Amazon*).

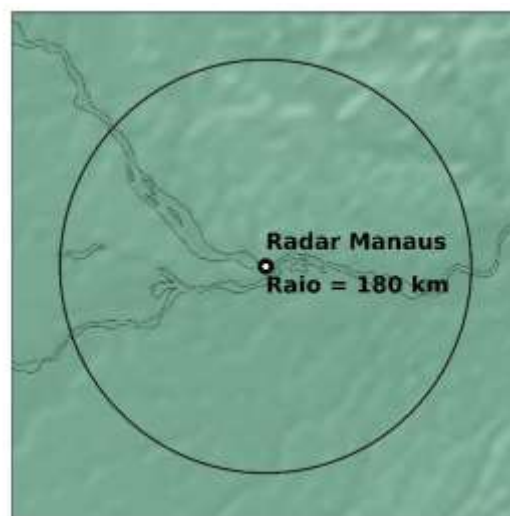
O Projeto CHUVA foi realizado no Brasil, em um período de cinco anos, de 2010 a 2015. Com a finalidade de aperfeiçoar o conhecimento dos processos físicos no interior das nuvens e diminuir as incertezas na estimativa da precipitação por satélite e radar. Foram realizados diversos experimentos de campo em sete diferentes regiões do Brasil, entre elas a cidade de Manaus/AM, que focaram no desenvolvimento, na evolução, no ciclo de vida, nas características microfísicas apresentadas por tempestades, nos processos da camada limite e em modelos de estimativa de precipitação e microfísica. No decorrer das campanhas foram realizadas diariamente quatro radiossondagens a fim de obter dados de pressão, temperatura e umidade, que caracterizam o estado da atmosfera no momento. Mais detalhes do Projeto CHUVA podem ser encontrados em Machado et al. (2014).

O projeto GOAmazon foi realizado na região de Manaus/AM nos anos de 2014 e 2015 e teve como um de seus objetivos estudar a evolução da intensidade da convecção de tempestades severas para tempestades moderadas, durante a

transição da estação seca para estação chuvosa. Mais informações sobre o Projeto GOAmazon podem ser encontradas em Martin et al. (2016).

Ao longo dos experimentos um dos instrumentos utilizados foi o radar banda S, com raio de cobertura de 180 km, resolução espacial de 2 km e temporal de 12 minutos. Este se localizava na cidade de Manaus/AM (Figura 4.1) e foi disponibilizado pelo Serviço de Proteção da Amazônia (SIPAM) e pelo quarto Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA IV).

Figura 4.1 - Região de estudo.



Região em que foi realizado o estudo indicando a cidade de Manaus/AM (esquerda) e a área de cobertura do radar banda-S (direita).

Fonte: Produção do autor.

4.2 Rastreamento de sistemas precipitantes

As características das células de chuva associadas aos sistemas precipitantes foram obtidas por meio do algoritmo ForTraCC, desenvolvido por Vila et al. (2008) e adaptado por Queiroz (2008) para uso de dados de radar meteorológico, o qual permitiu caracterizar sistemas precipitantes com base em limiares de refletividade e tamanho. Neste trabalho são utilizados os limiares de refletividade e tamanho de 30 dBZ e 10 pixels, respectivamente.

A principal fonte de dados para esta etapa são as imagens provenientes do radar banda S de Manaus/AM, coletadas durante os experimentos dos Projetos CHUVA-GOAmazon. O resultado do processamento feito pelo ForTraCC permite avaliar as características dos sistemas precipitantes, como data e hora da iniciação assim como a evolução temporal do tamanho, da duração, da

refletividade máxima e média e da velocidade zonal e meridional. O tamanho do sistema está associado ao raio efetivo, que equivale ao raio de um círculo com a mesma área da célula. A estimativa da taxa de precipitação foi obtida utilizando a relação ZR de Marshall-Palmer (1948), apresentada na equação 4.1, e dados de refletividade para determinar a taxa de precipitação.

$$Z = 200R^{1,6} \quad (4.1)$$

Em que Z é o fator de refletividade em $\text{mm}^6 \cdot \text{m}^{-3}$, 200 e 1,6 são constantes obtidas empiricamente, R é a taxa de precipitação em $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

4.3 Sistemas precipitantes e características ambientais

A região de Manaus/AM foi escolhida por apresentar regime de precipitação bem definido, bem como marcante variabilidade sazonal com diferentes características ambientais. A análise do impacto das características ambientais: Energia disponível para Convecção (CAPE), Energia de Inibição Convectiva (CINE), Água precipitável (IWP) e Cisalhamento Vertical do Vento (Shear) sobre as características dos sistemas precipitantes (taxa de precipitação, tamanho e duração) foi realizado por meio do agrupamento das características ambientais em três categorias. Cada categoria foi definida através de percentis, de modo que, a classe fraca foi composta pelos valores que abrangem os percentis de 0 % a 33 %, a classe mediana do percentil 33 % a 66 % e a classe intensa com valores acima do percentil 66 % (Tabela 4.1).

Foram considerados Eventos de Tempo Significativos (ETS) os sistemas em que os valores de taxa de precipitação média ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$), raio efetivo (km) e duração (horas) se encontravam iguais ou acima do percentil 90%. Essa metodologia é similar a empregada por outros trabalhos da literatura, como Vicente (2005) e Pendergrass et al. (2018).

Tabela 4.1 – Categorização das variáveis ambientais.

Variáveis ambientais	Categoria		
	Fraco (0 – 33%)	Mediano (33 – 66%)	Intensa (> 66%)
CAPE ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0 – 1003,99	1004 – 1683,99	1684 – 4140
CINE ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0 – 3,99	4 – 11,99	12 – 372

Shear (m.s ⁻¹)	0 – 3,33	3,34 – 5,71	5,72 – 13,80
IWP (mm)	0 – 50,96	50,97 – 54,74	54,75 – 163,31

Intervalo de valores obtidos para cada categoria das variáveis ambientais.

Fonte: Produção do autor.

As relações entre as características dos sistemas precipitantes (taxa de precipitação, tamanho, duração e número de sistemas) e as características ambientais (CAPE, CINE e IWP), foram avaliadas considerando os sistemas precipitantes que atuaram uma hora antes e uma hora após o lançamento das radiossondas, nos horários sinóticos das 06 UTC (02:00 horário local), 12 UTC (08:00 horário local), 18 UTC (14:00 horário local) e 00 UTC (20:00 horário local).

4.4 Características microfísicas

Nessa etapa foram avaliadas as diferenças microfísicas dos sistemas precipitantes que ocorreram na estação seca e chuvosa. Para isso foi utilizado os *Constant Altitude Plan Position Indicator* (CAPPI) do radar de Manaus. O CAPPI é obtido através dos dados da varredura volumétrica do radar, em que são extraídos os bins do radar de uma mesma altura pertencentes a todas elevações e varreduras azimutais, os quais são convertidos de coordenadas polares para coordenadas retangulares. Utilizou-se os CAPPIs entre 2 e 15 km de altura, com resolução espacial horizontal de 1 km, totalizando 14 níveis de altura.

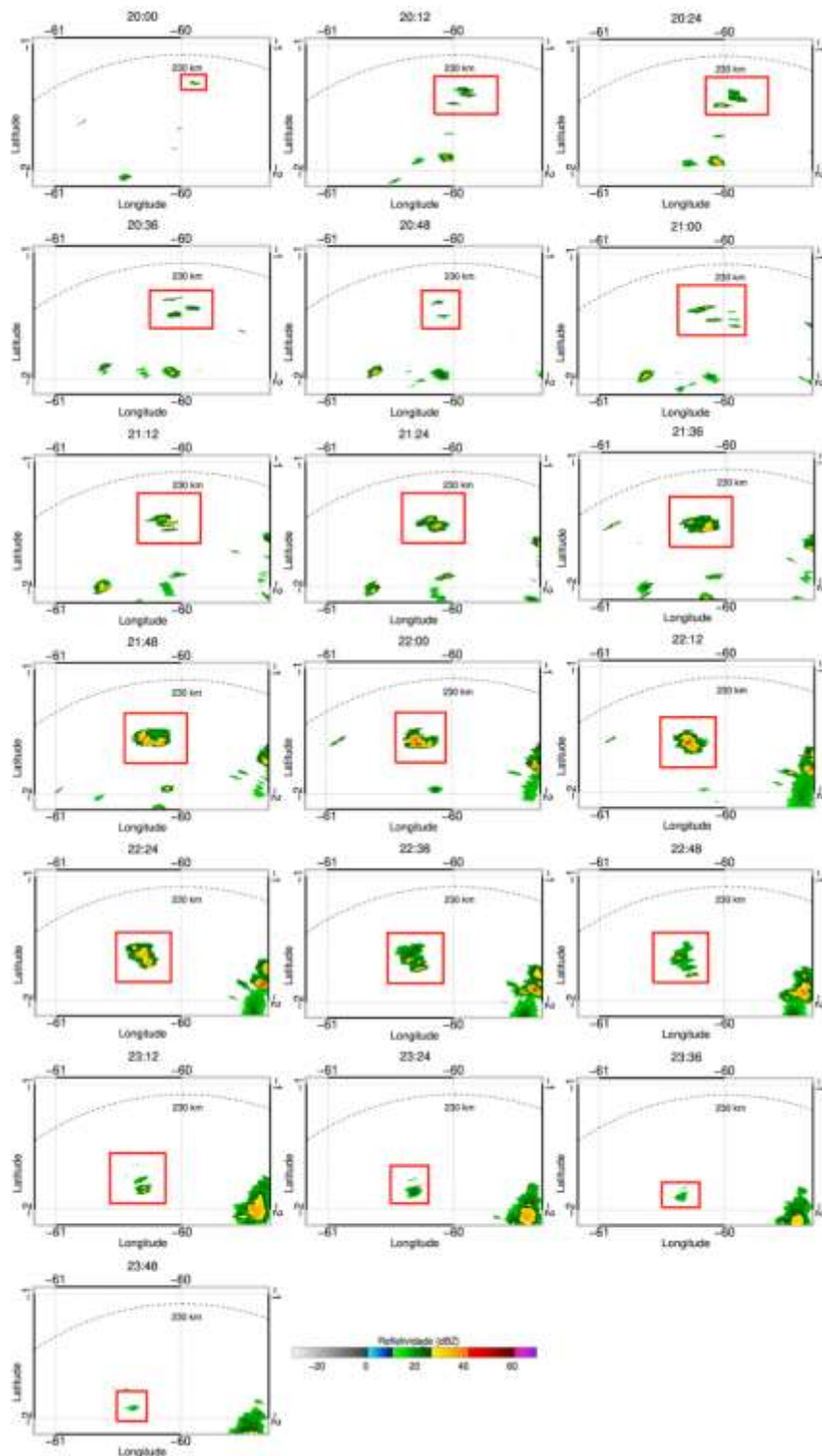
A partir dos dados de CAPPI de 3 km do radar de Manaus foi realizado o acompanhamento de cinco sistemas precipitantes que ocorreram na estação seca e cinco que aconteceram na estação chuvosa, totalizando o estudo de dez tempestades (Tabela 4.2). Esse acompanhamento foi realizado por meio de uma delimitação espacial da tempestade, onde foi inserido um quadrado com centro no ponto geométrico da tempestade (Figura 4.2). E por meio da latitude e longitude foram extraídos dados da tempestade, que foram utilizados para o cálculo das seguintes propriedades dos sistemas precipitantes: i) Vertically Integrated Liquid Water Content (VIL), ii) Vertically Integrated Liquid Water Content Density (DVIL), iii) Altura de Waldvogel (AW) e iv) Eco Top 20dBZ.

Tabela 4.2 - Tempestades selecionadas para o estudo de microfísica.

Estação Chuvosa	Estação Seca
-----------------	--------------

Mês	fev	fev	fev	mar	mar	ago	ago	set	set	set
Dia	02	14	20/21	02/03	11	08	17	01/02	07	16
Início	21h36	20h00	20h48	22h12	08h48	20h48	18h24	23h12	06h24	20h36
Fim	23h00	23h48	01h00	00h00	11h12	22:h24	20h00	00h24	08h00	21h36

Dados obtidos na região de Manaus/AM no ano de 2014. Fonte: Produção do autor.
 Figura 4.2 - Rastreamento da tempestade pelo CAPPI 3 km.



Imagens CAPPI em 3 km de altura de refletividade (dBZ) da tempestade ocorrida em Manaus no dia 14 de fevereiro de 2014. As imagens são referentes ao intervalo entre

20h00 e 23h48 UTC. O quadrado na cor vermelha representa a região que delimita a área da tempestade.

Fonte: Produção do autor.

O VIL é o conteúdo de água líquida integrado verticalmente e representa a massa, em quilograma, da quantidade de água líquida total de toda a coluna reprojeta em um quadrado de um metro quadrado de área. A análise do VIL é importante porque a concentração de água líquida e sua distribuição espacial são fatores importantes no estudo da dinâmica das nuvens, pois indicam o grau de condensação e o desenvolvimento que ocorreu para formação da nuvem. O VIL é calculado pela equação 4.2.

$$VIL = 3,44 * 10^{-6} * \int_{base\ nuvem}^{topo\ nuvem} Z^{\frac{4}{7}} dh \quad (4.2)$$

Em que: VIL é o conteúdo de água líquida integrado verticalmente em $kg\ m^{-2}$, Z é a refletividade em $mm^6\ m^{-3}$ e h é a altura em m.

O DVIL é a densidade do conteúdo de água líquida integrado verticalmente, representa a divisão do VIL ($kg\ m^{-2}$) pelo eco top de 10dBZ (m), como na equação 4.3.

$$DVIL = (VIL/Eco\ Top\ 10\ dBZ) * 1000 \quad (4.3)$$

Em que: DVIL é a densidade do conteúdo de água líquida integrado verticalmente em $g\ m^3$, VIL é o conteúdo de água líquida integrado verticalmente em $kg\ m^{-2}$ e Eco Top 10dBZ é a altura máxima em metros do Eco com 10dBZ de refletividade.

Altura de Waldvogel foi definida por Waldvogel et al. (1979) como a altura do nível de 45 dBZ acima da camada de derretimento que pode conter granizo e pode ser calculada pela equação 4.4.

$$AW = Altura\ (45\ dBZ) + Altura\ (0\ ^\circ C) \quad (4.4)$$

Em que: AW é a Altura de Waldvogel medida em m, Altura (45dBZ) é a altura em m que se encontra valores de refletividade de 45 dBZ e Altura (0°C) é a altura onde se encontra valores de temperatura de 0°C.

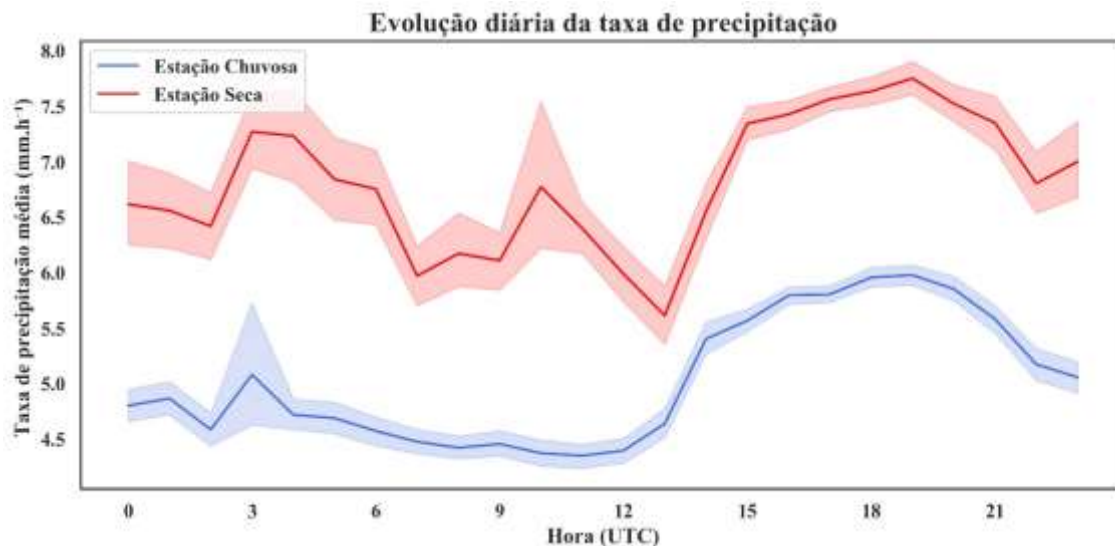
O Eco Top, mostra o eco do topo da nuvem, representando a altura máxima em km, dos ecos de 20 dBZ e a profundidade dos sistemas precipitantes. A busca é realizada de cima para baixo em um tubo vertical demarcado pelos intervalos (Dx, Dy) na horizontal e DH em altura, em coordenadas cilíndricas.

5 ANÁLISES E RESULTADOS

5.1 Regime de precipitação em Manaus/AM

Após a definição dos ETS, foi realizada uma análise para determinar como os eventos precipitantes se comportavam nas diferentes estações, chuvosa e seca. As duas estações apresentam evolução diária da precipitação semelhante, com um máximo mais intenso próximo às 18 UTC (14:00 hora local), o que pode estar associado ao forte aquecimento diurno associado a este período do dia. No entanto, a principal diferença encontrada entre as estações foi na intensidade da precipitação. Na estação chuvosa observa-se eventos de precipitação mais estratiforme, isto é, precipitação mais fraca. Esta característica pode estar associada a presença de uma maior disponibilidade de umidade, que favorece a formação de sistemas com maior extensão e chuvas com menores intensidades. Diferentemente do que ocorre na estação chuvosa, a estação seca apresentou grande variabilidade na taxa de precipitação média ao longo do dia, com picos ocorrendo em diferentes períodos do dia (Figura 5.1).

Figura 5.1 – Evolução diária da taxa de precipitação.



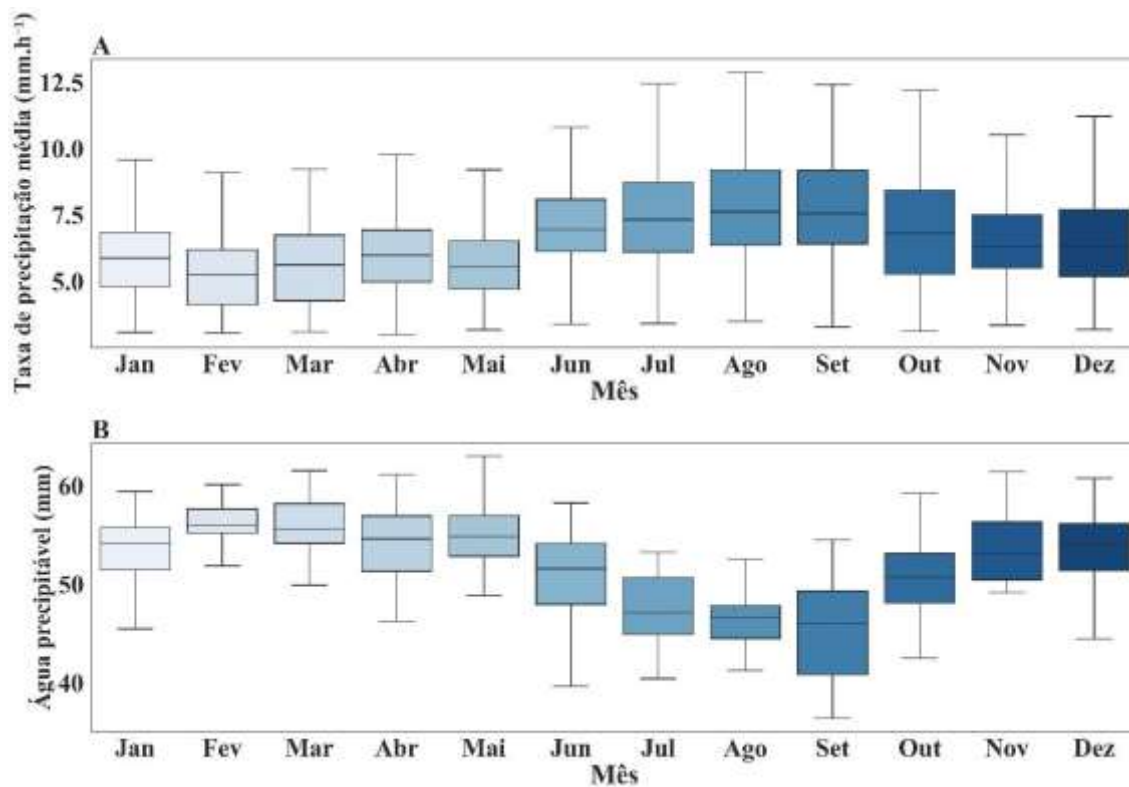
Evolution of the daily average precipitation rate of the active precipitating systems.
Fonte: Produção do autor.

Quando são analisados os campos de IWP e a taxa de precipitação das células de chuva é perceptível uma grande variabilidade no regime de precipitação e na umidade atmosférica (Figura 5.2). As maiores taxas de precipitação foram obtidas nos meses de agosto a setembro, contudo, nota-se que nesse mesmo período foram registrados os menores valores de IWP (aproximadamente 45

mm), divergindo dos demais meses onde os valores de IWP ultrapassaram 55 mm.

Estes resultados estão de acordo com Oliveira et al. (2006), constando que a região de Manaus/AM apresenta um regime de precipitação bem definido, com período chuvoso atuando entre os meses de dezembro e maio, e período seco durante os meses de julho a novembro. Este estudo considera o bimestre fevereiro e março a estação chuvosa e a estação seca o bimestre agosto e setembro, os demais meses são considerados período de transição. Desta forma, se obtém melhor distinção das características dos sistemas precipitantes e das variáveis ambientais, durante as diferentes estações.]

Figura 5.2 - Taxa de precipitação e água precipitável mensal.

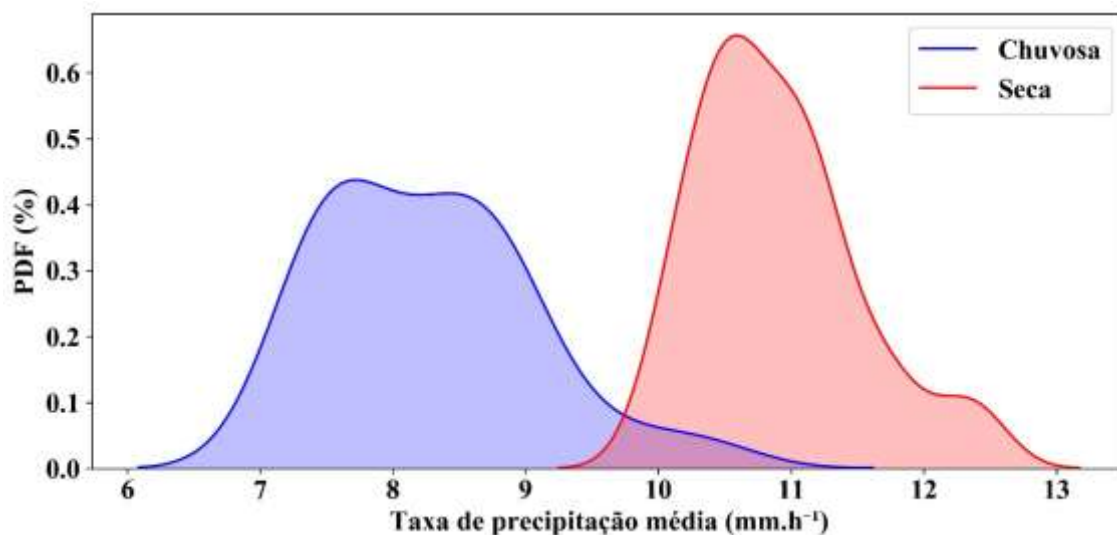


Boxplot mensal da a) taxa de precipitação (mm.h⁻¹) e b) água precipitável (IWP, mm).
Fonte: Produção do autor.

Com relação a intensidade, a precipitação na estação chuvosa é tipo monção, ou seja, uma chuva mais leve (RAIA; CAVALCANTI, 2008), que se concentra em torno de 8 mm.h⁻¹ e seu máximo não ultrapassa 12 mm.h⁻¹ (Figura 5.3). Contudo na estação seca, devido a essa menor disponibilidade de umidade na atmosfera, que dificulta o desenvolvimento de processos convectivos e, conseqüentemente, a formação de nuvens, o aquecimento diurno é favorecido, aumentando a instabilidade atmosférica. Logo, as células que conseguem

superar essa inibição são isoladas e mais intensas com sua taxa de precipitação máxima ultrapassando 13 mm.h^{-1} (Figura 5.3).

Figura 5.3 - Sazonalidade da taxa de precipitação.



Histograma da diferença sazonal da taxa de precipitação média para Manaus/AM no ano de 2014.

Fonte: Produção do autor.

A seguir será realizada a caracterização do ambiente considerando as variáveis ambientais CAPE, CINE, IWP e Shear. Posteriormente, será avaliada a influência destas variáveis ambientais sobre as características apresentadas pelos sistemas precipitantes.

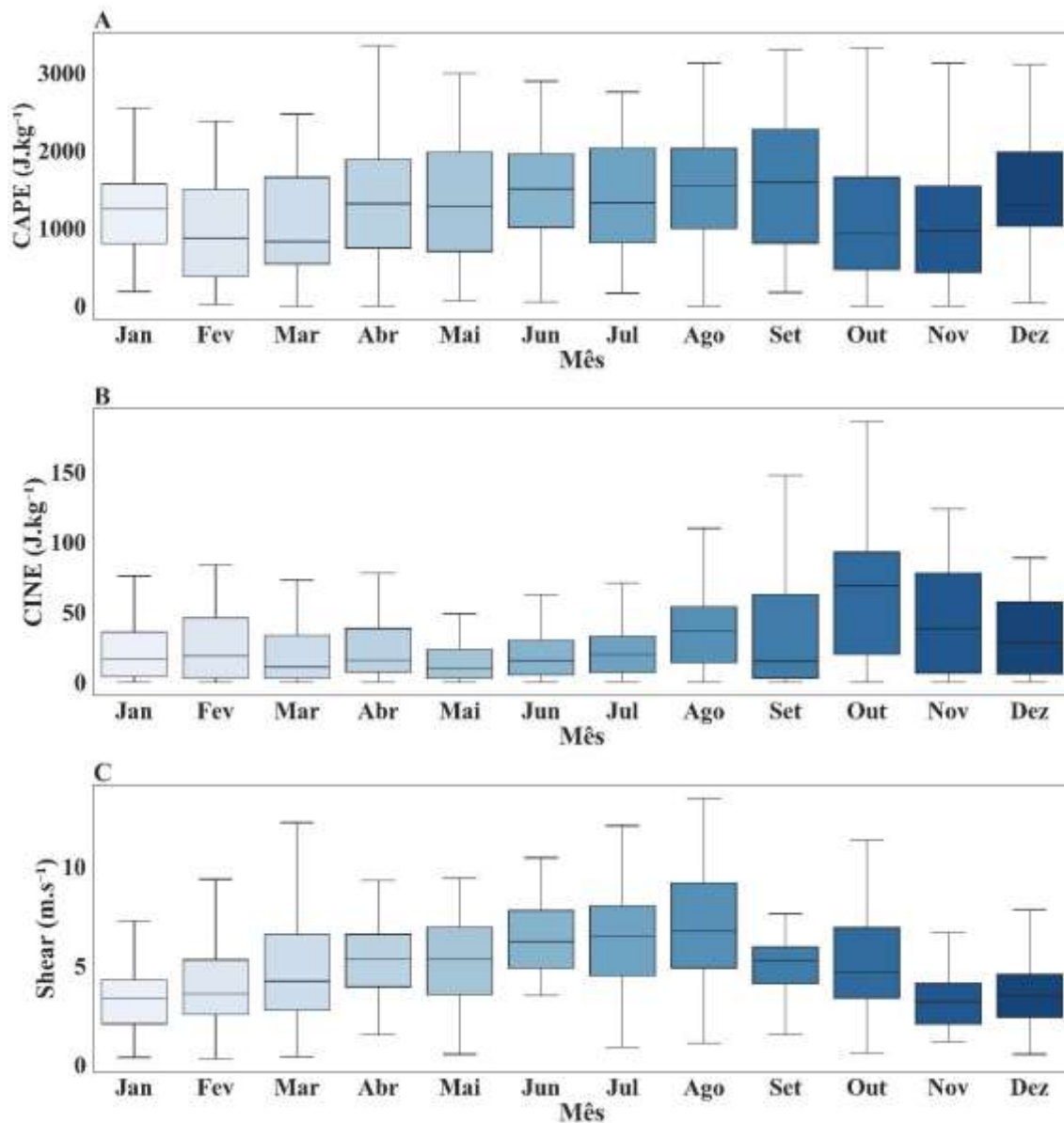
5.2 Características ambientais

5.2.1 Energia Disponível para Convecção (CAPE)

O índice CAPE está associado a energia potencial disponível para convecção e, portanto, tem uma forte correlação com a estabilidade atmosférica. Segundo Kirkpatrick et al. (2011) quanto maior seu valor maior, maior a chance de formação de tempestades severas, devido ao aumento da intensidade das correntes ascendentes, do fluxo de vapor d'água e da condensação, e assim da taxa de precipitação na superfície. Na Figura 5.4 podemos notar que os maiores valores de CAPE se encontram na estação seca, que é a estação onde ocorre as maiores taxas de precipitação (Figura 5.2A). Maiores valores de

CAPE podem estar associados ao menor conteúdo de umidade na atmosfera (Figura 5.2B), que contribui para a menor nebulosidade e, conseqüentemente, maior aquecimento da superfície. De forma semelhante, na estação chuvosa, os menores valores de CAPE podem estar associados a maior nebulosidade e precipitação, o que demonstra a importância da convecção no restabelecimento de uma atmosfera mais estável (EICHHOLZ, 2017).

Figura 5.4 - Variação mensal de três índices de instabilidade atmosférica.



Boxplot mensal do a) CAPE (J kg⁻¹), b) CINE (J.kg⁻¹) e c) Shear (m.s⁻¹).

Fonte: Produção do autor.

Machado et al. (2018) também encontraram resultados similares, no qual a estação seca apresentou valores de CAPE superiores aos observados na estação chuvosa. Além disso, a frequência com que o CAPE excede 2000 J.kg⁻¹ é maior durante a estação seca. Em síntese, a estação chuvosa

apresentou chuvas típicas de monções, com chuva moderada, contrastando com os eventos de chuva mais isolados e intensos durante a estação.

5.2.2 Energia de Inibição Convectiva (CINE)

O CINE está associado a energia de inibição convectiva, parâmetro que indica um obstáculo ao desenvolvimento convectivo devido à falta de flutuação próximo à superfície. Quando este obstáculo é nulo as tempestades se formam espontaneamente e não costumam ser severas (DIAS, 2000). No entanto, quando os valores de CINE ultrapassam valores de 20 J.kg^{-1} , em geral, existe alguma inibição que pode ser vencida por um levantamento forçado e causar tempestades severas.

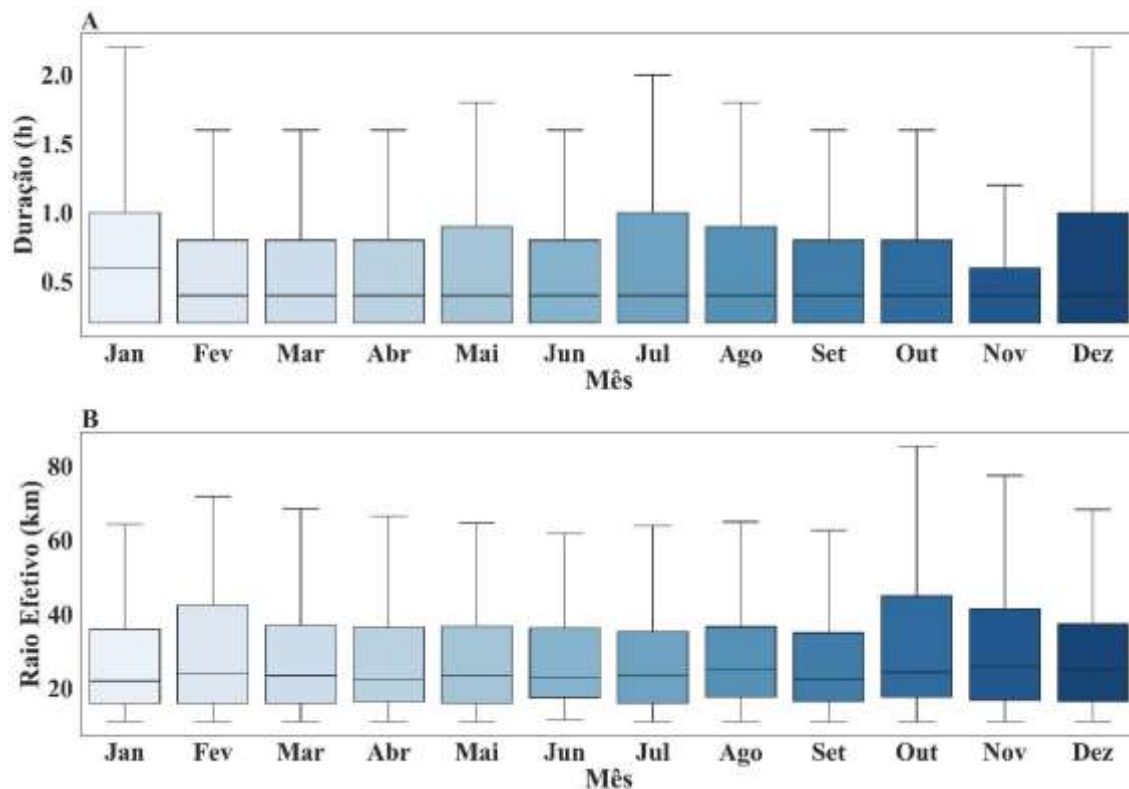
O CINE na estação chuvosa apresentou valores medianos entre $10 - 20 \text{ J.kg}^{-1}$, com máximos não ultrapassando 90 J.kg^{-1} , demonstrando pouca inibição para processos convectivos e o favorecimento a formação de sistemas com precipitação mais estratiforme (Figura 5.4B). Durante a estação seca os valores medianos de CINE estiveram entre $40 - 60 \text{ J.kg}^{-1}$, com máximos próximos a 200 J.kg^{-1} , demonstrando maior inibição de processos convectivos. Segundo Machado et al. (2018), os valores de CINE mais altos e a menor quantidade de vapor de água reduz a ocorrência de convecção, mas quando a convecção é capaz de se desenvolver, ela tem todos os ingredientes para ser mais profunda, o que parece explicar as observações das Figuras 5.2 e 5.4B, que mostra menores valores de IWP na estação seca e maiores valores de CINE, respectivamente. Além disso, a Figura 5.2A mostra que a taxa de precipitação na estação seca é superior a observada na estação chuvosa, o que evidencia a presença de convecção mais profunda.

5.2.3 Cisalhamento Vertical do Vento (Shear)

O cisalhamento vertical do vento (Shear) é definido como a diferença entre a velocidade do vento médio dos primeiros 6 km da atmosfera e a velocidade do vento da superfície aos primeiros 500 m da atmosfera (JOHNSON; MAPES, 2001; MARKOWSKI; RICHARDSON, 2010). O Shear, geralmente está associado a duração das tempestades, uma vez que maiores valores de cisalhamento vertical do vento propiciam maiores distâncias entre as correntes ascendentes e descendentes, separando áreas com maior potencial de precipitação de regiões associadas a correntes ascendentes, evitando que

ambas se anulem, permitindo assim que os sistemas precipitantes perdurem por mais tempo (WEISMAN; KLEMP, 1982).

Figura 5.5 - Características mensais dos sistemas precipitantes.



Boxplot mensal da a) duração (horas) e b) raio efetivo (km) dos sistemas precipitantes rastreados pelo algoritmo FortraCC.

Fonte: Produção do autor.

Durante a estação chuvosa, a região de Manaus/AM esteve sob influência de Shear com valores médios variando entre 2-4 m.s^{-1} , na estação seca estes valores variaram entre 3-9 m.s^{-1} (Figura 5.4C). Embora o Shear contribua para maior longevidade dos sistemas, não foi possível observar essa influência. Tanto a duração quanto o tamanho dos sistemas precipitantes não apresentaram grande variabilidade ao longo do ano (Figura 5.5).

Uma análise mais detalhada da influência das variáveis ambientais sobre as características dos sistemas precipitantes será apresentada a seguir. Para isso, serão considerados sistema menos intensos, como sendo aqueles com menor tamanho e tempo de vida (referidos neste documento como sistemas regulares)

e sistemas mais intensos, sendo aqueles com maior tamanho e duração (referidos como ETS).

5.3 Influência das características ambientais nos sistemas precipitantes

As Figuras 5.6, 5.7 e 5.8 e a Tabela 5.1 evidenciam as diferenças dos ETS quando comparados com eventos regulares, para diferentes classes de valores das variáveis atmosféricas. De forma geral, os ETS ocorrem preferencialmente durante as estações de transição e seca, período com menor conteúdo de IWP (Figura 5.6). Observa-se, também, que a taxa de precipitação média apresenta sutil diferença entre os eventos regulares ($5-10 \text{ mm.h}^{-1}$) e ETS ($> 10 \text{ mm.h}^{-1}$) (Figura 5.6). No entanto, no que se refere ao raio efetivo (tamanho) e a duração, sistemas precipitantes regulares e ETS apresentam diferenças marcantes (Figuras 5.7 e 5.8). Para eventos regulares, tamanho e duração ficam em torno de 5 km e 1 hora, respectivamente, nos ETS estes valores ultrapassam 10 km e 2 horas, respectivamente (Figuras 5.7 e 5.8).

Tabela 5.1 - Número de eventos precipitantes.

Tipo de Evento	Estação Chuvosa	Estação de Transição	Estação Seca	Anual
Regular	988	3139	783	4910
Significativo	1	16	22	39
Total	989	3155	805	4949

Número de eventos precipitantes que ocorreram em 2014 em Manaus/AM.

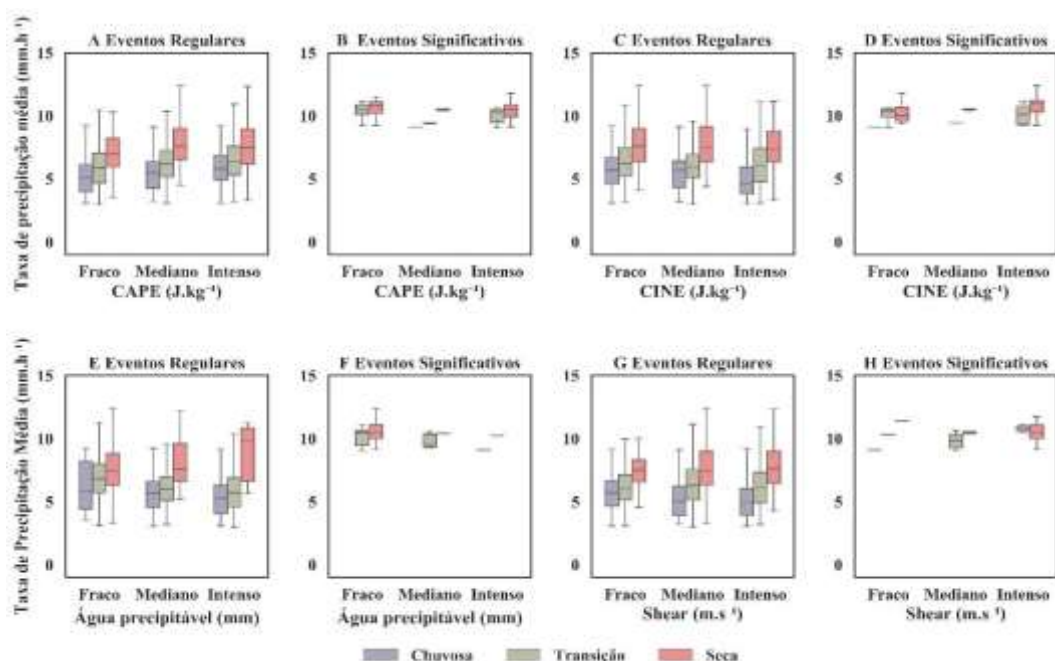
Fonte: Produção do autor.

Nas diferentes estações, a taxa de precipitação de sistemas regulares apresentou maiores valores em ambientes com CAPE e IWP mais intensos e CINE fraco, resultado sutil e mais evidente na estação chuvosa (Figura 5.6). Durante as estações chuvosa e de transição a taxa de precipitação dos sistemas diminuiu à medida que o IWP ficou mais intenso, na estação seca esse comportamento se inverteu e os sistemas com maiores taxas de precipitação ocorreram em ambientes com maiores valores de IWP. Nas diferentes estações, não houve uma evidente distinção entre diferentes taxas de precipitação de sistemas regulares e diferentes magnitudes de Shear. No entanto, ETS com maiores taxas de precipitação foram registrados em ambientes com Shear mais intenso (Figura 5.6H). Ambientes com diferentes magnitudes de CAPE não registram ETS com marcante distinção em suas

taxas de precipitação. Os ETS com maiores taxas de precipitação foram registrados em ambientes com CINE mais intenso e fraco IWP, resultado sutil e mais evidente nas estações de transição e seca (Figura 5.6).

Ambientes com diferentes intensidades de CAPE e Shear também não registraram um padrão evidente relacionado a diferentes tamanhos dos sistemas regulares. No entanto, ambientes com CINE mais intenso e fraco IWP registram sistemas regulares maiores, com raio efetivo variando entre 4-12 km (Figura 5.7). Ambientes com fraco IWP e intenso Shear registraram ETS maiores, com raio efetivo variando entre 10-24 km (Figura 5.7).

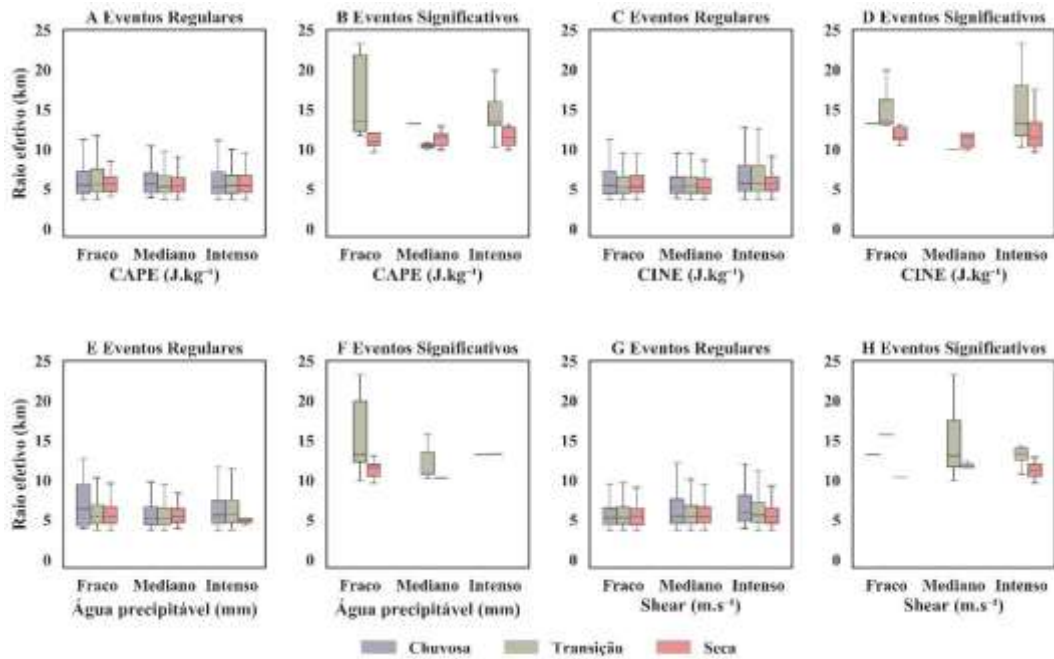
Figura 5.6 - Taxa de precipitação para eventos regulares e significativos.



Boxplot da taxa de precipitação (mm.h⁻¹) para os eventos regulares e significativos em função das classes de: (A-B) CAPE (J.kg⁻¹), (C-D) CINE (J.kg⁻¹), (E-F) água precipitável (IWP, mm) e (G-H) Shear (m.s⁻¹) para a estação chuvosa (caixa azul), transição (caixa verde) e seca (caixa vermelha).

Fonte: Produção do autor.

Figura 5.7 - Raio efetivo para eventos regulares e significativos.

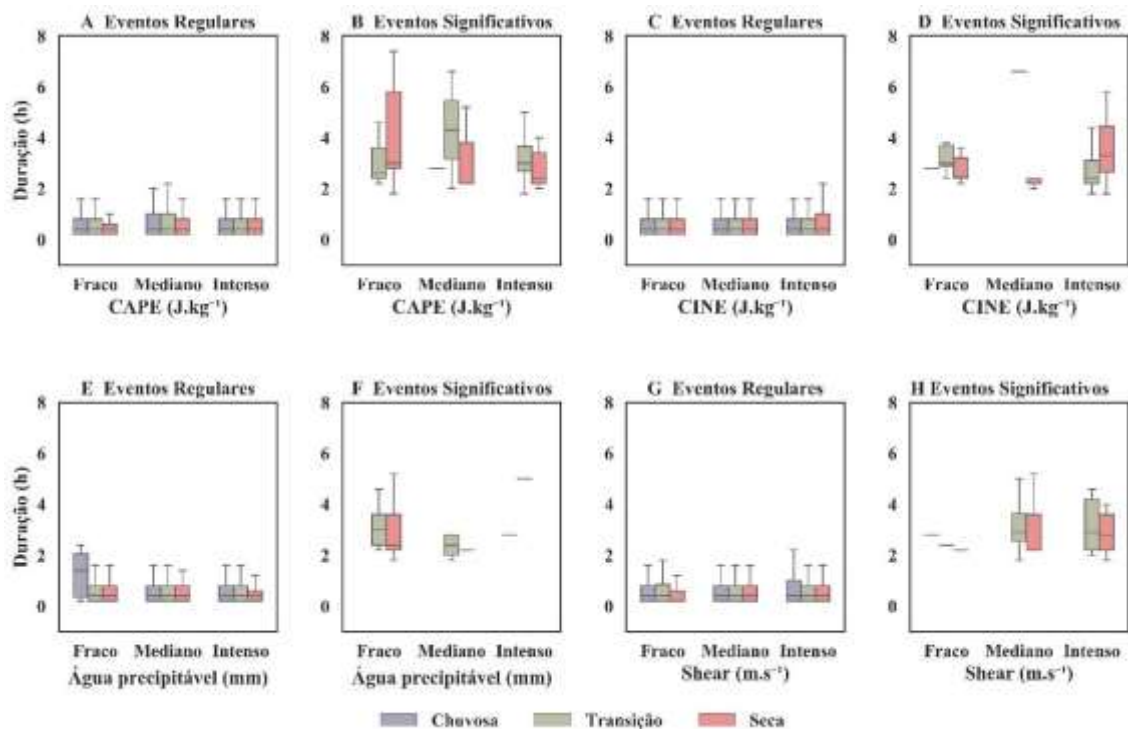


Boxplot do raio efetivo (km) para os eventos regulares e significativos em função das classes de: (A-B) CAPE ($J.kg^{-1}$), (C-D) CINE ($J.kg^{-1}$), (E-F) água precipitável (IWP, mm) e (G-H) Shear ($m.s^{-1}$) para a estação chuvosa (caixa azul), transição (caixa verde) e seca (caixa vermelha).

Fonte: Produção do autor.

Ambientes com diferentes intensidades de CAPE, CINE, IWP e Shear, não registraram padrão na duração dos sistemas regulares. No entanto, ambientes com fraco CAPE e IWP e intenso Shear e CINE registraram ETS mais duradouros, superando duas horas de longevidade (Figura 5.8).

Figura 5.8 - Duração para eventos regulares e significativos.



Boxplot da duração (horas) para os eventos regulares e significativos em função das classes de: (A-B) CAPE ($J.kg^{-1}$), (C-D) CINE ($J.kg^{-1}$), (E-F) água precipitável (IWP, mm) e (G-H) Shear ($m.s^{-1}$) para a estação chuvosa (caixa azul), transição (caixa verde) e seca (caixa vermelha).

Fonte: Produção do autor.

A IWP apresenta uma relação positiva com a precipitação, uma vez que representa a massa do vapor de água de uma coluna integrada verticalmente (MARQUES et al., 2006). A maior quantidade de IWP nos primeiros meses do ano (Figura 5.2B), indica grande quantidade de umidade disponível para condensar e precipitar (MYOUNG; NIELSEN-GAMMON, 2010). No entanto, as maiores taxas de precipitação ocorreram nos meses de agosto e setembro, período com menor quantidade IWP. Uma explicação para esse comportamento é que a menor disponibilidade de umidade na atmosfera dificulta o desenvolvimento de processos convectivos e, conseqüentemente, a formação de nuvens. No entanto, nesta condição, o aquecimento diurno é favorecido, aumentando a instabilidade atmosférica. Quando a inibição convectiva é superada, gera sistemas isolados e mais intensos.

5.4 Características microfísicas

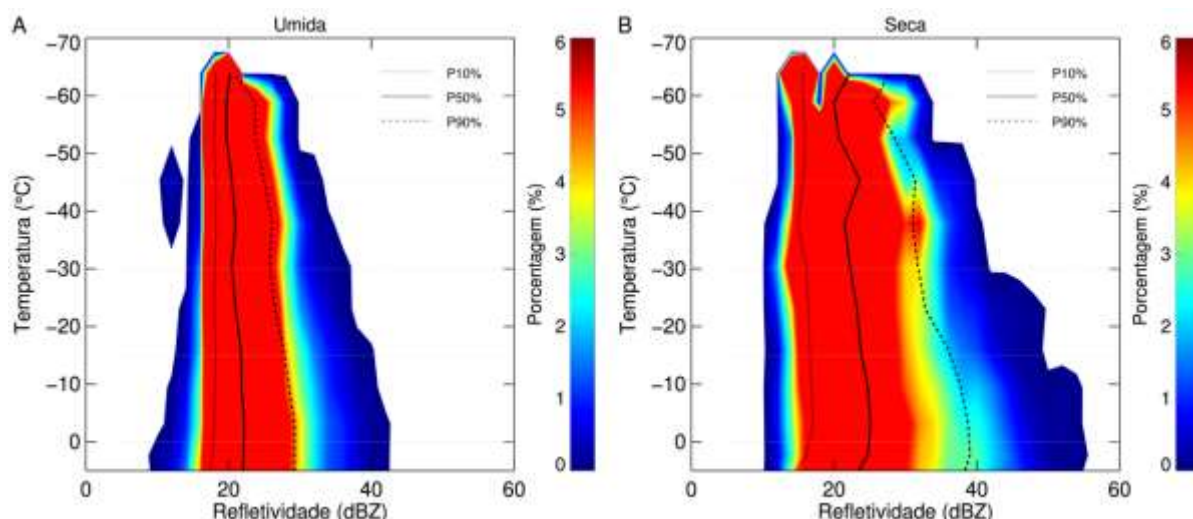
O diagrama CFAD (do inglês, *Contour Frequency by Altitude Diagrams*) é uma ferramenta fundamental para análise da evolução da estrutura vertical de tempestades. Esse diagrama foi proposto inicialmente por Yuter e Houze (1995) e descreve a frequência de ocorrência de uma certa variável para cada nível de altura. É muito utilizado para análise da estrutura vertical da nuvem como nos estudos de Anselmo (2015), Abreu (2018) e Sperling (2018). A Figura 5.9 apresenta o CFAD para as estações chuvosa (Figura 5.9A) e seca (Figura 5.9B) de todas as tempestades em conjunto. O CFAD de refletividade representa a frequência de ocorrência de valores de refletividade para cada nível de altura, que posteriormente foi convertido em temperatura.

A estação seca apresenta uma estrutura vertical melhor desenvolvida do que a estação chuvosa. Na fase quente da nuvem, ou seja, menores que $0^{\circ}C$ a estação seca apresenta refletividade entre 10 e 42 dBZ, enquanto na estação chuvosa os valores concentram entre 17 e 30 dBZ. Outra característica relevante é que 90% dos valores na estação chuvosa ficam em torno de 30 dBZ, já na estação seca 90% dos valores ficam em torno de 40 dBZ. Como a refletividade depende do diâmetro das gotas de chuva a sexta potência (RINEHART, 2007), esses resultados indicam a existência de gotas de água

maiores na estação seca do que na estação chuvosa. Esse mesmo comportamento da distribuição dos tamanhos de gotas foi encontrado em Silva Dias et al. (2002), Tokay et al. (2002) e Martins et al. (2010) que também estudaram a região de Manaus.

Na fase mista da nuvem, região compreendida entre as isotermas de 0 e -40°C , (Figura 5.9), também se observa maiores valores de refletividade na estação seca. Indicando que há presença de gotas de água líquida super-resfriadas e cristais de gelo maiores, podendo conter granizo no interior das nuvens. Enquanto na estação chuvosa há presença de gotas menores e cristais de gelo, mas não chega a formar granizo. Na fase fria da nuvem, ou seja, valores inferiores a -40°C , observa-se que a nuvem segue comportamento similar entre as duas estações, sendo mais intensa na estação seca do que na estação chuvosa. Indicando a presença de cristais de gelo menores na estação chuvosa e cristais de gelo maiores e granizo na estação seca.

Figura 5.9 - CFAD das estações chuvosa e seca.



Histograma bidimensional da temperatura (0°C) em função da refletividade (dBZ) para as tempestades ocorridas na (A) estação chuvosa e (B) estação seca em Manaus no ano 2014. As cores representam a porcentagem de ocorrência. As linhas verticais representam os percentis de 10%, 50% e 90%.

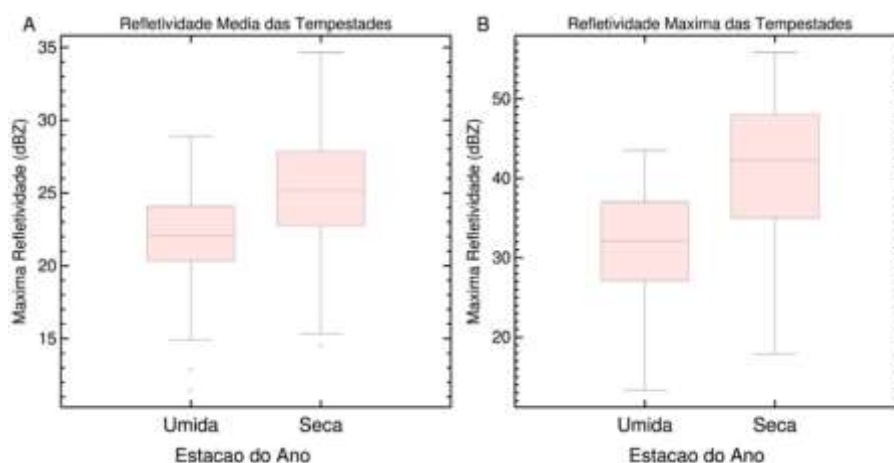
Fonte: Produção do autor.

Ao analisar a Figura 5.10A nota-se que a refletividade média das tempestades ocorridas na estação chuvosa fica em torno de 22 dBZ, enquanto na estação seca a refletividade média fica em torno de 25 dBZ. Pela relação Z-R de

Marshall Palmer a taxa de precipitação é aproximadamente 0,9 e 1,45 mm h⁻¹, respectivamente, para estação chuvosa e seca. Ou seja, a estação seca possui tempestades mais intensas e com gotas de chuva maiores que na estação chuvosa, resultado também encontrado por Biscaro (2019). Observa-se também que a amplitude de valores na estação seca é maior que a estação chuvosa, mostrando uma maior heterogeneidade de sistemas na estação seca.

O mesmo comportamento é observado para o campo de refletividade máxima das tempestades nas duas estações (Figura 5.10B). No entanto, a diferença da média da refletividade máxima entre as duas estações é maior, sendo que na estação chuvosa os valores médios da refletividade máxima se encontram em torno de 30 dBZ, já na estação seca esse valor ultrapassa 40 dBZ. Estes resultados corroboram com as análises anteriores, onde os sistemas precipitantes que se desenvolveram durante a estação chuvosa, geralmente apresentaram menor intensidade quando comparadas com a estação seca.

Figura 5.10 - Refletividade máxima e média das estações chuvosa e seca.



Boxplot da refletividade (dBZ) (A) Média e (B) Máxima das tempestades ocorridas na estação chuvosa e seca em Manaus/AM em 2014.

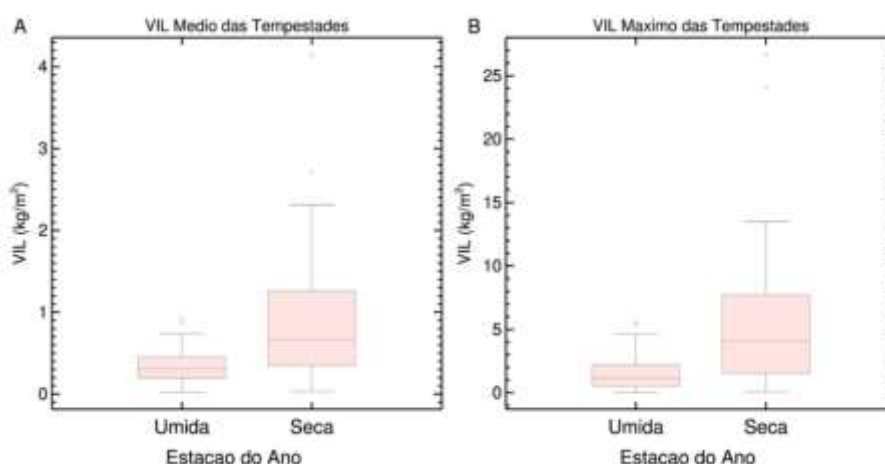
Fonte: Produção do autor.

A concentração de água líquida numa nuvem possui importância meteorológica. Sua quantidade e distribuição espacial são elementos importantes no estudo da dinâmica das nuvens, visto que indicam o grau de condensação e o desenvolvimento que ocorreu. Alterações no conteúdo de água são relevantes termodinamicamente porque são acompanhadas por grandes variações de

energia (MASON, 1957). Segundo Queiroz (2008) o parâmetro VIL mostra uma relação com as características da massa de ar atuante. Quando a convecção ocorre em massas de ar frio, é produzido granizo severo com relativamente baixos valores de VIL. Já quando a convecção ocorre em massas de ar quente geralmente não há produção de granizo mesmo com altos valores de VIL.

Pela Figura 5.11, nota-se que o conteúdo de água dentro das tempestades ocorridas na estação seca é maior que na estação chuvosa, como se trata de uma variável integrada, ela mostra o potencial do sistema em gerar precipitação. Isso significa que na estação seca há um maior potencial de eventos com a taxa de precipitação mais intensa. O que também fica evidente é que a média do VIL médios nas tempestades da estação chuvosa fica em torno de $0,3 \text{ kg m}^{-2}$, com sua amplitude bem pequena onde seu valor máximo não ultrapassa 1 kg m^{-2} (Figura 5.11A). O mesmo comportamento é encontrado para os valores máximos de VIL, no entanto, com a média do máximo valor em 1 kg m^{-2} e o máximo em 4 kg m^{-2} (Figura 5.11B). Em contrapartida, na estação chuvosa embora a média do VIL médio chegue a quase 1 kg m^{-2} e sua amplitude seja maior, com o máximo valor alcançando $2,3 \text{ kg m}^{-2}$ a probabilidade de granizo e descargas elétricas ainda são baixas. Diante disso o parâmetro VIL quando é analisado isoladamente não é suficiente para diferenciar tempestades severas, por isso é utilizado o parâmetro da densidade do VIL para identificar essas tempestades.

Figura 5.11 - VIL máximo e médio das estações chuvosa e seca.

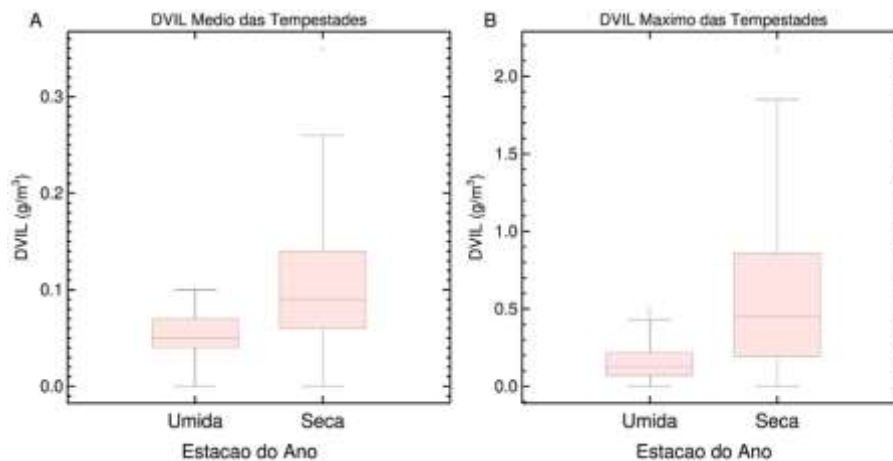


Bloxplot do VIL (kg m^{-2}) (A) Médio e (B) Máximo das tempestades ocorridas na estação chuvosa e seca em Manaus/AM em 2014.

Fonte: Produção do autor.

Segundo Gomes e Held (2004) tempestades com DVIL maior que $2,3 \text{ g m}^{-3}$ estão associadas com ventos intensos e granizo. Logo, pela Figura 5.12B nota-se que o mesmo DVIL máximo em ambas as estações não foram maiores que 2 g m^{-3} , indicando que as tempestades estudadas não foram tão severas. No entanto, é perceptível que os maiores valores de DVIL e as maiores amplitudes estão presentes na estação seca (Figura 5.12), evidenciando que os sistemas mais intensos e heterogêneos se formam nesta estação.

Figura 5.12 - DVIL máximo e médio das estações chuvosa e seca.

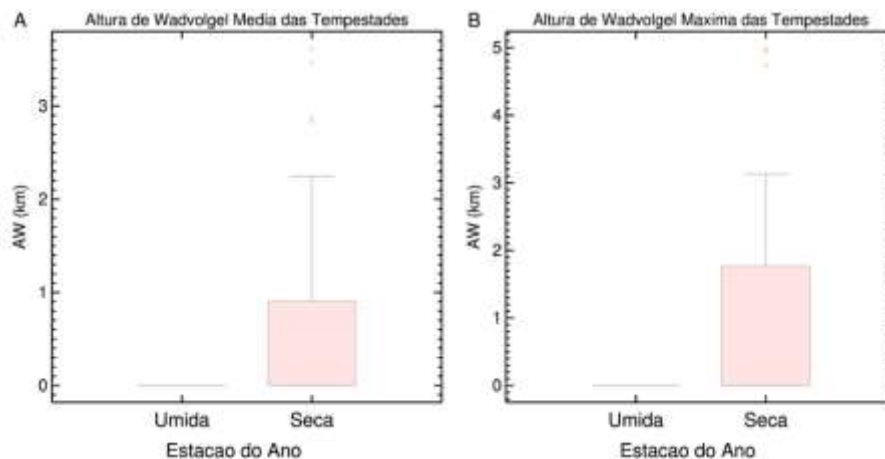


Bloxpplot do DVIL (g m^{-3}) (A) Médio e (B) Máximo das tempestades ocorridas na estação chuvosa e seca em Manaus/AM em 2014.

Fonte: Produção do autor.

Um parâmetro adicional que pode ser analisado na identificação de granizo dentro da nuvem é a Altura de Waldvogel (AW). Segundo Waldvogel et al. (1979) quando a AW ultrapassa 1,4 km o granizo dentro da nuvem pode crescer e atingir a superfície. Nota-se que na estação chuvosa é inexistente a presença de uma camada significativa de granizo dentro das tempestades, podendo haver cristais de gelo (Figura 5.13). Ou seja, concorda com a análise das outras variáveis que os sistemas precipitantes na estação chuvosa ocorrem de forma mais generalizada, tipo monção (RAIA; CAVALCANTI, 2008), e conseqüentemente menos intensos. Em contrapartida, na estação seca há presença de uma camada significativa de granizo no interior das nuvens, com o valor máximo de AW chegando a 3,1 km (Figura 5.13B). Ou seja, os granizos presentes nesta tempestade possuem potencial de crescimento para atingir o solo (WALDVOGEL et al., 1979). O estudo de Queiroz et al. (2010) também utiliza a altura de Waldvogel, associada a outros parâmetros como VIL e DVIL para o cálculo do índice de severidade de um caso de evento severo em Guarulhos/SP.

Figura 5.13 - Altura de Waldvogel máxima e média das estações chuvosa e seca.



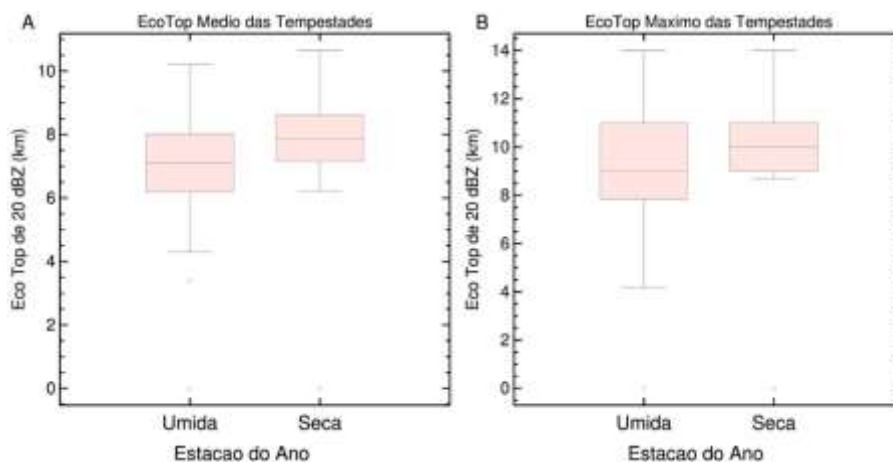
Boxplot da Altura de Waldvogel (km) (A) Média e (B) Máxima das tempestades ocorridas na estação chuvosa e seca em Manaus/AM em 2014.

Fonte: Produção do autor.

O EcoTop representa a altura máxima, em quilômetros, dos ecos de 20 dBZ e mostra a profundidade dos sistemas precipitantes. Na Figura 5.14A percebe-se que a profundidade média das tempestades na estação seca é maior. No entanto nota-se que a variação das profundidades média na estação chuvosa é levemente maior, com valores desde 4 até 11 km, enquanto que na estação seca os valores ficam entre 6 e 12 km (Figura 5.14A).

Esse mesmo comportamento é observado para os máximos valores do EcoTop 20 dBZ (Figura 5.14B). No entanto, a estação chuvosa tem uma significativa variação entre o menor valor e o maior, indo de 4 km até 14 km. Enquanto que na estação seca a variação dos valores é de 8 km até 14 km. Isso mostra que os sistemas na estação seca são predominantemente mais profundos e, portanto, tem potencial de provocar uma maior taxa de precipitação.

Figura 5.14 - EcoTop máximo e médio das estações chuvosa e seca.



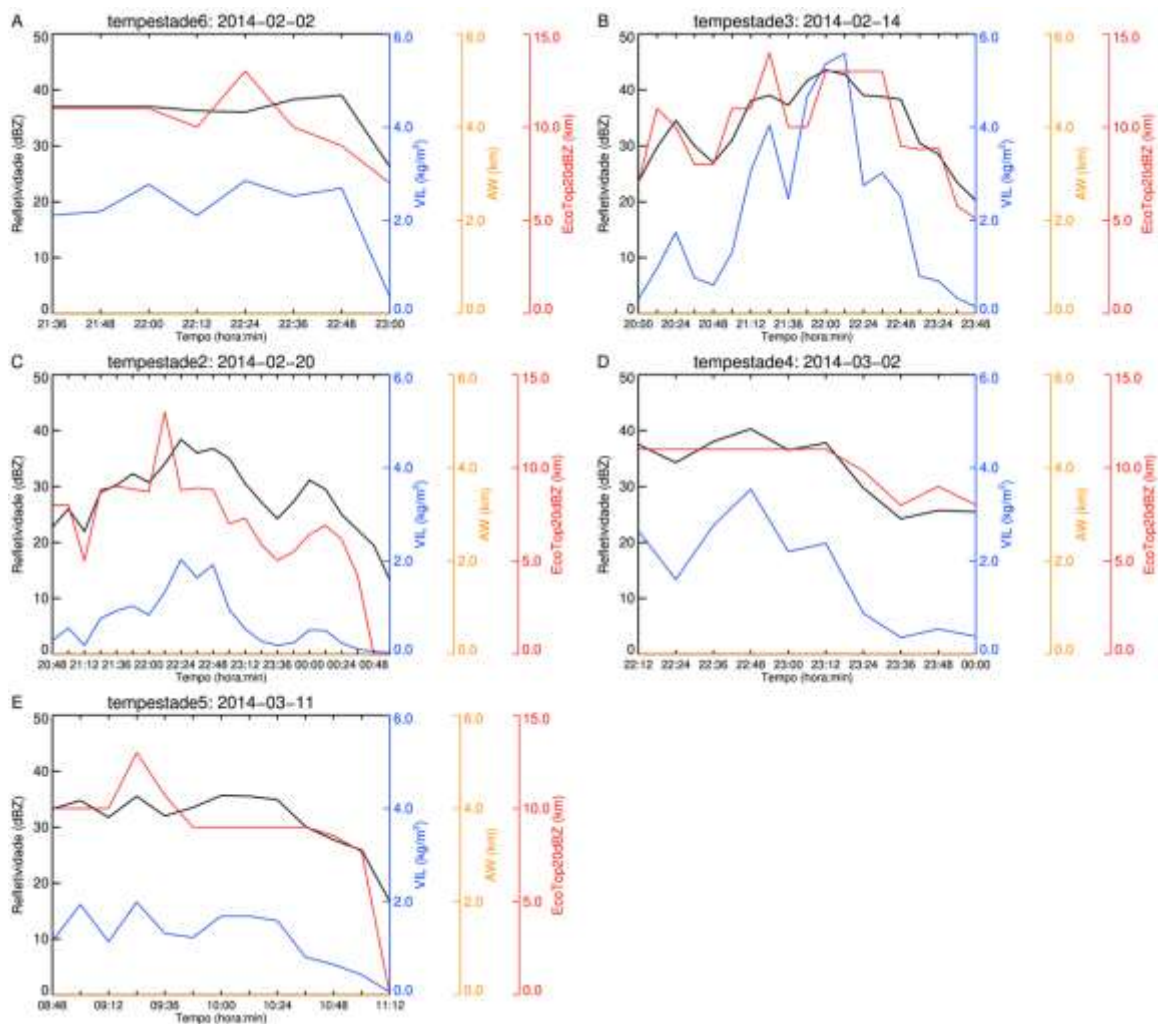
Bloxploit do EcoTop de 20 dBZ (km) (A) Médio e (B) Máximo das tempestades ocorridas na estação chuvosa e seca em Manaus/AM em 2014.

Fonte: Produção do autor.

A Figura 5.15 mostra a evolução do ciclo de vida das tempestades da estação chuvosa. Na figura são representados a evolução da refletividade, VIL, DVIL e EcoTop de 20 dBZ. Nota-se que o comportamento dos parâmetros relacionados a microfísica dos sistemas que ocorreram na estação chuvosa segue um padrão. O valor de refletividade no início das tempestades é relativamente alto, e após um tempo, quando a tempestade atinge a maturação são observados valores máximos de refletividade. Logo depois de atingir esse máximo, a refletividade começa a decair à medida que a tempestade se dissipa até chegar ao seu fim. O que também é bem evidente é que em todas as tempestades não houve presença de gelo, uma vez que a Altura de Waldvogel é sempre zero em todas as tempestades (Figura 5.15).

Pela Figura 5.15 nota-se que a tempestade que durou mais tempo foi observada no dia 20 e 21 de fevereiro das 20h48 UTC às 01h00 UTC, teve uma duração de 4 horas e 12 minutos (Figura 5.15C), está representada na figura por tempestade 2. Por volta das 20h48 UTC, a primeira vez que ela aparece no radar, os valores de refletividade estão em torno de 20 dBZ, os valores de VIL são relativamente baixos, menores que $0,5 \text{ kg m}^{-2}$ e a profundidade de nuvem, dada pelo EcoTop 20 dBZ, está em torno de 7 km. Depois de 1 hora e 12 minutos, por volta das 22h12 UTC, a tempestade atinge a maturação, e seu valor de refletividade dobra, chegando a 40 dBZ. O valor de VIL aumenta consideravelmente, chegando a 2 kg m^{-2} . E a profundidade da nuvem é de 14 km, ou seja, também dobrou. Após esse horário, a tempestade começa a perder intensidade, diminuindo os valores de seus parâmetros. No entanto, por volta das 00h00 UTC, ela se junta a outro sistema, fazendo com que ela atinja um novo pico de refletividade, VIL e EcoTop 20 dBZ. Porém esse novo pico possui valores menos intensos. E então após esse tempo, ela se dissipa até sumir na imagem de radar (Figura 5.15C).

Figura 5.15 - Parâmetros microfísicos no ciclo de vida das tempestades selecionadas na estação chuvosa.

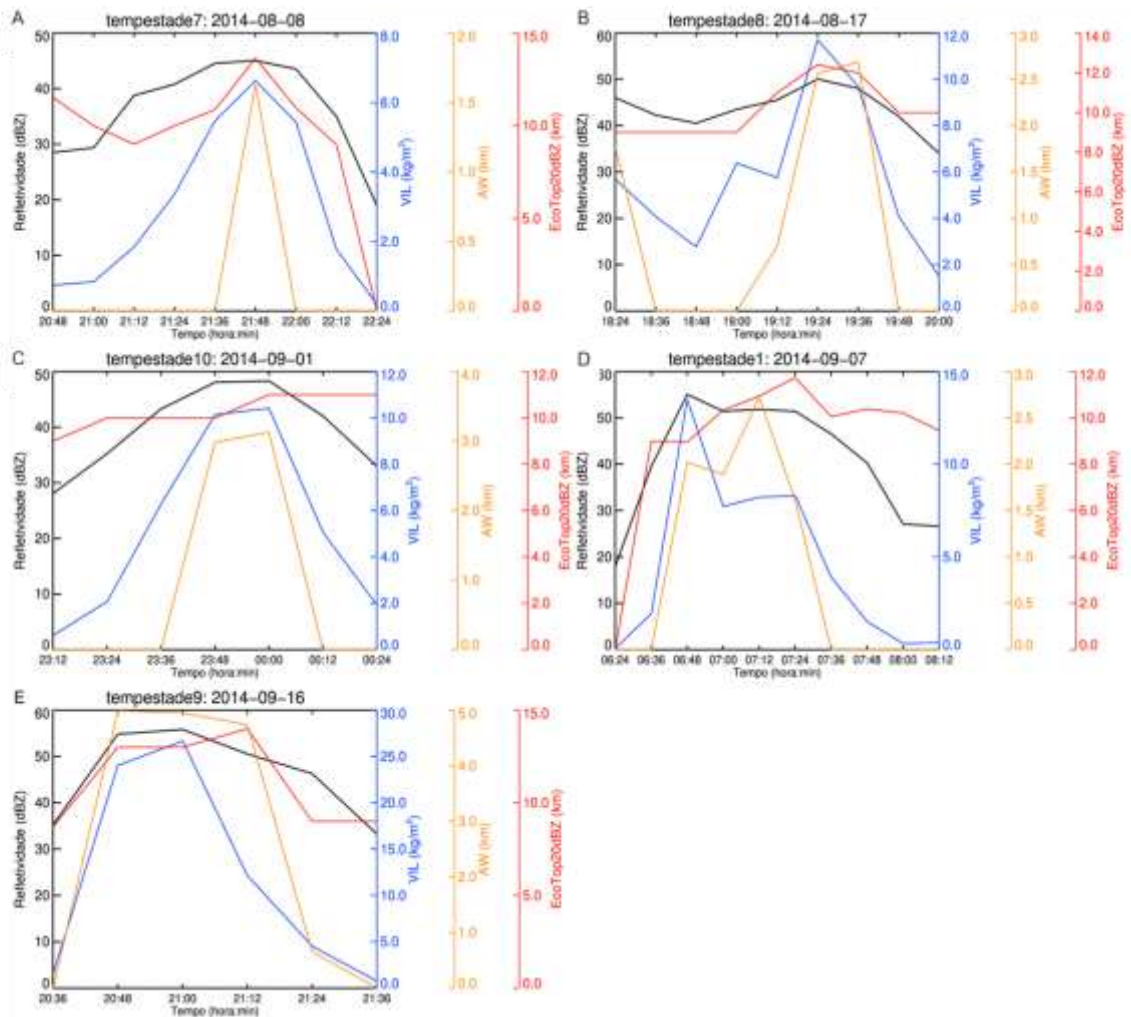


Ciclo de vida das propriedades refletividade (dBZ, linha preta), VIL (kg m^{-2} , linha azul), Altura de Waldvogel (km, linha laranja) e EcoTop 20dBZ (km, linha vermelha) para as tempestades ocorridas em Manaus no ano de 2014 da estação chuvosa: (A) 02/02/2014 (tempestade 6), (B) 14/02/2014 (tempestade 3), (C) 20/02/2014 (tempestade 2), (D) 02/03/2014 (tempestade 4) e (E) 11/03/2014 (tempestade 5).

Fonte: Produção do autor.

Ao analisar o ciclo de vida das tempestades que ocorreram na estação seca (Figura 5.16) nota-se a existência de nuvens mais profundas no início do seu desenvolvimento quando comparada aquelas tempestades que ocorreram na estação chuvosa (Figura 5.15). Além disso, fica evidente a existência de maior presença de gelo no interior das nuvens. A tempestade que ocorreu no dia 16 de setembro (Figura 5.16E) embora tenha tido duração de apenas 1 hora, ela alcançou valores significativos dos parâmetros. O conteúdo de água dentro dessa tempestade expresso pelo VIL atingiu o valor máximo de 25 kg m^{-2} , já a profundidade da nuvem foi de quase 15 km e a altura da camada de gelo, dada pela Altura de Waldvogel, ultrapassou de 5 km de profundidade (Figura 5.16E).

Figura 5.16 - Parâmetros microfísicos no ciclo de vida das tempestades selecionadas na estação seca.



Ciclo de vida das propriedades refletividade (dBZ, linha preta), VIL (kg m^{-2} , linha azul), Altura de Waldvogel (km, linha laranja) e EcoTop 20dBZ (km, linha vermelha) para as tempestades ocorridas em Manaus no ano de 2014 da estação seca: (A) 08/08/2014 (tempestade 7), (B) 17/08/2014 (tempestade 8), (C) 01/09/2014 (tempestade 10), (D) 07/09/2014 (tempestade 1) e (E) 16/09/2014 (tempestade 9).

Fonte: Produção do autor.

6 CONCLUSÃO

Este estudo avaliou a influência de diferentes variáveis ambientais sobre as características dos sistemas precipitantes, na região de Manaus/AM durante o ano de 2014. Os resultados evidenciaram que Eventos de Tempo Significativo (ETS) ocorreram predominantemente durante as estações de transição e seca. O ambiente comum para o desenvolvimento dos ETS foi caracterizado por valores elevados de CAPE, CINE e Shear, juntamente a baixos valores IWP, configurando assim um ambiente mais restrito ao desenvolvimento convectivo. Sistemas precipitantes regulares se mostraram sutilmente afetados pelas variáveis ambientais analisadas, isto pode estar associado a própria natureza dos sistemas precipitantes regulares que, de forma geral, apresentam menor

tamanho e duração que os ETS, não permitindo assim, maior interação dos sistemas precipitantes com o contexto ambiental.

As taxas de precipitação de sistemas regulares e ETS foram registradas em ambientes com características similares. Embora a estação chuvosa apresente os maiores acumulados de chuva, os sistemas precipitantes da estação seca são os que apresentam maiores taxas de precipitação e, por isso, maior potencial para eventos severos. Indicando que, de forma geral, ambientes mais restritos ao desenvolvimento convectivo tendem a diminuir o número de eventos, no entanto, quando a inibição convectiva é superada, os sistemas tendem a apresentar altas taxas de precipitação. Uma continuação deste trabalho está em andamento e busca entender os processos microfísicos e elétricos associados à ocorrência dos ETS.

Quando foram analisadas as diferenças das características microfísicas entre tempestades na estação chuvosa e seca ficou evidente que na estação seca ocorrem as tempestades com maiores valores de refletividade e ainda que há uma maior amplitude entre os valores de refletividade máximos e mínimos indicando uma maior heterogeneidade dos sistemas nessa estação. Esse mesmo comportamento foi encontrado para o parâmetro do VIL e DVIL. Fica evidente também que os sistemas precipitantes que ocorrem na estação chuvosa não são propícios a produção intensa de granizo no seu interior. Além disso, os sistemas que ocorreram na estação seca são mais profundos do que os sistemas que ocorreram na estação chuvosa.

Para trabalhos futuros seria interessante avaliar um período maior de dados, com o objetivo de caracterizar a variação interanual nas distribuições. Além disso, informações de radares polarimétricos, perfilhadores de vento que estimam velocidade vertical e análises de multicanais de satélites meteorológicos poderiam refinar e proporcionar um maior detalhamento das diferenças entre os sistemas precipitantes da estação chuvosa e seca.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, E. X. **Características microfísicas de tempestades com granizo**. 2018. 63p. Monografia (Graduação em Meteorologia). Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá.

ANAGNOSTOU, E. N.; KUMMEROW, C. Stratiform and Convective Classification of Rainfall using SSM/I-GHZ Brightness Temperature

Observations. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 14, p. 570–575, 1997.

ANSELMO, E. M. **Morfologia das tempestades elétricas na América do Sul**. 2015. 129p. Dissertação (Doutorado em Meteorologia). Universidade de São Paulo (USP), São Paulo

BISCARO, T. S. **Processos físicos que controlam a formação de nuvens rasas e sua evolução à convecção profunda na região central amazônica**. 2019. 149p. Dissertação (Doutorado em Meteorologia — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos.

BROOKS, Ian M. Air-sea interaction and spatial variability of the surface evaporation duct in a coastal environment. **Geophysical research letters**, v. 28, n. 10, p. 2009-2012, 2001.

COTTON, William R.; BRYAN, George; VAN DEN HEEVER, Susan C. **Storm and cloud dynamics**. Academic press, 2010.

DIAS, Maria Assunção F. Silva. Índices de instabilidade para previsão de chuva e tempestades severas. **Universidade de São Paulo, SP**, 2000.

EICHHOLZ, C. W. **Análise Cinemática e Dinâmica da Propagação de Células de Chuva e Aglomerados de Nuvens**. 2017. 159p. (sid.inpe.br/mtcm21b/2017/04.28.15.17-TDI). Dissertação (Doutorado em Meteorologia) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3NQ5D2P>>.

GOMES, A. M.; HELD, G. Determinação e avaliação do parâmetro densidade VIL para alerta de tempestades. In: **XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**. 2004.

HOUGHTON, Henry G. On precipitation mechanisms and their artificial modification. **Journal of Applied Meteorology**, v. 7, n. 5, p. 851-859, 1968.

HOUZE, R. A. **Cloud dynamics**. New York: Academic Press, 1993, v. 53. 62.

JOHNSON, R. H.; MAPES, B. E. Mesoscale processes and severe convective weather. In: DOSWELL, C. A. (Ed.). **Severe convective storms**. Boston, MA: American Meteorological Society, 2001. p. 71–122. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-935704-06-5_3>.

KIRKPATRICK, C.; JR, E. W. M.; COHEN, C. Sensitivities of simulated convective storms to environmental CAPE. **Monthly Weather Review**, v. 139, n. 11, p. 3514–3532, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1175/2011MWR3631.1>>.

MACHADO, L. A. T.; SILVA DIAS, M. A. F.; MORALES, C.; FISCH, G.; VILA, D.; ALBRECHT, R.; GOODMAN, S. J.; CALHEIROS, A. J. P.; BISCARO, T.; KUMMEROW, C.; COHEN, J.; FITZJARRALD, D.; NASCIMENTO, E. L.; SAKAMOTO, M. S.; CUNNINGHAM, C.; CHABOUREAU, J.-P.; PETERSEN, W. A.; ADAMS, D. K.; BALDINI, L.; ANGELIS, C. F.; SAPUCCI, L. F.; SALIO, P.; BARBOSA, H. M. J.; LANDULFO, E.; SOUZA, R. A. F.; BLAKESLEE, R. J.; BAILEY, J.; FREITAS, S.; LIMA, W. F. A.; TOKAY, A. The CHUVA project: how does convection vary across Brazil? **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 95, n. 9, p. 1365–1380, sep. 2014. ISSN 0003-0007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00084.1>>.

MACHADO, L. A. T.; CALHEIROS, A. J. P.; BISCARO, T.; GIANGRANDE, S.; SILVA DIAS, M. A. F.; CECCHINI, M. A.; ALBRECHT, R.; ANDREAE, M. O.; ARAUJO, W. F.; ARTAXO, P.; BORRMANN, S.; BRAGA, R.; BURLEYSON, C.; EICHHOLZ, C. W.; FAN, J.; FENG, Z.; FISCH, G. F.; JENSEN, M. P.; MARTIN, S. T.; PÖSCHL, U.; PÖHLKER, C.; PÖHLKER, M. L.; RIBAUD, J. F.; ROSENFELD, D.; SARAIVA, J. M. B.; SCHUMACHER, C.; THALMAN, R.; WALTER, D.; WENDISCH, M. Overview: Precipitation characteristics and sensitivities to environmental conditions during GoAmazon2014/5 and ACRIDICON-CHUVA. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 18, n. 9, p. 6461-6482, 2018.

MARQUES, J.; SANTOS, J. M.; SALATI, E. O armazenamento atmosférico de vapor d'água sobre a região Amazônica. **Acta Amazonica**, v. 9, n. 4, p. 715721, 1979.

MARKOWSKI, P.; RICHARDSON, Y. **Mesoscale meteorology in midlatitudes**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2010. ISBN 9780470682104. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/9780470682104>>

MARSHALL, J. S.; PALMER, W. M. K. The distribution of raindrops with size. **Journal of Meteorology**, v. 5, n. 4, p. 165–166, jan. 1948. ISSN 1477870X. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469\(1948\)005<0165:TDORWS>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469(1948)005<0165:TDORWS>2.0.CO;2)>.

MARTIN, S.; ARTAXO, P.; MACHADO, L.; MANZI, A.; SOUZA, R.; SCHUMACHER, C.; WANG, J.; ANDREAE, M.; BARBOSA, H.; FAN, J. et al. Introduction: observations and modeling of the green ocean amazon (GoAmazon2014/5). **Atmospheric Chemistry & Physics Discussions**, v. 16, n. 8, p. 4785–4797, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5194/acp-16-4785-2016>.

MARTINS, R. C. G.; MACHADO, L. A. T.; COSTA, A. A. Characterization of the microphysics of precipitation over Amazon region using radar and disdrometer data. **Atmospheric Research**, v. 96, n. 2-3, p. 388–394, 2010.

MASON, B.J. Physics of clouds. London, England, 1957. 481p.

MYOUNG, B.; NIELSEN-GAMMON, J. W. Sensitivity of monthly convective precipitation to environmental conditions. **Journal of Climate**, v. 23, n. 1, p. 166–188, jan. 2010. ISSN 0894-8755. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1175/2009JCLI2792.1>>

OLIVEIRA, F. N. M. D., ARAÚJO, R. L. C. D., CARVALHO, J. D. S.; SILVA, C. L. D. Inferência de mudanças climáticas na região de Manaus (AM) usando dados geotermiais e meteorológicos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, n. 2, p. 169-187, 2006.

PENDERGRASS, A. G.; CONLEY, A.; VITT, F. M. Surface and top-of-atmosphere radiative feedback kernels for CESM-CAM5. **Earth System Science Data**, v. 10, n. 1, p. 317-324, 2018.

QUEIROZ, A. P. **Monitoramento e previsão imediata de tempestades severas usando dados de radar**. 2008. 128 p. (INPE-14181-TDI/1093). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/348NPCE>>.

QUEIROZ, A. P.; CARVALHO, P. R. B.; FRANÇA, V. D. J., 2010. Aplicação de Índice de Severidade em dados do radar meteorológico do Pico do Couto-RJ, In: **Anais CBMET**. 2010.

RAIA, A.; CAVALCANTI, I. F. A. The life cycle of the south american monsoon system. **Journal of Climate**, v. 21, n. 23, p. 6227–6246, dec. 2008. ISSN 0894-8755. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1175/2008JCLI2249>>.

REBOITA, M. S., GAN, M. A., DA ROCHA, R. P., & AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, 2010.

RINEHART, R. E. **El radar para los meteorólogos**. United States of American, 2007. 512p. ISBN 978-0-9658002-2-8.

SILVA DIAS, M. A. F.; RUTLEDGE, S.; KABAT, P.; SILVA DIAS, P. L.; NOBRE, C.; FISCH, G.; DOLMAN, A. J.; ZIPSER, E.; GARSTANG, M.; MANZI, A. O.; FUENTES, J. D.; ROCHA, H. R.; MARENGO, J.; PLANA-FATTORI, A.; SÁ, L. D. A.; ALVALÁ, R. C. S.; ANDREAE, M. O.; ARTAXO, P.; GIELOW, R.; GATTI, L. Cloud and rain processes in a biosphere-atmosphere interaction context in the Amazon Region. **Journal Geophysical Research: Atmospheres**, v. 107, n. D20, p. 8072, 2002.

SPERLING, V. B. **Processos físicos e elétricos das tempestades de granizo na região sul do Brasil**. 2018. 187p. Dissertação (Doutorado em Meteorologia). — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos.

TOKAY, A.; KRUGER, A.; KRAJEWSKI, W. F.; KUCERA, P. A.; PEREIRA FILHO, A. J. Measurements of drop size distribution in the southwestern Amazon basin. **Journal Geophysical Research: Atmospheres**, v. 107, n. D20, p. 8052, 2002.

VICENTE, A. K. **Eventos extremos de precipitação na Região Metropolitana de Campinas**. 2005. 143p. 2002. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado em Geografia. Universidade Estadual de Campinas– UNICAMP. Campinas, São Paulo.

VILA, D. A.; MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H.; VELASCO, I. Forecast and tracking the evolution of cloud clusters (ForTraCC) using satellite infrared imagery: methodology and validation. **Weather and Forecasting**, v. 23, n. 2, p. 233–245, apr. 2008. ISSN 0882-8156. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1175/2007WAF2006121.1>>.

WALDVOGEL, A.; FEDERER, B.; GRIMM, P. Criteria for the detection of hail cells. **Journal of Applied Meteorology**, v. 18, n.12, p. 1521-1525, 1979.

WEISMAN, M. L.; KLEMP, J. B. The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy. **Monthly Weather Review**, v. 110, n. 6, p. 504–520, jun. 1982. ISSN 0027-0644. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1982\)110<0504:TDonSC>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1982)110<0504:TDonSC>2.0.CO;2)>.

YUTER, S. E.; HOUZE JR., R. A. Three-dimensional kinematic and microphysical evolution of Florida cumulonimbus. Part II: Frequency distributions of vertical velocity, reflectivity, and differential reflectivity. **Monthly Weather Review**, v.123, p.1941-1963, 1995.

APÊNDICE A – CARACTERÍSTICAS DOS EVENTOS DE TEMPO SIGNIFICATIVOS (ETS) DO AMBIENTE

A.1 Características dos Eventos de Tempo Significativo (ETS)

Data	Hora	Tamanho	Taxa Precipitação Média	Taxa Precipitação Máxima	Componente Zonal	Componente Meridional	Duração
DD/MM/YYYY	UTC	km	mm.h ⁻¹	mm.h ⁻¹	m.s ⁻¹	m.s ⁻¹	h
08/01/2014	18	15,73	10,35	55,42	-5,74	-3,23	2,4
17/02/2014	18	13,19	9,11	44,8	-0,16	-5,54	2,8
08/04/2014	18	11,71	9,25	43,49	-5,96	-1,73	2,4
03/05/2014	18	13,31	10,24	50,52	-7,88	0,85	5
23/06/2014	0	9,96	9,47	41,56	-8,96	0,93	6,6
22/07/2014	18	23,25	10,11	59,54	-8,7	-1,63	2,6

31/07/2014	18	16,69	10,47	73,23	-7,09	1,2	3,8
04/08/2014	18	17,46	10,36	68,28	-9,39	1,78	4
07/08/2014	12	10,52	9,26	40,83	-10,48	-0,26	2,8
07/08/2014	12	18,25	10,81	69,38	-9,93	0,18	7,4
10/08/2014	18	17,92	9,14	53,76	-3,89	-0,02	2
15/08/2014	18	10,62	11,69	57,73	-6,61	1,03	2,4

Data	Hora	Tamanho	Taxa Precipitação Média	Taxa Precipitação Máxima	Componente Zonal	Componente Meridional	Duração
DD/MM/YYYY	UTC	km	mm.h ⁻¹	mm.h ⁻¹	m.s ⁻¹	m.s ⁻¹	h
16/08/2014	18	10,94	11,12	63,21	-8,5	1,7	3
06/09/2014	18	12,89	9,36	74,07	-10,38	-0,52	2,2
07/09/2014	0	11,93	11,09	59,66	-10,93	-0,49	3,6
07/09/2014	18	11,16	10,01	52,91	-7,88	-0,88	2,4
07/09/2014	18	11,55	10,69	56,91	-9,46	0,94	3,2
07/09/2014	18	10,45	11,77	56,63	-7,72	-0,46	3,6
08/09/2014	15	17,14	9,84	58,41	-6,23	-1,18	2,4
08/09/2014	15	12,38	9,43	52,64	-8,7	-0,45	2,6
08/09/2014	18	13,09	9,51	51,4	-8,82	-1,06	2,2
16/09/2014	18	9,93	10,49	55,54	-5,05	-0,05	2,2
17/09/2014	12	12,01	10,2	51,38	-8,3	-2,02	1,8
17/09/2014	12	9,64	11,51	59,96	-6,08	-1,05	5,8
18/09/2014	15	9,91	12,4	70,27	-4,72	1,08	2,2
18/09/2014	18	11,96	10,48	65,69	-7,19	-0,34	5,2
18/09/2014	18	11,62	10,57	75,16	-7,63	0,89	2,2
20/09/2014	18	10,36	11,4	66,09	-6,71	2,04	2,2
25/09/2014	18	10,30	10,41	51,47	-7,84	-1,69	2,2
03/10/2014	18	13,22	10,64	59,56	-6,27	-0,9	3,6
03/10/2014	18	12,33	11,11	67,69	-6,23	-0,73	2,2
03/10/2014	18	14,24	10,88	73,78	-4,15	-2,81	2,2
03/10/2014	18	21,86	11,05	71,26	-9,12	-0,16	4,6
09/10/2014	18	12,95	10,64	71,53	-7,44	-0,91	3
10/10/2014	12	10,82	9,37	55,43	-6,81	-1,04	2
13/11/2014	6	13,47	10,53	57,27	-2,99	-5,05	4,4

02/12/2014	18	13,47	9,58	48,32	-6,44	-2,63	2,8
05/12/2014	18	19,92	9,09	48,49	-4,5	-2,44	3,6
23/12/2014	18	10,29	9,29	44,31	-6,65	1,34	1,8

A.2 Características ambientais durante os Eventos de Tempo Significativo (ETS)

Data	Hora	CAPE	CINE	IWP	Shear
DD/MM/YYYY	UTC	J.kg ⁻¹	J.kg ⁻¹	mm	m.s ⁻¹
08/01/2014	18	1902	0	54,3	1,66
17/02/2014	18	1386	0	57,02	0,32
08/04/2014	18	881	14	49,16	5,34
03/05/2014	18	1825	3	55,34	4,22
23/06/2014	0	1670	8	50,49	4,99
22/07/2014	18	812	16	46,08	5,29
31/07/2014	18	2490	1	45,49	4,12
04/08/2014	18	1730	46	44,21	7,84
07/08/2014	12	483	110	45,66	7,89
07/08/2014	12	483	110	45,66	7,89
10/08/2014	18	1950	4	45,08	9,53
15/08/2014	18	1506	8	48,29	10,32
16/08/2014	18	1	372	46,94	6,13
06/09/2014	18	1519	0	39,62	9,47
07/09/2014	0	2320	63	44,51	5,42
07/09/2014	18	1996	2	50,64	7,18
07/09/2014	18	1996	2	50,64	7,18
07/09/2014	18	1996	2	50,64	7,18
08/09/2014	15	2516	1	49,71	5,71
08/09/2014	15	2516	1	49,71	5,71

08/09/2014	18	2326	2	48,17	5,43
16/09/2014	18	2473	10	44	11,99
Data	Hora	CAPE	CINE	IWP	Shear
DD/MM/YYYY	UTC	J.kg ⁻¹	J.kg ⁻¹	mm	m.s ⁻¹
17/09/2014	12	382	78	41,52	9,33
17/09/2014	12	382	78	41,52	9,33
18/09/2014	15	1510	14	46,75	3,44
18/09/2014	18	1317	9	46,23	3,82
18/09/2014	18	1317	9	46,23	3,82
20/09/2014	18	1956	6	45,91	2,71
25/09/2014	18	1603	11	51,73	5,12
03/10/2014	18	466	26	50,39	9,2
03/10/2014	18	466	26	50,39	9,2
03/10/2014	18	466	26	50,39	9,2
03/10/2014	18	466	26	50,39	9,2
09/10/2014	18	3326	0	48,6	4,02
10/10/2014	12	1654	44	51,19	6,95
13/11/2014	6	0	330	52,57	6,72
02/12/2014	18	2480	0	53,57	5,26
05/12/2014	18	1744	2	44,98	4,75
23/12/2014	18	2571	25	54,16	5,51

**APÊNDICE B - ARTIGO ACEITO PARA PUBLICAÇÃO NA REVISTA
“ANUÁRIO DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UFRJ”**

**TÍTULO: Análise de Eventos de Tempo Significativo Atuantes Durante os
Experimentos CHUVA-GOAmazon2014/15**

Aline Luara dos Santos¹; Cristiano Wickboldt Eichholz²; Enrique Vieira Mattos¹;
Dirceu Luis Herdies²

¹Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, Avenida BPS, Pinheirinho, 1303, 37500-903, Itajubá, MG, Brasil

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Rodovia Presidente Dutra, km 40, 12630-000, Cachoeira Paulista, SP, Brasil

e-mails: linesants@live.com; cristiano.eichholz@gmail.com;
enrique.vmattos@gmail.com; dirceu.herdies@inpe.br

RESUMO

Este trabalho avaliou as diferenças físicas e termodinâmicas entre os sistemas precipitantes das estações seca, chuvosa e de transição que atuaram na região de Manaus/AM durante os experimentos CHUVA-GOAmazon2014/15. Foram empregados dados de refletividade do radar Banda-S de Manaus e índices meteorológicos calculados a partir de radiossondagens. Ao todo 4961 sistemas precipitantes foram identificados e rastreados através do algoritmo *Forecasting and Tracking the Evolution of Cloud Clusters (ForTraCC)*, para os quais foram calculados a taxa de precipitação, tamanho e tempo de vida. Através da metodologia baseada em percentis foram definidos os Eventos de Tempo Significativo (ETS). Esses eventos são aqueles que apresentaram, estatisticamente os maiores valores (> percentil de 90 %) de taxa de precipitação, tamanho e tempo de vida dos sistemas precipitantes. Os resultados mostraram que, embora a estação chuvosa apresente maior conteúdo de água precipitável e acumulados de chuva, os sistemas precipitantes da estação seca foram os que apresentaram maiores taxas de precipitação e, por isso, maior potencial para o desenvolvimento de eventos severos. De forma geral, uma maior quantidade de ETS ocorreram durante as

estações de transição e seca, período com menor umidade atmosférica, mas grandes valores de energia potencial disponível para convecção, energia de inibição convectiva e cisalhamento vertical do vento, o que contribuiu para processos convectivos mais intensos e duradouros.

Palavras-chave: Convecção. Precipitação. Eventos Extremos