



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS



INSTITUTO DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO DE GEOGRAFIA

IGOR AMORIM DE CARVALHO

**OS IMPACTOS DA FISIOGRAFIA DE MANAUS SOBRE OS SISTEMAS
METEOROLÓGICOS.**

Manaus - AM

2022

IGOR AMORIM DE CARVALHO

**OS IMPACTOS DA FIOGRAFIA DE MANAUS SOBRE OS SISTEMAS
METEOROLÓGICOS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, nível de Mestrado, com requisito final para a obtenção do título de Mestre em Geografia. Área de concentração: Domínios da natureza na Amazônia.

Orientadora: Professora Dra. Jaci Maria Bilhalva Saraiva

Manaus- AM

2022

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C331i Carvalho, Igor Amorim de
Os impactos da fisiografia de manaus sobre os sistemas meteorológicos / Igor Amorim de Carvalho . 2022
99 f.: il.; 31 cm.

Orientadora: Jaci Maria Bilhalva Saraiva
Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Sistemas meteorológicos. 2. Radar meteorológico. 3. Fisiografia do entorno de manaus. 4. Dados climáticos. I. Saraiva, Jaci Maria Bilhalva. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

Dedico este trabalho a minha mãe Rosimar Amorim Pereira e ao meu falecido pai Walter Alves de Carvalho Filho, ambos a quem agradeço pelas bases que contribuíram para me tornar a pessoa que sou hoje. Também ao meu irmão Italo Amorim de Carvalho, que não mediu esforços em me apoiar durante a escrita desse trabalho. Por fim, não menos importante, os meus filhos de 4 patas, Soneca e Magrela que foram ótimos companheiros durante meus estudos na madrugada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por proporcionar a dádiva da vida e a saúde, uma vez que passando por uma pandemia que abalou o mundo, Ele nos protegeu dessa enfermidade que não atingiu minha família. Além disso, agradeço por me permitir errar, aprender e a crescer, e isso contribuiu para meu desenvolvimento como profissional e como pessoa. De resto, obrigado pela sabedoria que me possibilitou de alcançar as propostas dessa pesquisa.

A minha mãe, por me apoiar nos momentos que precisava e sempre esteve a disposição para me ajudar.

Ao meu eterno pai, Walter (em memória), que mesmo distante sinto o cuidado dele sobre nossa família.

Ao meu querido irmão, Italo Carvalho, por todo apoio e incentivo, que me ajudou a concluir essa pesquisa.

A minha orientadora, Dr^a Jaci Maria Bilhalva Saraiva, que não tenho palavras para agradecer o tanto que ela já fez por mim. Mas obrigado pela paciência, pelos puxões de orelha que foram essenciais, pelo incentivo, apoio, orientação, carinho e tempo, no qual contribuiu para o desenvolvimento deste trabalho e do meu crescimento profissional.

Ao Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM, por autorizar minha entrada e a utilização de suas instalações (salas), equipamentos (computadores) e dados (radar e dados climáticos). Em especial, ao Dr. Ivan Saraiva, chefe da divisão de meteorologia, que não mediu esforços em me ajudar na conclusão deste trabalho, no qual colaborou compartilhando os conhecimentos de sua área.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFAM, em nome de todos os professores que ministraram as disciplinas do curso de Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

À secretária do Mestrado em Geografia, Maria das Graças Luzeiro, pela atenção, carinho e dedicação que sempre prestou a todos os alunos do Programa de Pós-Graduação em Geografia.

À Prof^a. Natacha Aleixo por me aceitar no Estágio a Docência, onde pude rever a disciplina de Climatologia, no qual contribuiu para o meu desenvolvimento profissional e pelos conselhos enriquecedores tanto na vida como na acadêmia.

Aos membros da banca de Defesa Prof. Dr. Ivan Saraiva, Prof.º Dr. Antônio Fábio Sabbá e o Prof.º Dr. João Kandido pelas contribuições para esta pesquisa.

Ao meu “irmão de orientação” Zilmar da Silva pelos conselhos, apoio e incentivos que levaram a concluir essa pesquisa.

Ao meu amigo Marciclei Bernardo pelo apoio e incentivos que me deu ao longo do mestrado.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEOG), em especial a: Andréia Oliveira; Hendrea Benedetto; Reumally Oliveira; Franciney Santos; Juliana Melo; Ingrid Freitas; Ilbson; Luís Felipe; Sanaê Ferreira e Andréia Andrade.

Aos amigos da graduação em Geografia que até depois de formados nossa amizade continua forte, em especial: Brenda Neri; Lannay Barros; Yago Duarte; Bianca Cavalcante; Rafaela Silva; Marcelo Meirelles; Mikael e Valdenise. Além disso, não posso esquecer um grande amigo que veio a falecer, pois foi acometido pelo vírus da pandemia, Jadson Almeida (em memória).

Aos colegas do Censipam, em especial: Lemoel Pimentel; Thalita Oliveira; Isabella Diógenes; Paulo Moura; André Leturiondo; Josyanne; Kim Lobato; Rafael Barbosa, Priscila e Fernanda.

E finalmente, aos meus irmãos de coração e amigos do peito, onde semeamos uma amizade desde 2009, em especial: Erick Duarte, Denison Brandão e Max Willer.

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”.

(Josué 1:9)

RESUMO

A pesquisa em questão buscou compreender a dinâmica dos aspectos fisiográficos em relação aos elementos meteorológicos que atinge o município de Manaus. Para tal problemática levantada, consistiu entender se a fisiografia do entorno da cidade (a região metropolitana) poderia interferir ou não na entrada dos sistemas meteorológicos. Com isso, o objetivo dessa pesquisa foi mapear a trajetória das tempestades que adentram a capital, com intuito de identificar o papel da fisiografia do seu entorno na dinâmica desses sistemas. Os procedimentos metodológicos aplicados foram um levantamento bibliográfico que abrangeu os sistemas atmosféricos atuantes na região, com destaque para a dinâmica do radar meteorológico, e a inclusão de dados da estação de superfície (INMET) e o radar meteorológico (obtido pelo SIPAM). Sobre os dados do INMET, contemplaram as variáveis meteorológicas em superfície no período de 2015 a 2019. Já por meio do radar meteorológico foi possível obter a variável de refletividade dos anos de 2018 a 2019. E utilizando um alcance de 240 km deste instrumento, foi realizado a caracterização da fisiografia do entorno da capital. Os resultados alcançados mostraram padrões significativos na dinâmica climática, no qual foi possível notar que as tempestades tendem a ser mais frequentes no período da manhã e tarde. Uma vez que ao examinar esse intervalo de tempo, observou-se que as temperaturas são mais elevadas, e isso pode corroborar para a formação de tempestades por convecção diurna. Ademais, a fisiografia no entorno apresentou evidências que pode cooperar para a formação de sistemas precipitantes, tendo destaque o rio próximo à cidade. Logo, ao relacionar essa fisiografia com os dados de refletividade do radar, percebeu-se um predomínio da entrada de sistemas precipitantes de sudeste. Isto indica que parte dos sistemas que adentram a cidade tem a possibilidade de vir dessa variável, devido a sua largura, visto que está associado pelo processo de convergência de umidade ligada com a circulação local.

Palavras-chave: Sistemas Meteorológicos, Radar Meteorológico, Fisiografia do entorno de Manaus, Dados climáticos.

ABSTRACT

The research in question sought to understand the dynamics of physiographic aspects in relation to meteorological elements that affect the city of Manaus. For such a problem raised, it consisted in understanding whether the physiography of the city's surroundings (the metropolitan region) could interfere or not with the entry of weather systems. Thus, the objective of this research was to map the trajectory of the storms that enter the capital, in order to identify the role of the surrounding physiography in the dynamics of these systems. The methodological procedures applied were a bibliographic survey that covered the atmospheric systems acting in the region, with emphasis on the dynamics of meteorological radar, and the inclusion of data from the surface station (INMET) and the meteorological radar (obtained by SIPAM). About the INMET data, they contemplated the meteorological variables on surface in the period from 2015 to 2019. Already through the meteorological radar it was possible to obtain the variable of reflectivity frequency for the years 2018 to 2019. And using a range of 240km of this instrument, the characterization of the physiography of the surroundings of the capital was performed. The results achieved showed significant patterns in climate dynamics, in which it was possible to note that storms tend to be more frequent in the morning and afternoon periods. Once examining this time interval, it was observed that temperatures are higher, and this can corroborate the formation of storms by local convection. Moreover, the physiography in the surroundings presented evidence that can cooperate with the formation of precipitating systems, especially the river near the city. Therefore, when relating this physiography with the radar reflectivity data, a predominance of southeasterly precipitating systems was noticed. This indicates that part of the systems that enter the city have the possibility of coming from this variable, due to its width, since it is associated with the process of moisture convergence linked to the local circulation.

Keywords: Meteorological Systems, Weather Radar, Physiography of the surroundings of Manaus, climate data.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura Vertical da Atmosfera	20
Figura 2: Esquema de Circulação Geral da Atmosfera	23
Figura 3: Esquema da Célula de Walker.....	24
Figura 4: Movimento de Translação	26
Figura 5: Zona de Convergência Intertropical	28
Figura 6: Deslocamento médio norte-sul da ZCIT sobre o Equador Térmico	29
Figura 7: Posição média e climatológica da Alta da Bolívia em Dezembro de 2014.	30
Figura 8: Zona de Convergência do Atlântico Sul	32
Figura 9: Esquema Típico da Faixa de Nebulosidade Convectiva para cada banda Latitudinal.....	33
Figura 10: Esquema de Circulação de El Niño e La Niña	35
Figura 11: Esquema de Circulação de Walker quando ao	35
Figura 12: Esquema de propagação da nuvem cúmulo-nimbus (Cbs).....	38
Figura 13: Dinâmica da Brisa Fluvial atuando em Manaus	39
Figura 14: Retorno do Feixe Emitido com o cálculo da distância do alvo em relação ao radar.....	42
Figura 15: Esquema de Varredura Volumétrica do Radar Meteorológico.	43
Figura 16: Varredura do PPI.....	44
Figura 17: Varredura CAPPI.....	45
Figura 18: Varredura RHI	45
Figura 19: Echotop	47
Figura 20: Mapa de Localização da Cidade de Manaus	48
Figura 21: Estação Meteorológica Automática do INMET	49
Figura 22: Mapa da Localização do Radar Meteorológico de Manaus.....	50
Figura 23: Esquema teórico da abordagem Geossistêmica.....	51
Figura 24: Mosaico dos Gráficos de Acumulado de Precipitação Horária de 2015 a 2018	60
Figura 25 : Mosaico de Temperatura Média Horária do Ar de Janeiro Junho	64
Figura 26: Mosaico de Temperatura Média Horária do Ar de Julho a Dezembro.....	65
Figura 27: Mosaico de Umidade Relativa Média do Ar Mensal de 2015 a 2019	68
Figura 28: Frequência Horária Mensal da Direção dos Ventos em Manaus	72
Figura 29: Notícia da Ventania Forte em Manaus	74

Figura 30: Mapa de Altimetria dos Feixes de Nordeste, Leste e Sudeste.....	77
Figura 31: Perfil Topográfico de Cobertura do Radar – Direção Nordeste.....	78
Figura 32: Perfil Topográfico de Cobertura do Radar - Direção Leste	79
Figura 33: Perfil Topográfico de Cobertura do Radar - Direção Sudeste	79
Figura 34: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	81
Figura 35: Mapa de Áreas Alagadas e Massa de Água sobre o Raio de 240 km	82

LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Ocorrência de Precipitação Horária de 2015 a 2019	56
Gráfico 2: Acumulado de Precipitação Horária de 2015 a 2019.....	59
Gráfico 3: Acumulado de Precipitação Horária do ano de 2019.....	62
Gráfico 4: Temperatura Média Horária do Ar de 2015 a 2019.....	63
Gráfico 5: Umidade Relativa Média do Ar de 2015 a 2019	67
Gráfico 6: Frequência Horária da Direção do Vento no Período de 2015 a 2019	70
Gráfico 7: Frequência da Direção e Velocidade do Vento sobre Manaus.	71
Gráfico 8: Frequência do CAPPI no nível de 3 km entre 2018 e 2019	87
Gráfico 9: Distribuição de Frequência do Echotop entre 2018 e 2019. Echotop 20 dBz (9A - superior). Echotop 30 dBZ (9B - meio). Echotop 45 dBZ (9C - inferior).	88

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1: Composição de gases na atmosfera	19
Tabela 2: Cronologia dos eventos de El Niño e La Niña	37
Tabela 3: Máximas Frequências de Ocorrências no Período.....	57
Tabela 4: Escala de Beaufort	73
Tabela 5: Atributos da Área de Abrangência do Radar nos setores de Nordeste, Leste e Sudeste	83

LISTAS E ABREVIATURAS E SIGLAS

AB – Alta da Bolívia

CGA – Circulação Geral da Atmosfera

CBS – Cúmulos Nimbus

dBz – Decibéis em relação ao Z

ET – Equador Térmico

ENOS – El Niño de Oscilação Sul

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

LI – Linha de Instabilidade

SF – Sistemas Frontais

SIPAM – Sistema de Proteção da Amazônia

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

TGS – Teoria Geral dos Sistemas

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
1 CAPÍTULO 1 – REVISÃO DA LITERATURA	18
1.1 Atmosfera.....	18
1.2 Composição da Atmosfera	19
1.3 Estratificação da Atmosfera.....	20
1.4 Circulação Geral da Atmosfera.....	22
1.5 Zona de Convergência Intertropical.....	25
1.6 Alta da Bolívia	30
1.7 Zona de Convergência do Atlântico Sul.....	31
1.8 El Niño e La Niña	34
1.9 Linhas de Instabilidade.....	37
1.10 Brisas Fluviais	39
1.11 Radar Meteorológico	40
1.12 Produtos do Radar Meteorológico	43
2 CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E METODOS	48
2.1 Materiais.....	48
2.1.1 Área de Estudo	48
2.1.2 Dados Utilizados.....	49
2.2 Métodos.....	50
2.2.1 Análise Geossistêmica.....	50
2.2.2 Processamentos dos Dados de Altimetria.....	53
2.2.3 Processamentos dos Dados de Vegetação.....	53
2.2.4 Processamentos dos Dados de Hidrografia	54
2.2.5 Análise das Variáveis Meteorológicas.....	54
2.2.6 Dados do Radar Meteorológico.....	55
3 CAPÍTULO 3 – RESULTADOS	56
3.1 Características Meteorológicas do Ambiente.....	56
3.1.2 Frequência de Ocorrência de Precipitação	56
3.1.3 Acumulado de Precipitação Horária Anual.....	59
3.1.4 Temperaturas Médias Mensais e Anuais do Ar	62
3.1.5 Umidade Relativa Média do Ar.....	66

3.1.6	Frequência de Direção e Intensidade do Vento Horário.....	69
3.2	Caracterização da Fisiografia de Manaus.....	76
3.2.1	Altimetria.....	76
3.2.2	Vegetação.....	80
3.2.3	Hidrografia.....	82
3.3	Distribuição de Frequência dos Echotop e o CAPPI de 3 km.....	85
3.3.1	Distribuição de Frequência do CAPPI de 3 km.....	85
3.3.2	Distribuição de Frequência do Echotop de 20, 30 e 45 dBZ.....	87
4	4. Conclusão.....	92
5	5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	95

INTRODUÇÃO

A região Amazônica se caracteriza por possuir uma grande área em extensão de aproximadamente 6,3 milhões de Km², sendo que cerca de 5 milhões estão situados no território brasileiro. Devido a sua extensão, a Amazônia desperta muito interesse no meio científico, onde possui a maior floresta tropical do mundo, e desempenha um papel fundamental contribuindo para o clima global (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998).

O regime de precipitação da Amazônia dispõe de uma grande variedade de sistemas atuantes em seu território, no qual são caracterizados das mais variadas escalas. Entender esses fenômenos são fundamentais para identificar particularmente os eventos de precipitação que adentram ou formam-se na cidade de Manaus e seus arredores. Dentre as escalas que influenciam a capital destacam-se: as locais, de mesoescala e de grande escala. Por meio disso, podemos especificar que as Brisas Fluviais são sistemas que apresentam escala local e as Linhas de Instabilidade são sistemas que compreende a meso escala, no qual configura para a formação de grandes tempestades na região. Na escala sinótica (entre mesoescala e grande escala) temos a zona de convergência do atlântico sul, os sistemas frontais e a presença da Alta da Bolívia, e em proporções globais, a Zona de convergência intertropical, que contribui na formação de nuvens que penetram o continente, atuando como o principal sistema de precipitação da região (MOLION, 1993).

O monitoramento desses sistemas meteorológicos é realizado pela Divisão de Meteorologia do CENSIPAM com parceria da Defesa Civil, por meio das previsões e alertas meteorológicos. Utilizando-se de base de dados do radar meteorológico, satélites e as estações de superfície, é possível compreender as trajetórias dos sistemas precipitantes e identificar as áreas que são mais afetadas pelas variáveis meteorológicas. Por essa razão, esses instrumentos são essências para estudos climáticos da região.

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa é analisar as trajetórias dos sistemas meteorológicos que entram e interferem o tempo na cidade de Manaus. Para mais, a pesquisa pretende ainda identificar o papel da fisiografia sobre os sistemas precipitantes, correlacionando os fatores como: corpos d'água, floresta e as áreas planas e elevadas na dinâmica destes sistemas.

1 CAPÍTULO 1 – REVISÃO DA LITERATURA

No presente capítulo será apresentado uma revisão bibliográfica da caracterização da atmosfera e os sistemas de circulação geral, assim como os principais sistemas meteorológicos atuantes na região Amazônica. Tendo em destaque a sua descrição e seu papel no regime de precipitação na região.

Os sistemas meteorológicos atuantes na região se destacam das mais variadas escalas. Dentre eles temos a presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que é um sistema de escala global formado na convergência dos ventos alísios de nordeste e sudeste que ocorre próximo ao equador. Nesta mesma faixa temos a presença dos fenômenos do El Niño e La Niña que são constituídos pelo aquecimento e resfriamento anômalo do Oceano Pacífico Equatorial.

Na escala sinótica há a presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul que é caracterizada por uma extensa faixa de nebulosidade com orientação noroeste-sudeste (NW-SE). Na mesma escala temos a existência do anticiclone formado na América do Sul conhecido como Alta da Bolívia (AB). Além disso, temos na meso escala as Linhas de Instabilidade (LI) que são formadas no norte-nordeste (N-NE) da Amazônia, e em escala local destacam-se as Brisas Fluviais.

1.1 Atmosfera

A atmosfera terrestre é definida por uma camada fina composta por gases e material particulado (aerossóis), no qual envolve toda a terra em sua extensão. Sua formação teve início no processo de remoção dos vapores e gases no interior do planeta, principalmente por meio das emissões vulcânicas.

Dentre os gases que foram liberados para a atmosfera, dois foram essenciais para sua composição atual: o vapor d'água e o gás carbônico. Através da diminuição da temperatura por meio da altitude, o vapor d'água colaborou para o processo de resfriamento da superfície, onde o ar o ascendia, em seguida, condensavam e voltavam como forma líquida. As gotas d'água que tocavam a superfície foram lentamente desgastando o solo, formando assim erosões e auxiliando na esculturação do relevo (ALMEIDA, 2016).

Ademais, o limite inicial da atmosfera é apontado pelas camadas inferiores da terra juntamente com a crosta terrestre e os oceanos. Onde se destacam um nível máximo de densidade e conforme o afastamento da camada da superfície essa

densidade tende a diminuir e se misturar com os gases rarefeitos interplanetários (DIAS et al.,2007).

1.2 Composição da Atmosfera

A atmosfera é composta de uma mistura mecânica de gases e podem variar bastante em relação a sua altitude. Sua composição atual é constituída principalmente por dois gases que são: nitrogênio (78%) e o oxigênio (21%) que chegam a alcançar cerca de 99% do ar limpo (Tabela 1), no qual são constituídos como gases constantes. Por outro lado, referente a 1% restante, temos outros gases que se configuram em pequenas proporções, e desempenham um papel fundamental, como o dióxido de carbono, o ozônio e o vapor d'água. Esses elementos são essenciais para os fenômenos meteorológicos e até para a manutenção da vida (ANDRADE-NETO; MILTÃO, 2007; BARRY; CHORLEY, 2013).

Tabela 1: Composição de gases na atmosfera

Elementos químicos		Concentração	Fonte					
Nome	Fórmula		Biogênica	Antropogênica	Fotoquímica	Vulcânica	Radiogênica	Outras
Nitrogênio	N ₂	78.084%	X			X		
Oxigênio	O ₂	20.946%	X					
Argônio	Ar	0.934%					X	
Vapor D'água	H ₂ O	0-4% (0-40 000 ppm)	X	X		X		(1)
Dióxido de carbono	CO ₂	3.94×10^{-2} % (394 ppm)	X	X		X		
Neônio	Ne	1.818×10^{-3} % (18.18 ppm)				X?		
Hélio	He	5.24×10^{-4} % (5.24 ppm)					X	
Ozônio	O ₃	$1-5 \times 10^{-6}$ % (0.01-0.05 ppm)			X			
Hidrogênio	H	5.3×10^{-5} % (0.53 ppm)	X	X				(2)
Criptônio	Kr	1.14×10^{-4} % (1.14 ppm)					X	
Xe	Xe	8.7×10^{-6} % (0.087 ppm)						
Metano	CH ₄	1.79×10^{-4} % (1.79 ppm)	X	X				
Gases Constantes			Gases Variáveis			Gases Altamente Variáveis		

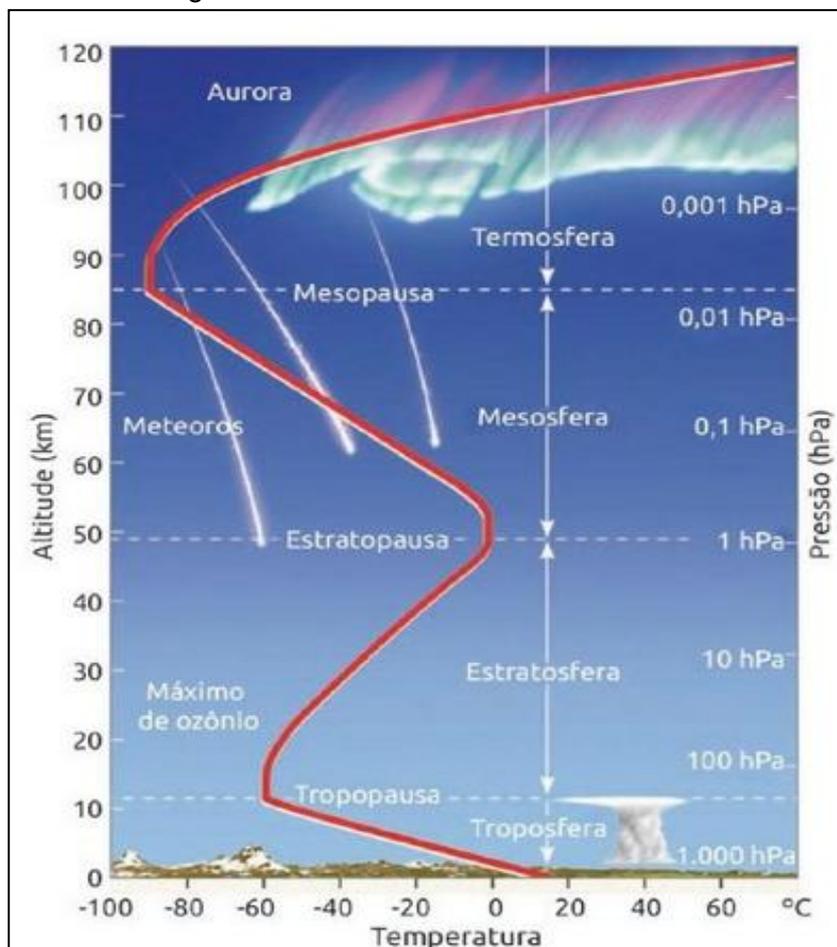
Fonte: Lagzi, 2013 – Adaptado por Igor Carvalho.

1.3 Estratificação da Atmosfera

A estratificação da atmosfera é caracterizada por meio da variação de temperatura e suas diferentes altitudes, uma vez que as evidências de sua estrutura foram comprovadas mediante os balões meteorológicos e pesquisas com ondas de rádios, sondagens em foguetes e satélites. Desta forma foi possível identificar algumas camadas relativamente quentes que estão perto da superfície entre 50 e 60 km e acima de 120 km. Além disso, essas camadas são separadas por duas relativamente frias e se encontram entre 10 e 30 km, e 80 – 100 km (BARRY; CHORLEY, 2013).

A atmosfera é caracterizada por várias camadas conforme a Figura 1, dentre elas se destacam: a troposfera, estratosfera, mesosfera e termosfera, sendo que todas essas possuem uma divisão composta pelo sufixo “pausa”, que são caracterizadas pelas camadas subjacentes.

Figura 1: Estrutura Vertical da Atmosfera



Fonte: Ynoue et al., 2017

A primeira camada constituinte da atmosfera se encontra no nível inferior, sendo analisada de baixo para cima conhecida como troposfera. É nesta camada que ocorrem os fenômenos meteorológicos, assim como, concentra-se 75% da massa molecular ou gasosa total da atmosfera, que é praticamente a totalidade do vapor d'água e os aerossóis. Seu limite se estende até aproximadamente 12 km, no entanto, nas zonas equatoriais ela se estende até 16 km, uma vez que nesta região existe forte aquecimento e turbulência convectiva vertical. Por outro lado, nas zonas polares, seu limite é de 8 a 10 km, dado que nesta região as temperaturas são mais baixas e possibilitam a concentração dos componentes atmosféricos. Com o aumento da altitude, a temperatura tende a diminuir aproximadamente a 6,5°C por km, no qual alcança o limite superior da troposfera que é nomeado como tropopausa. Essa região é caracterizada por uma camada de transição entre a troposfera e a estratosfera e apresenta uma temperatura constante (BARRY; CHORLEY, 2013).

A estratosfera é a segunda camada analisada de baixo para cima e estende-se até a estratopausa, localizada a cerca de 50 km de altitude. Sua região é caracterizada pelo aumento da temperatura que pode exceder os 0°C. Este aumento da temperatura atua como um tampão na atmosfera fazendo com que o ar que está ascendendo por convecção esteja comparativamente mais frio e, conseqüentemente divergindo no início desta camada e descendo na forma de ar seco e frio.

Esta camada trata-se de uma zona estável e não possui nenhuma convecção ou algum tipo de fenômeno meteorológico que ocorre na troposfera. Nesta região está localizada a camada de ozônio, que se origina por meio das moléculas de oxigênio quando são rompidas devido à radiação ultravioleta do sol. Além disso, o ozônio, ao absorver essa radiação ultravioleta, libera energia em forma de calor, contribuindo para que a temperatura aumente com a altura na estratosfera (BARRY; CHORLEY, 2013).

A próxima camada é a mesosfera, que se encontra entre 50 a 80 km de altitude. Sua região se caracteriza por apresenta uma semelhança com a camada da troposfera, no que se refere a diminuição da temperatura por meio da altitude. Nessa camada, devido a rarefação do ar, os meteoritos que adentram a mesosfera, normalmente entram com incandescência devido ao atrito com o ar, provocado pela

fusão da sua matéria, no qual originam os fenômenos conhecido como estrela cadente. Além disso, em sua camada superior destaca-se a mesopausa, que é conhecida como uma isotérmica, onde expressa uma temperatura que pode alcançar os 90°C negativos e sua espessura pode compreender os 10 km, com limites de 80 a 90 km (PEIXOTO, 1979; ALMEIDA, 2016).

A termosfera é quarta camada que constitui a atmosfera. Inicia-se da mesopausa e pode alcançar cerca de 500 km de altitude. Esta camada se destaca por ser bastante rarefeita e pode apresentar uma temperatura constante, no entanto, com o aumento da altitude a temperatura cresce de forma bem rápida. Este aumento está associado com a absorção de radiação de ondas curtas pelos elementos iônicos e atômicos.

1.4 Circulação Geral da Atmosfera

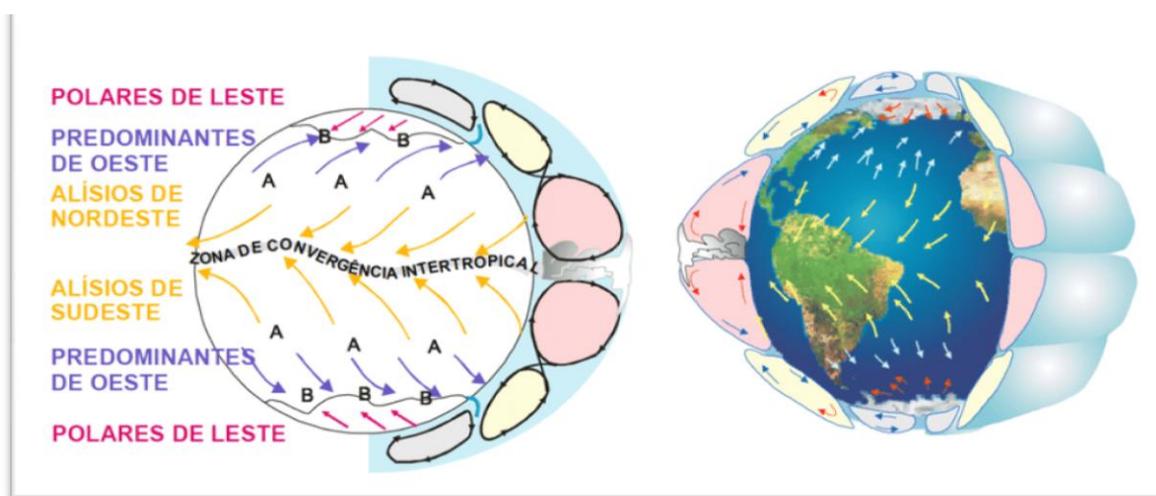
A radiação solar que adentra a terra apresenta uma distribuição diferencial de energia em todo o globo. Onde as regiões equatoriais e tropicais recebem maior energia se comparada às latitudes médias e as regiões polares. Em virtude disso, é essencial que ocorra o transporte de energia para estas regiões, uma vez que, caso não dispusessem deste mecanismo as regiões dos trópicos teriam um aumento de sua temperatura, e nas regiões polares a temperatura continuaria cada vez menor. Consequentemente, através desse desequilíbrio térmico temos o mecanismo de circulação atmosférica e oceânica (SOUZA, 2009; BARRY; CHORLEY, 2013).

A circulação geral da atmosfera (CGA) é caracterizada pela redistribuição do ar através dos movimentos horizontais e verticais para as altas e baixas latitudes. Esse sistema é responsável por transferir calor localizado nas regiões tropicais, essencialmente nas regiões equatoriais, para as regiões com maior déficit de energia. Onde a região equatorial se destaca por apresenta um intenso aquecimento, no qual faz o ar aquecido se elevar, induzindo na formação de nuvens profundas que chegam a alcançar a tropopausa com aproximadamente 16 km de altura. Essa dinâmica determina que o ar desça sobre os subtropicais, localizados aproximadamente a 30° de latitude abrangendo os hemisférios norte e sul (SILVA DIAS et al.,2009)

Esse processo de redistribuição de energia para as altas e baixas latitudes está associado a variação de pressão existente em três células convectivas de movimentos meridionais e verticais na atmosfera. Tais circulações compreendem a

célula de Hadley, a célula de latitudes médias e a célula polar, conforme é apresentado na Figura 2. No entanto, para a região Amazônica a célula de Hadley faz parte do sistema que contribui com a maior parte da precipitação que é a Zona de Convergência Intertropical. Somado a isso, temos uma importante célula que apresenta uma circulação zonal no sentido oeste-leste conhecida como célula de Walker.

Figura 2: Esquema de Circulação Geral da Atmosfera



Fonte: Varejão;Silva, 2006

A célula de Hadley se encontra numa zona de baixa pressão, onde distribui energia a partir de uma corrente de ar ascendente que se forma próximo ao equador e desce sobre as latitudes de 30° nas regiões subtropicais. Essa circulação da origem aos ventos de sudeste (Hemisfério sul) e de noroeste do (Hemisfério norte). Esta célula também contribui para a formação dos anticlones subtropicais devido ao movimento de subsidência do ar. Além disso, em níveis superiores, no ramo ascendente consistem os jatos subtropicais que são estabelecidos a partir de uma zona de convergência em altos níveis (RODRIGUES, 2012).

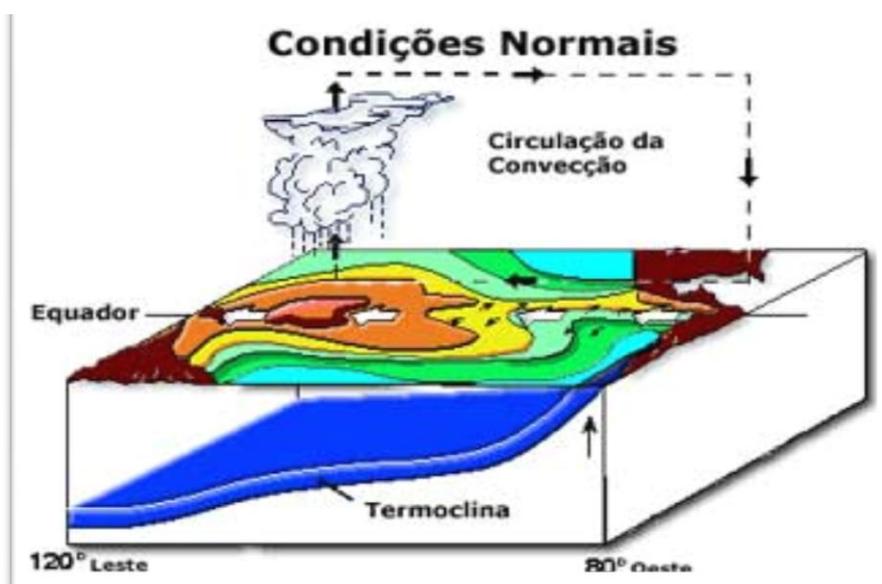
Para mais, a massa de ar que desce nas latitudes de 30° , onde se localizam os cinturões de alta pressão segue em duas direções, sendo uma em direção ao Equador e para altas latitudes. Parte da massa de ar que vai em direção aos polos é defletida para esquerda (no hemisfério sul), pela ação da força de Coriolis, no qual proporciona ventos de oeste em torno das latitudes de 60° . Nesta faixa latitudinal é caracterizada pela existência de um cinturão de baixa pressão, onde as massas de ar quentes, oriundas das latitudes de 30° , junto ao ar frio dos polos se encontram e

dão origem a uma descontinuidade, conhecida como frente polar. O encontro dessas massas de ar resulta na elevação do ar entre as regiões da média latitude e dos polos (TORRES; MACHADO, 2011).

Além das circulações meridionais (apresentadas na Figura 2), a uma outra circulação encontrada na faixa equatorial conhecida como célula de Walker, sua formação esta associada pelo aquecimento das águas do oceano Pacífico. Além disso, seu movimento em condições normais acompanha os ventos alísios de leste para oeste, em baixos níveis, contribuindo para um aquecimento na camada superior do oceano, formando assim uma região de convecção. Logo, ao convergir em altos níveis, a circulação tende a se deslocar de oeste para leste conforme visto no esquema apresentado na Figura 3.

Desta forma essa circulação apresenta um mecanismo que ocorre na costada América do sul que é conhecido como ressurgência e é caracterizada pela subidas águas profundas do oceano. Essa dinâmica faz com que as águas mais frias carreguem nutrientes e micro-organismos vindos das profundidades do oceano até alcançar a superfície do mar. Por esse motivo, esta região é favorecida por apresentar muitos peixes. Além disso, a região do Pacífico Ocidental apresenta elevados valores de temperatura da superfície do mar (TSM) e a termoclina encontra-se mais profunda, diferente do que acontece na costa leste da América do Sul (RODRIGUES, 2012).

Figura 3: Esquema da Célula de Walker



A dinâmica desta célula sobre o Oceano Pacífico contribui para melhor compreensão dos fenômenos de escala zonal e interanual, conhecido como El Niño e La Niña que fazem interação na região oeste dos Andes e também na Floresta Amazônica. Além disso, essa circulação pode se apresentar sobre o Oceano Atlântico.

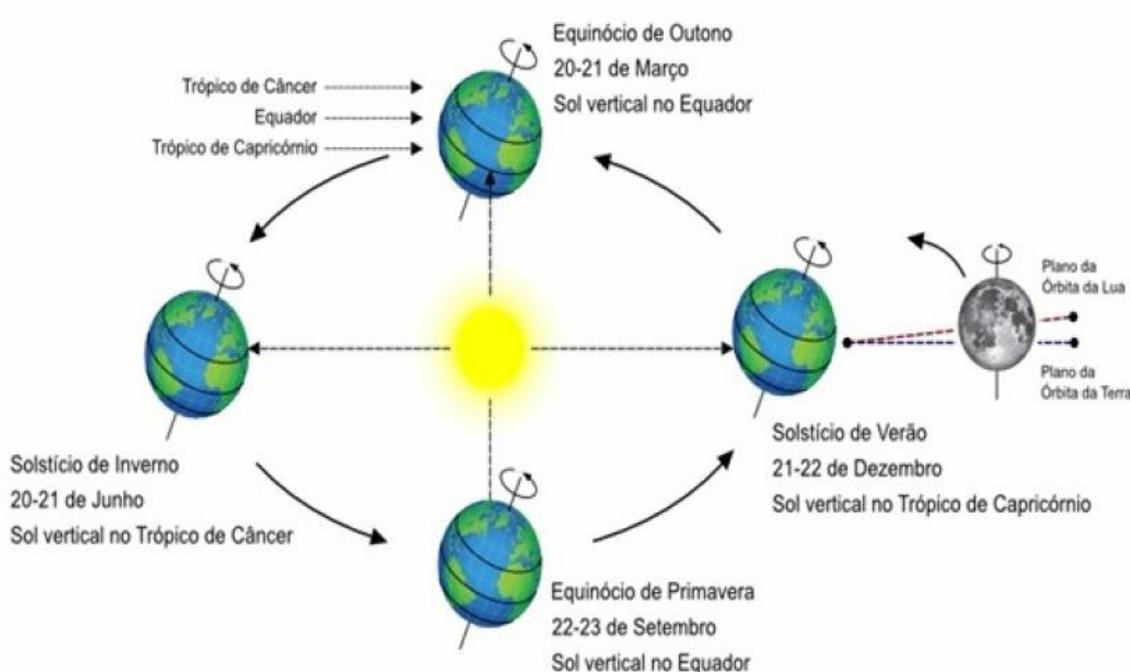
1.5 Zona de Convergência Intertropical

A energia que adentra nossa atmosfera é proveniente do Sol, no qual sua entrada é caracterizada por meio da radiação de ondas curtas, onde chega a alcançar a superfície da terra. Mediante a esse processo, parte dessa radiação é absorvida, sendo responsável pelo aquecimento do planeta e outra parte é irradiada, retornando para o espaço. Apesar disso, a radiação solar que chega a terra não ocorre de forma semelhante entre os polos e o equador, visto que, devido à forma do planeta, os raios solares atingem a região tropical quase que perpendicular à superfície, enquanto nas regiões mais próximas aos polos a incidência é oblíqua (BARRY; CHORLEY, 2013)

A quantidade de radiação solar que chega à superfície da terra é a principal fonte de energia para os diversos fenômenos atmosféricos. Onde seu processo de absorção está intrinsecamente relacionado a conceitos astronômicos, no qual é descrito pelo movimento da terra em uma trajetória elíptica em torno do Sol, conhecida como movimento de translação. Esse deslocamento da terra sobre o Sol apresenta uma distância de 150 milhões de km, visto que, esse ciclo se completa a cada 365 dias solares (PEREIRA et al., 2017).

Devido a esse processo do planeta em movimento anual em torno do Sol, pode-se apresentar uma alteração na incidência de luz sobre cada hemisfério. No qual, sua trajetória sobre seu plano inclinado de $23,5^\circ$, é responsável pela variação da elevação do Sol no horizonte, dando origem assim para as estações do ano, conforme é apresentado na Figura 4.

Figura 4: Movimento de Translação



Fonte: Meceneiro, 2018.

Em razão a este movimento astronômico que envolve as estações do ano, é possível notar a presença de dois eventos que contribuem para incidência de raios solares aos hemisférios, sendo conhecidos como o Solstício e o Equinócio. O primeiro se destaca por representar o momento em que o Sol atinge maior declínio em latitudes em relação à linha do equador, onde um dos hemisférios recebe mais energia. Além disso, à medida que a radiação solar for maior em um hemisfério, define-se como um solstício de verão. Por outro lado, quando a intensidade da radiação solar for menor, estabelece-se como solstício de inverno.

Além disso, é possível observar a incidência desses raios nas linhas tropicais. No hemisfério Norte, durante a ocorrência do solstício de verão, tal radiação se incidirá sobre o trópico de Câncer. Enquanto no hemisfério Sul, a energia solar atingirá o trópico de Capricórnio. Já o Equinócio, destaca-se como a incidência direta do sol sobre a linha do equador, onde os raios solares afetam com a mesma intensidade sobre os dois hemisférios, no qual caracteriza os dias e as noites tendo a mesma duração.

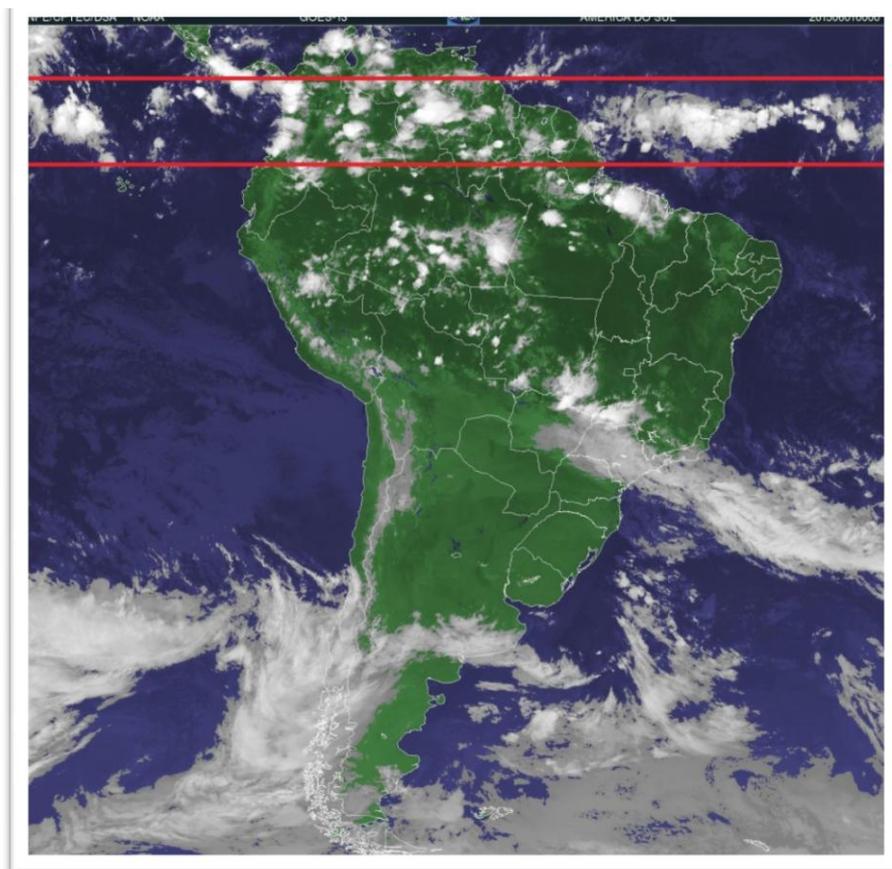
Em função da diferença de aquecimento ao redor do planeta, percebe-se a presença do mecanismo de circulação atmosférica, que movimenta as massas de ar e as temperaturas de uma região para outra. Essa circulação está associada à

célula de Hadley, no qual surge na faixa equatorial e apresenta um forte aquecimento solar, que contribui para ascensão do ar formando as nuvens de chuvas. Devido a este processo, nesta região aparece o sistema meteorológico atuante em todo o globo, conhecido como Zona de Convergência Intertropical.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) se caracteriza por ser um sistema meteorológico de escala global. Sua formação está associada na confluência dos ventos alísios de sudeste vindos do hemisfério sul e os de nordeste provenientes do hemisfério norte. O encontro destes ventos ou convergência, em superfície, faz o ar quente e úmido ascender e ocasiona a formação de muitas nuvens de chuva, contribuindo para a organização de uma faixa de nebulosidade convectiva.

Essa grande faixa de nebulosidade convectiva, influencia no regime de precipitação da região norte e nordeste do Brasil, conforme é possível observar na Figura 5. Além disso, esse sistema atmosférico é definido como um dos principais geradores de precipitação na faixa equatorial que abrange os oceanos Atlântico, Pacífico e Índico e atua na transferência de calor e umidade para as médias e altas latitudes (FERREIRA, 1996; MELO; CAVALCANTI; SOUZA, 2009).

Figura 5: Zona de Convergência Intertropical



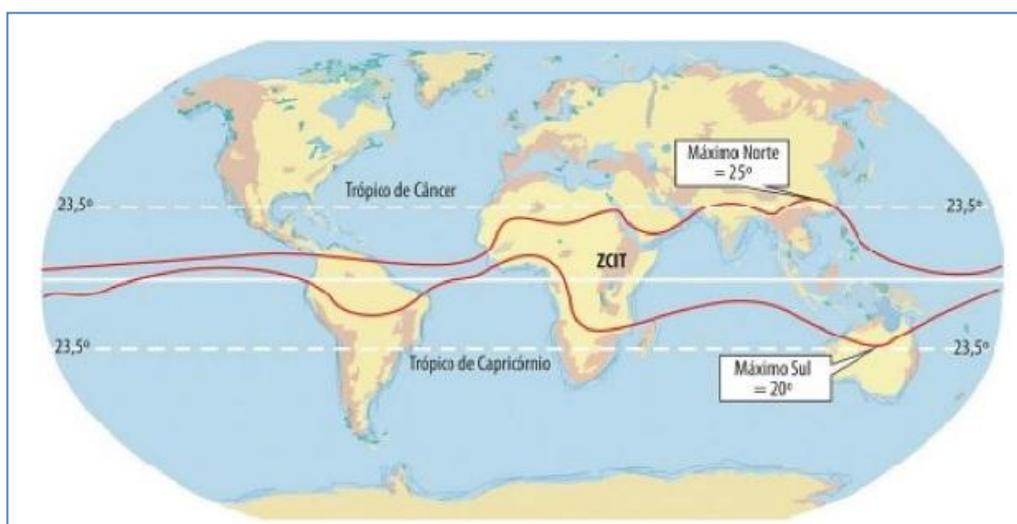
Fonte: CPTEC/INPE, Acesso: 01.06.2015.

Além disso, a ZCIT participa de um conjunto de interações meteorológicas sobre a linha do equador, sendo elas: A Zona de Confluência dos Alísios de SE e de NE (ZCA), o cavado Equatorial, a zona de máxima temperatura de superfície do mar (TSM), de máxima convergência e a banda de máxima cobertura de nuvens convectivas, todos interagindo sobre a faixa equatorial dos oceanos. No entanto, essas variáveis não atuam sempre na mesma intensidade e local, mas estão diretamente ligadas à formação da ZCIT (UVO, 1989).

Esse sistema se apresenta bem-marcado sobre os oceanos, onde a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) é um dos motivos determinantes para a sua posição e intensidade. Habitualmente, esse sistema meteorológico migra sazonalmente sua posição, por exemplo, mais ao norte, com latitude de (10°N), nos meses de agosto e setembro, enquanto mais ao sul, em torno de (5°S), durante os meses de março e abril. Essas variações além de acompanhar as estações do ano, estão relacionadas de igual com o Equador Térmico (ET), conforme é apresentado

na Figura 6. Este ET corresponde à isoterma de máxima temperatura sobre o globo, onde a localização da ZCIT sobre os oceanos se apresenta próximo ao equador geográfico, já nos continentes, mais distantes desta mesma linha (TORRES; MACHADO, 2011).

Figura 6: Deslocamento médio norte-sul da ZCIT sobre o Equador Térmico



Fonte: Steinke, 2012.

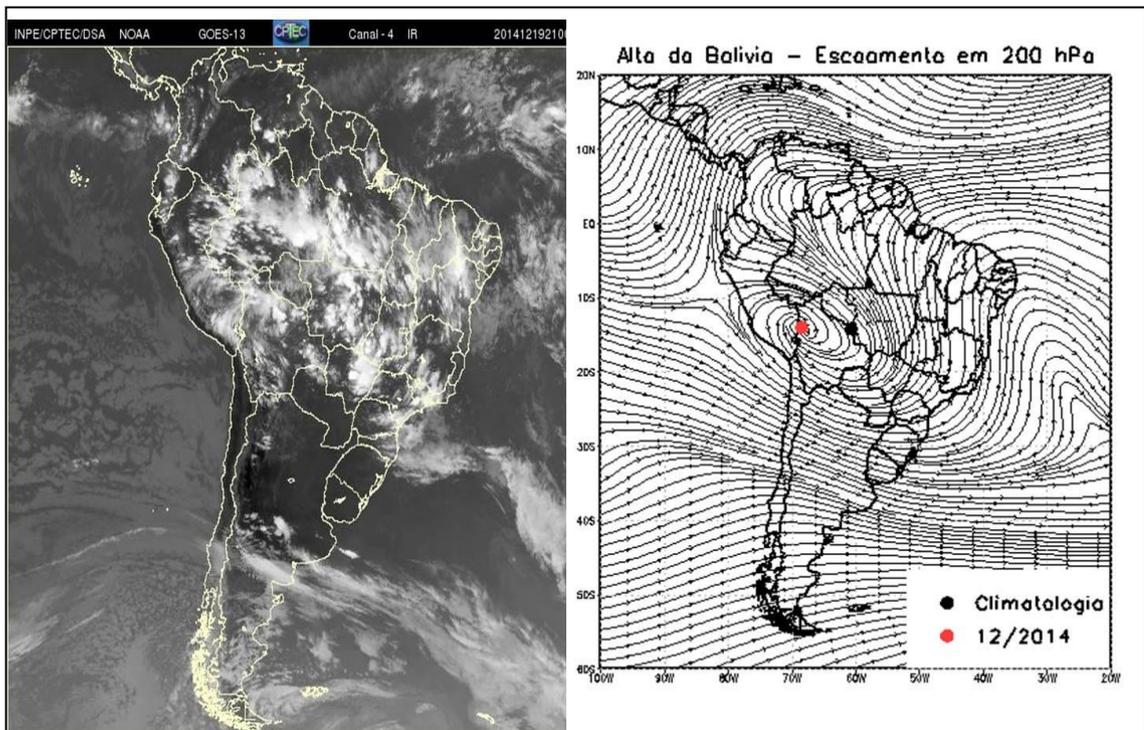
Devido ao seu deslocamento sazonal norte e sul, a região onde se encontra a ZCIT pode apresentar uma diferença em seu padrão. No qual se destacam dois efeitos, sendo eles, a continentalidade e maritimidade. A primeira aponta a presença do relevo e da vegetação que cobre os continentes, no qual apresenta uma característica que influencia no desvio significativo da ZCIT sobre essas regiões. Já a segunda, não apresenta o mesmo comportamento que a primeira, desviando a ZCIT para regiões mais afastadas, mas sim aproximando-a da linha do equador geográfico.

Mediante a isso, esse sistema meteorológico está relacionado com o tempo e o clima das regiões tropicais, assim como está envolvida com o balanço térmico global, no qual atua como um condutor de calor e umidade dos níveis inferiores para as regiões superiores, abrangendo as latitudes médias e altas. A célula de Hadley é o mecanismo que contribui para o transporte de calor, ascendendo o ar por convecção na região equatorial e dirigindo-se até as latitudes superiores pelas camadas atmosféricas mais altas.

1.6 Alta da Bolívia

A Alta da Bolívia (AB) é caracterizada por uma circulação anticiclônica de grande escala, ocorrendo na alta troposfera durante o verão do Hemisfério Sul. Esse sistema meteorológico surge por meio da intensa liberação de calor latente condensado, que está associada aos sistemas térmicos em superfície, conhecido como Baixa do Chaco. No qual é derivado do aquecimento superficial no Altiplano Boliviano e abrange as regiões do norte do Chile e Peru. Além disso, esse sistema favorece a intensificação da convecção sobre a região da Amazônia, conforme é observada Figura 7 (GUTMAN, G.J. SCHWERDTFEGER, 1965; GUSMÃO, 1996; ANDRADE, 2007).

Figura 7: Posição média e climatológica da Alta da Bolívia em Dezembro de 2014.



Fonte: CPTEC, 2020 – Adaptado Igor Carvalho.

Esse sistema meteorológico em altos níveis apresenta-se como semi-estacionário, e pode exibir uma variação sazonal e intra-anual associado com a convecção da Amazônia. A AB apresenta seu deslocamento em outubro, sobre o oeste da Amazônia, posiciona-se sobre a Bolívia durante o verão e se localiza para a Amazônia central no mês de Abril. Esse processo está associado ao deslocamento do sol em relação à terra.

Além disso, durante os meses de inverno no Hemisfério Sul, esse sistema exibe uma desintensificação em sua estrutura, onde os setores sul e leste da Amazônia apresentam um período de estação seca. Devido a isso, no mês de outubro a AB começa a se mover para sua posição média de verão, ocasionando o fim da seca no sentido do Brasil central para o leste da Amazônia (MOLION, 1987).

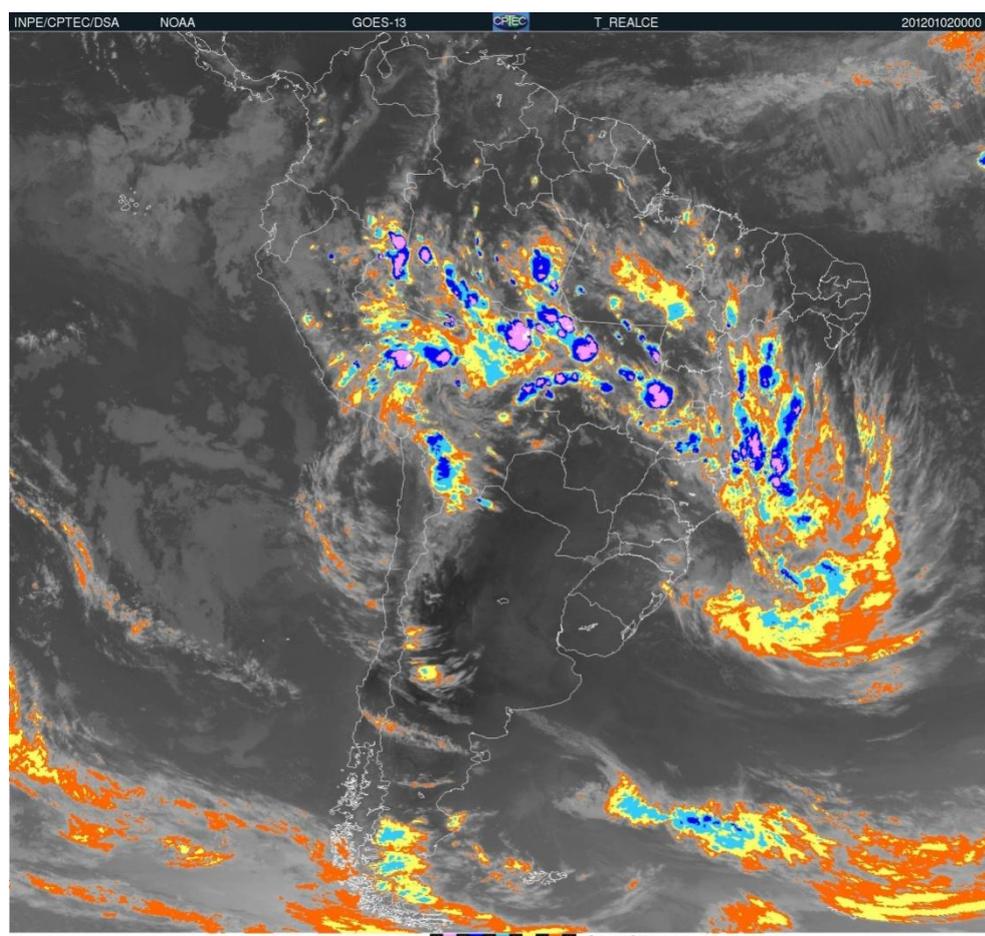
A Alta da Bolívia se destaca por exibir uma interação com outros sistemas meteorológicos atuantes na América do Sul. Estes sistemas são conhecidos como os Vórtice Ciclone de Altos Níveis (VCAN) e os Sistemas Frontais (Sfs), e são fundamentais para o ciclo hidrológico e climático de grande parte do continente.

Devido a essa interação, quando a AB se estabelece termodinamicamente, os sistemas frontais do Hemisfério Sul, que penetram no Brasil Central, são “ancorados” por esse sistema, permanecendo semi-estacionário e constituindo a Zona de Convergência do Atlântico Sul - ZCAS pela intensificação da convergência do fluxo de umidade entre a convecção da Amazônia e um sistema frontal localizado no sudeste do país. Em decorrência desta movimentação da AB, ultimamente vem sendo comum referir-se à atividade convectiva profunda de verão austral, precipitação intensa e características atmosféricas de circulação de grande escala como Sistema Sul Americano de Monção (SSAM) (ANDRADE, 2007).

1.7 Zona de Convergência do Atlântico Sul

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), assim como a ZCIT, contribui para o regime de precipitação na região Amazônica. Esse sistema meteorológico é caracterizado por apresentar uma persistente faixa de nebulosidade bem marcada com orientação de noroeste-sudeste (NW-SE) sobre a América do Sul, onde se estende sobre o sul da Amazônia até o sudoeste do atlântico sul, conforme representado na Figura 8 (QUADRO; PEZZI; ROSA, 2016)

Figura 8: Zona de Convergência do Atlântico Sul



Fonte: CPTEC/INPE, Acesso: 20.12.2001.

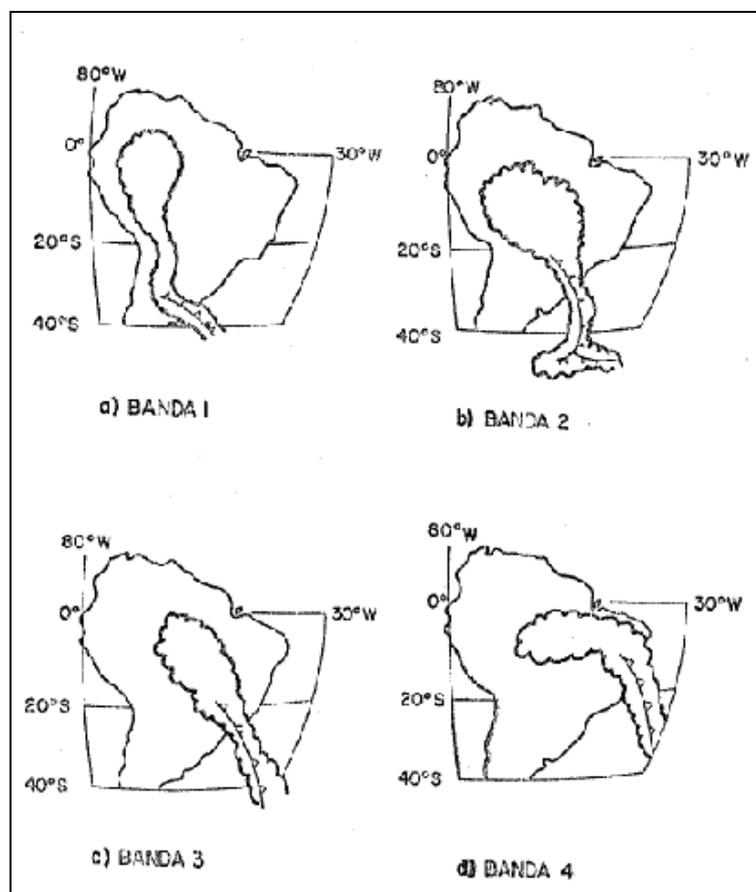
Esse sistema meteorológico só é classificado como ZCAS se a banda de nebulosidade durar no mínimo quatro dias, se estendendo de noroeste-sudeste que vai desde o sul da Amazônia até o sudoeste do Oceano Atlântico Sul. No entanto, na condição de não apresentar essa permanência, essa faixa de nebulosidade pode ter sido originada por um sistema frontal (SF).

Mediante isso, esse sistema meteorológico pode atuar em baixos níveis, no qual é caracterizado por uma convergência de umidade, tendo orientação de noroeste-sudeste (NO-SE), favorecida pelo Jato de Baixos Níveis (JBN). Onde o escoamento oriundo dos ventos alísios adentra o continente sul-americano na região equatorial transportando vapor d'água do Atlântico equatorial e da bacia Amazônica em direção ao Atlântico Sudoeste.

Todavia, Oliveira (1986) ressalta a importância da organização dessa faixa de nebulosidade e a entrada dos sistemas frontais (SFs) no sul do Brasil. Onde apresenta uma interação com os sistemas convectivos tropicais (CT) e os sistemas

frontais (SFs), estabelecendo uma análise climatológica dessa interação. Sendo caracterizados por quatro bandas, conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9: Esquema Típico da Faixa de Nebulosidade Convectiva para cada banda Latitudinal



Fonte: Oliveira, 1986.

Dentre essas quatro faixas de Nebulosidade destacadas na Figura 09, a Banda 1 manifesta-se no início do verão e fica marcado a interação entre a convecção da Amazônia com o sistema frontal. A mesma se estende ao longo da Cordilheira dos Andes e compreende parte do Oeste da Amazônia. Já na Banda 2, temos a entrada dos SFs no sul do Brasil, que se associa com a convecção tropical e atinge a parte Oeste e Central da Amazônia.

Por outro lado, a Banda 3 apresenta a entrada dos SFs atingindo a parte sul e sudeste do Brasil, estando associada com a convecção vinda da Amazônia Central. Além disso, esta banda se destaca por contribuir com as chuvas que chegam sobre a cidade de Manaus-AM. Por fim, a Banda 4 em destaque apresenta a entrada dos SFs mais a sudeste, chegando a alcançar parte da Amazônia Oriental.

1.8 El Niño e La Niña

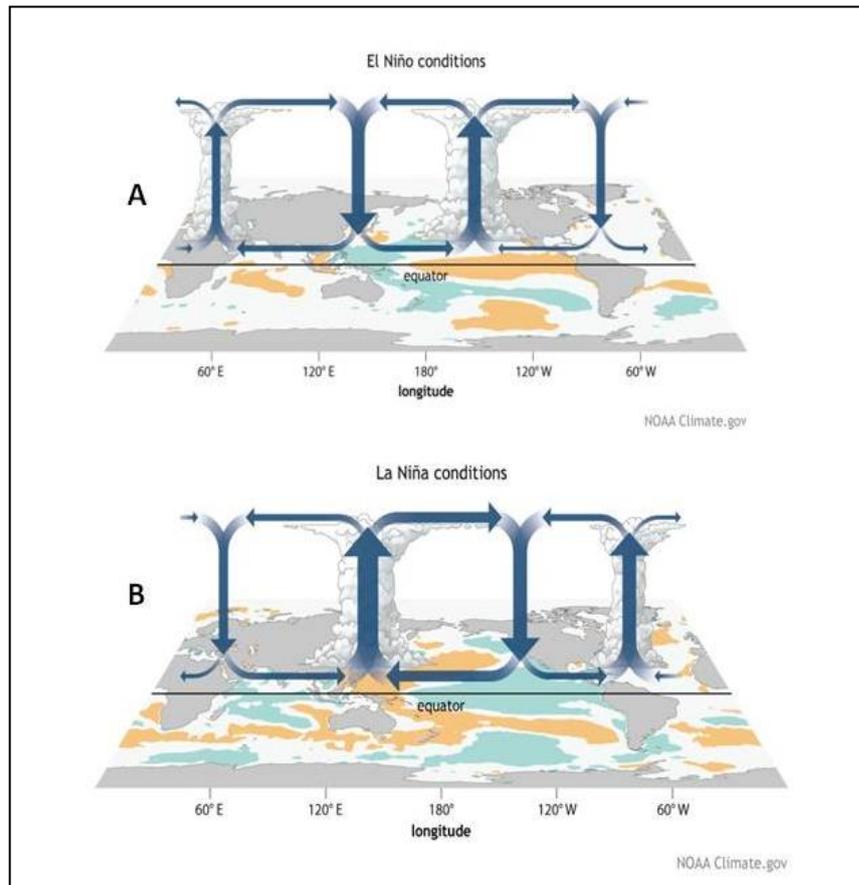
El Niño e La Niña são sistemas meteorológicos de grande escala e caracterizados por apresentar uma interação com o oceano-atmosfera, que ocorre no Pacífico Equatorial. No qual estão associados ao aquecimento e resfriamento anormal da Temperatura de Superfície do Mar (TSM) que podem afetar o regime de chuvas em várias partes do globo terrestre, inclusive na região Amazônica.

De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007) , o El Niño Oscilação Sul (ENOS) é constituído pela interação das águas superficiais do Pacífico com a atmosfera, no qual é gera uma “gangorra” barométrica que compreende as regiões do Taiti e Polinésia francesa (Leste do Oceano Pacífico) e a região de Darwin na Austrália (Oeste do Oceano Pacífico).

A Figura 10 apresenta a dinâmica dessa circulação em condições de El Niño (A) e La Niña (B). Onde o padrão de circulação do El Niño é caracterizado por apresentar um enfraquecimento nos ventos alísios e um aquecimento anômalo superficial nas águas do Pacífico Equatorial Oriental e Central, atingindo a costa do Peru. Esse fenômeno apresenta temperaturas que podem se elevar de 3° a 5° acima da média e pode durar de 12 a 18 meses (do aquecimento até o resfriamento), no qual manifesta sua intensidade de Dezembro a Janeiro e termina na metade do segundo ano (OLIVEIRA; SATYAMURTY, 1997). Além disso os ventos alísios que sopram de leste sobre o Equador, carregam as águas quentes superficiais para direção oeste. Essa dinâmica contribui para o processo de (ressurgência) que é o transporte das águas frias até a superfície, onde são trazidos os nutrientes e micro-organismos que contribuem para a cadeia alimentar nesta região.

Ainda na Figura 10, os padrões da La Niña podem ser verificados pelo fortalecimento dos ventos alísios que carregam as águas quentes de leste para oeste. No qual esse evento corresponde ao resfriamento anômalo das águas superficiais do Pacífico Equatorial Central e Oriental, formando uma “piscina de águas frias”. De modo geral, esse fenômeno se inicia em um determinado ano e atinge sua intensidade no final daquele ano, vindo a se dissipar em meados do ano seguinte (CALDERON; BORSATO, 2017).

Figura 10: Esquema de Circulação de El Niño e La Niña



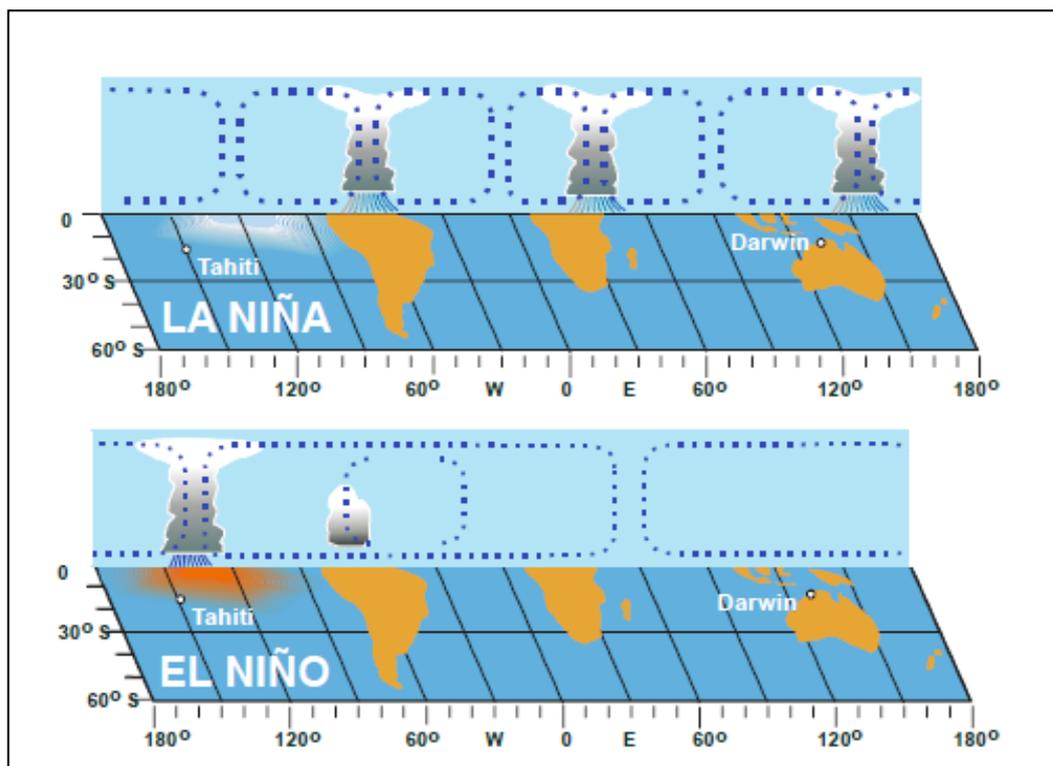
Fonte: climate.gov. – Adaptado: Igor Carvalho.

Esse sistema meteorológico pode ser quantificado pelo Índice de Oscilação Sul (IOS). No qual representa um indicador atmosférico que mede a diferença de pressão ao nível do mar entre duas regiões distintas – Taiti e Darwin. Essas medições expressam duas fases extremas que são: a Fase Positiva – correspondente à ascensão do ar e a presença de chuva na bacia Amazônica, África central e Indonésia. E a Fase Negativa, mostra um desvio do ar ascendente do Pacífico em direção a leste, apontando um enfraquecimento dos ventos alísios e um aumento na temperatura do oceano que pode alcançar os 2° C acima da média (BARRY; CHORLEY, 2013).

A partir da Figura 11 é possível notar que em condições positivas o ramo ascendente da célula de Walker permanece sobre a Amazônia, enquanto o ramo descendente encontra-se sobre o Atlântico Sul. Desta forma, é possível afirmar que durante eventos de La Niña há tendência para maior ocorrência e quantitativos de chuva sobre a Amazônia (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Figura 11: Esquema de Circulação de Walker quando ao

Índice de Oscilação Sul (IOS) – Positivo (Acima) e Negativo (Abaixo).



Fonte: Varejão-Silva, 2006.

No entanto, a dinâmica da circulação de Walker com os fenômenos de El Niño e La Niña apresentam características marcantes na sua identificação. Sendo a primeira a apontar um movimento ascendente sobre o Oceano Pacífico, mostrando em altos níveis, a diferença na variação da pressão atmosférica de sentido Oeste-Leste. Já na segunda, os traços que expressam o surgimento do fenômeno El Niño, modificam a circulação de Walker, fazendo as temperaturas se elevarem e o ramo ascendente desta célula se deslocar, encontrando-se entre o caminho da América do Sul e a Oceania. Conseqüentemente, com a alteração na circulação de Walker, as outras células tendem a se deslocarem. Sendo assim as regiões norte e nordeste do Brasil tendem a registrar precipitações abaixo de suas médias durante eventos de El Niño (Figura 11).

Por outro lado, na época de La Niña, a célula de Walker fica mais alongada que o normal, atingindo com grande quantidade de chuvas as regiões do Oceano Índico a Oeste do Oceano Pacífico, passando pela Indonésia. Além disso, a região com movimentos descendente da célula de Walker apresenta-se localizada no Pacífico Equatorial Central, desta forma as chuvas tendem a ser mais (menos) constante nas regiões norte (sul) (OLIVEIRA, 2001).

A Tabela 2 apresenta a cronologia dos eventos de El Niño e La Niña que ocorreram nos últimos anos; também a intensidade dos mesmos. Entre os eventos descritos na Tabela 2, destaca-se para os que ocorreram nos anos de 1997-1998 (El Niño) e 1998-2000 (La Niña). Dentre esses, o El Niño de 1997-1998 registrou uma significativa redução nas chuvas da região Amazônica, apontando para anomalias negativas, no qual atingiram a região central do estado do Amazonas (OLIVEIRA, 2019).

Tabela 2: Cronologia dos eventos de El Niño e La Niña

Eventos	Ano	Intensidade
EL NIÑO	1982 - 1983	Forte
	1986 - 1987	Moderada
	1987 - 1988	Forte
	1992 - 1993	Fraca
	1997 - 1998	Forte
	2002 - 2003	Moderada
	2006 - 2007	Moderada
	2009 - 2010	Moderada
	2015 - 2016	Forte
LA NIÑA	1988 - 1989	Moderada
	1998 - 1999	Fraca
	1999 - 2000	Moderada
	2007 - 2008	Moderada
	2010 - 2011	Moderada
	2017 - 2018	Moderada

1.9 Linhas de Instabilidade

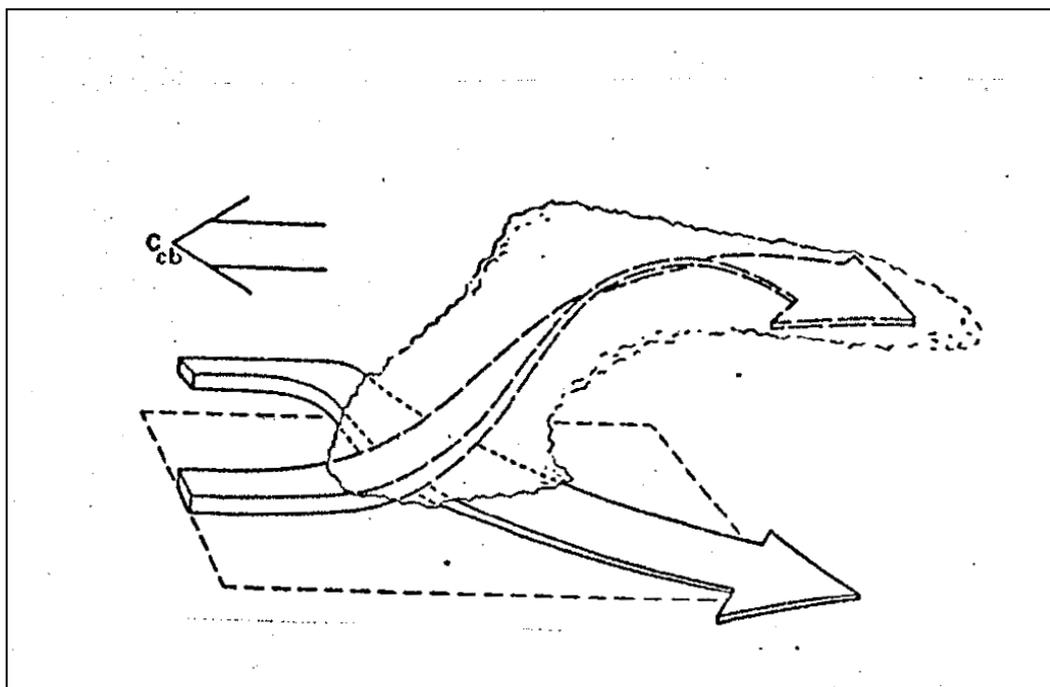
As Linhas de Instabilidade (LI's) são sistemas de meso escala que ocorrem na Amazônia e são responsáveis pela grande quantidade de chuva que ocorre na costa litorânea do Pará e Amapá. Essas linhas podem se deslocar por vários km do continente e acabam contribuindo para a precipitação na Amazônia central, principalmente no período da estação seca. (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998).

Estas (LI's) são caracterizadas por apresentarem grandes conglomerados de nuvens cúmulo-nimbos (Cbs) e são formadas devido à influência da circulação marítima, podendo se prolongar para o interior do continente (COHEN, 1989).

Essa circulação ocorre em resposta ao gradiente horizontal de pressão, que é gerado pelo contraste térmico diário entre o continente e o Oceano Atlântico. A brisa marítima se desenvolve quando é estabelecida a ascensão do ar no continente, relativamente mais quente do que o oceano, durante o dia. (COHEN, 1989, p.1).

A formação das (LIs) se dá basicamente pelo grande aquecimento solar sobre a região tropical, onde é caracterizada por uma cúmulo-nimbus e aparenta sua estrutura no formato de um bigorna, conforme mostrado na Figura 12. O desenvolvimento dessas Cbs se dá devido aos jatos de baixos níveis mostrarem que o cisalhamento dos ventos, em níveis inferiores, é importante para a formação de nuvens de Cbs. Assim, elas se propagam em relação ao vento em todos os níveis na vertical.

Figura 12: Esquema de propagação da nuvem cúmulo-nimbus (Cbs).



Fonte: Cohen, 1989

Esse sistema meteorológico pode ser classificado em dois tipos: “Linhas de Instabilidade de Propagação – (LIP)” e “Linha de Instabilidade Costeira – (LIC)”. A primeira é definida por propagar-se para dentro do continente, por longas distâncias

e podendo chegar até o extremo oeste da Amazônia. Já a LI do segundo tipo é caracterizada por se formar e se dissipar na costa litorânea. De acordo com Cohen (1998) estes sistemas de mesoescala estão associados com cerca de 45% das chuvas que ocorrem no leste paraense, durante o período chuvoso.

1.10 Brisas Fluviais

A Brisa Fluvial é um sistema meteorológico de escala local que ocorre na baixa atmosfera em decorrência da variação nos campos temperatura e pressão de diferentes superfícies, no caso terra e água. Na região, os grandes rios da Amazônia induzem a formação desta circulação. Portanto, sua formação está relacionada com o mecanismo físico do ar, devido ao contraste térmico entre água-terra, e move-se em direção ao continente durante o dia e vice-versa à noite (OLIVEIRA; FITZJARRALD, 1993).

O que ocorre é que durante o dia, a superfície da terra é aquecida mais rapidamente que, por consequência aquece o ar acima desta camada. Este ar quente se torna mais leve e ao subir formam uma área de baixa pressão. Em paralelo a noite esta dinâmica ocorre ao contrário, visto que a terra tende a se esfriar mais rápido que o corpo de água. Desta forma a baixa pressão é formada sobre o rio (com menor intensidade, visto que o gradiente de temperatura é menor) e o vento se desloca da terra para o rio tipificando a brisa terrestre. (Figura 13).

Figura 13: Dinâmica da Brisa Fluvial atuando em Manaus



Fonte: Igor Carvalho, 2022.

Esta inversão na direção do gradiente de pressão, não se dá de forma abrupta, uma vez que durante a madrugada e no final da tarde a brisa enfraquece, à medida que o gradiente vai diminuindo até que se anule, invertendo assim seu deslocamento. E a brisa com sentido contrário cresce sua intensidade conforme o gradiente aumenta.

Em análise deste fenômeno, Oliveira e Fitzjarrald (1993) fizeram observações radiométricas e identificaram a existência desta circulação em baixos níveis da atmosfera (superfície até 2000 metros). Observando um fluxo de vento da floresta para o rio durante a noite e início da manhã, e do rio para a floresta entre a tarde e o começo da noite, com gradiente térmico entre o rio e a floresta de -3°C durante o dia e de $+6^{\circ}\text{C}$ durante a noite.

É provável que esse efeito seja mais intenso nas regiões em que a largura do rio seja maior, como por exemplo próximo a capital Amazonense (confluência dos rios Negro e Solimões), na região de Santarém (rios Tapajós e Amazonas) e próximo a cidade de Belém (rios Tocantins, Guamá e parte sul da foz do rio Amazonas) (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998).

1.11 Radar Meteorológico

O radar meteorológico é um sensor que transmite pulsos de energia eletromagnética para a atmosfera em uma ordem de microssegundos e tem como objetivo detectar e localizar alvos por meio das ondas de rádio.

Sua origem ocorreu nos anos de 1930 e foi desenvolvido pelos britânicos, alemães, franceses e americanos para o uso militar, com a meta de aprimorar suas defesas na detecção de navios e aviões inimigos durante a segunda guerra mundial. Na época, o alcance do radar era de 65 km, no qual mostrou um potencial para detectar alvos meteorológicos que interferiam na visualização de aeronaves e embarcações. Todavia, em 1940 foi desenvolvida uma válvula chamada Magnetron, elaborada por John Randall e Henry Boot, da Universidade de Birmingham. A mesma foi capaz de produzir pulsos de elevadas potências com o comprimento de onda de 10 cm, onde foi possível aumentar o alcance do radar meteorológico (ANGELIS, 2011).

Após o fim da 2ª guerra mundial, o radar que era utilizado exclusivamente em atividades militares, passou a ser operado para outras finalidades, assumindo pesquisas na área da Meteorologia. Já na década de 60, os radares meteorológicos

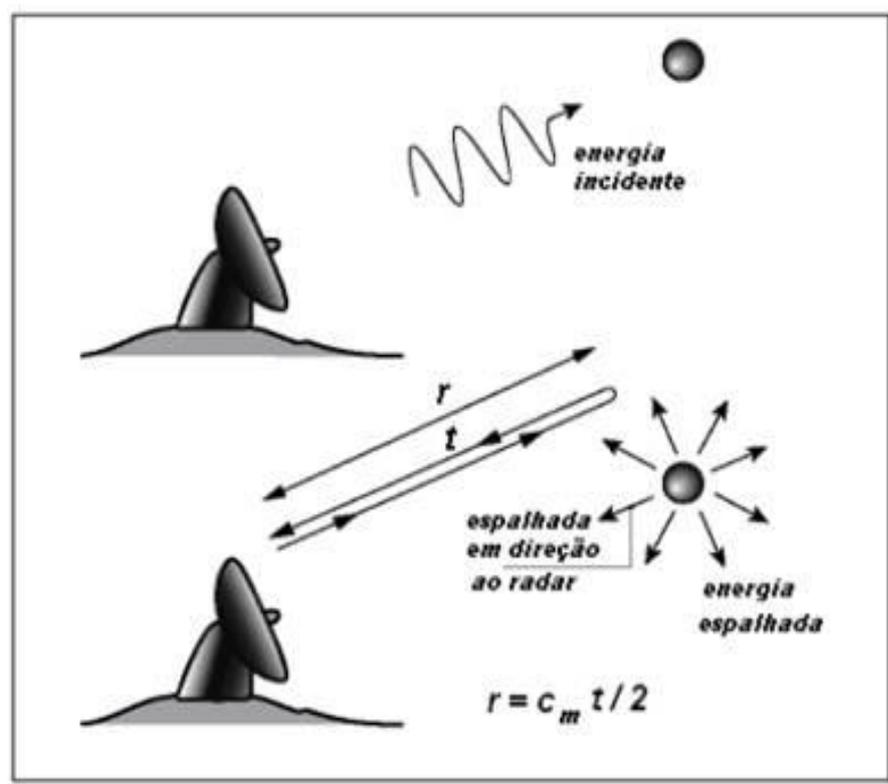
tiveram seu primeiro avanço tecnológico, após o desenvolvimento da técnica Doppler, visto que possibilitou determinar a velocidade e o deslocamento dos alvos (QUEIROZ, 2009; ANGELIS, 2011). Para a meteorologia os alvos observados pelo radar são as partículas de água, água congelada, cristais de gelo, graupel e granizo.

A radiação eletromagnética emitida pelo radar apresenta oscilações que se propagam através do espaço, transportando energia à velocidade da luz (C). A característica da radiação eletromagnética é destacada pela sua frequência (F) e seu comprimento de onda (λ), no qual estão relacionados com a velocidade da luz, mediante a equação (QUEIROZ, 2009):

$$F = C / \lambda \quad (1)$$

Por meio da concentração de um feixe de pequena abertura da antena rotativa do radar, os alvos iluminados (hidrometeoros) podem absorver a radiação eletromagnética e irradiá-la em diversas direções (Figura 14). A fração que é emitida pelo radar e que volta para sua antena é medida pelo receptor, amplificada e disponibilizada em forma de imagem. Também, conhecendo o intervalo de tempo entre a emissão e o retorno do eco é possível identificar a distância do alvo (QUEIROZ, 2009).

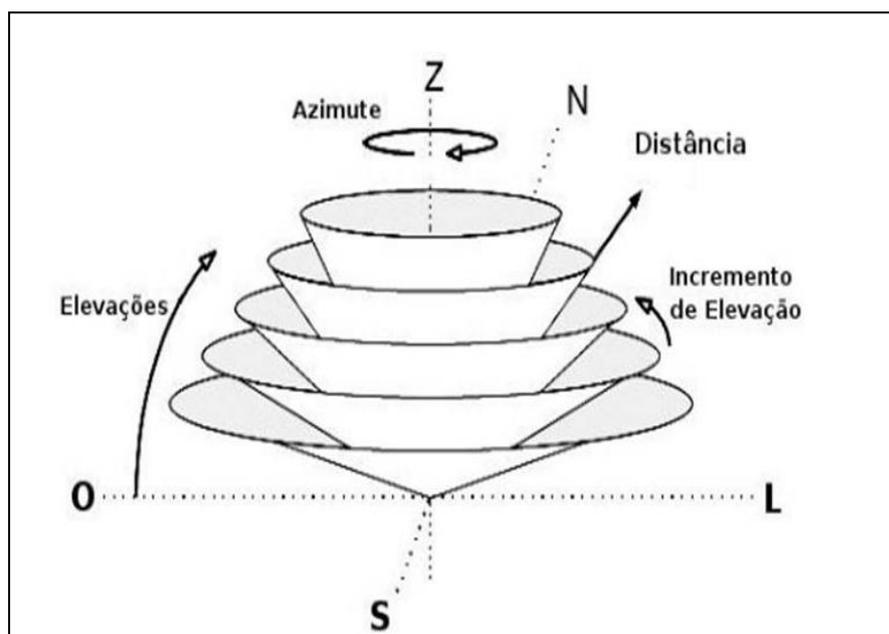
Figura 14: Retorno do Feixe Emitido com o cálculo da distância do alvo em relação ao radar.



Fonte: Queiroz, 2009.

O radar meteorológico efetua um levantamento de informações dentro do seu raio de alcance, no qual consegue coletar respostas através de uma varredura completa da antena do radar em elevação (0-90°) e azimute (0-360°). Esse processo é conhecido como varreduras volumétricas, onde o feixe do radar é direcionado para um ângulo de elevação e é mantido constantemente até completar um giro em torno do seu eixo. Depois de feita a primeira rotação, o feixe é conduzido para um novo ângulo de elevação e inicia-se uma nova execução. Após vários ângulos, o espaço varrido pelo feixe apresenta um conjunto de cascas, tendo uma aparência cônica sobreposta, no qual é destacado na Figura 15.

Figura 15: Esquema de Varredura Volumétrica do Radar Meteorológico.



Fonte: Oliveira, 2020

1.12 Produtos do Radar Meteorológico

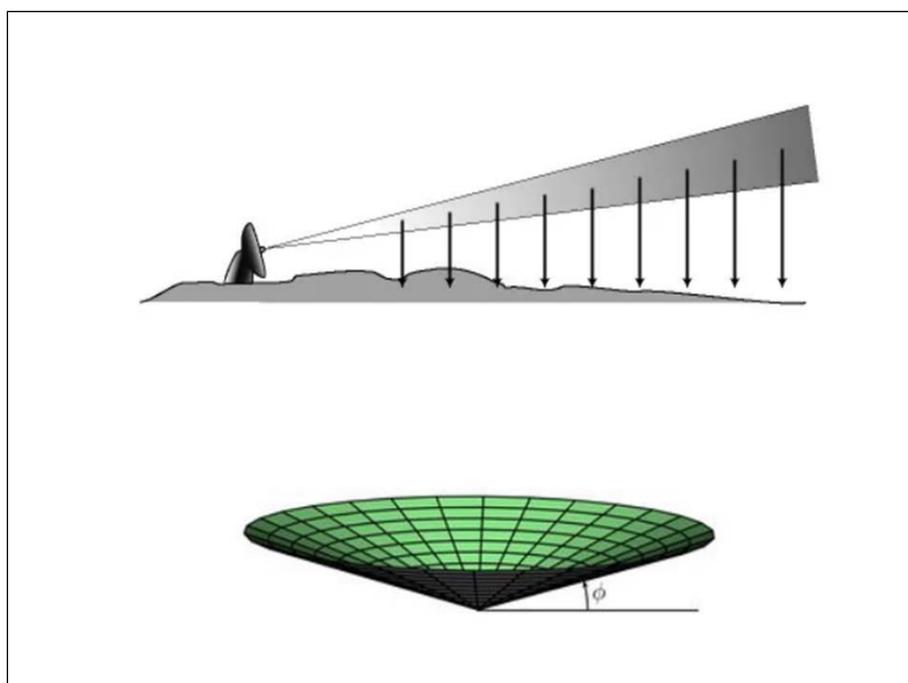
Após realizar a varredura volumétrica de acordo com a “receita” determinada pelo operador o radar gera um volume contendo informações de refletividade não corrigida (UZ), refletividade corrigida (Z), velocidade radial (V) e largura espectral (W), para o caso de radares de uma única polarização. Existem radares mais modernos que possuem dupla polarização (emissão de ondas na horizontal e vertical) e proporcionam outras 5 variáveis. Os radares meteorológicos do Censipam possuem apenas uma única polarização.

A partir do dado volumétrico do radar uma série de produtos podem ser gerados, a partir de diferentes variáveis. Para o referido trabalho será utilizado apenas produtos derivados da refletividade do radar, conforme descritos abaixo. Adicionalmente, de acordo com o modo de obtenção das medidas são determinados modos de observação e da mesma forma são gerados os produtos. Por exemplo, temos o PPI (*Plan Position Indicator* - Plano Positivo Indicador), o CAPPI (*Constant Altitude Plan Position Indicator* - Constante Altitude Plano Positivo Indicador) e o RHI (*Range Height Indicator* - Indicador de Posição e Altura).

O PPI é obtido a partir de uma varredura em azimute, com elevação constante, visto que sua variável é plotada em um plano horizontal, em que indica o centro como marca da posição do radar. Além disso, esse produto pode ser utilizado

na vigilância de grandes distâncias, alcançando um raio de 400 km (ANGELIS, 2011). Para este produto, à medida que a distância do radar aumenta, a altitude do feixe tende a apresentar certo aumento em comparação a superfície. E isso pode ser notado de acordo com a Figura 16, que exhibe o processo de varredura do radar em um determinado ângulo de elevação fixa, e registra como a altitude do feixe aumenta (OLIVEIRA, 2014).

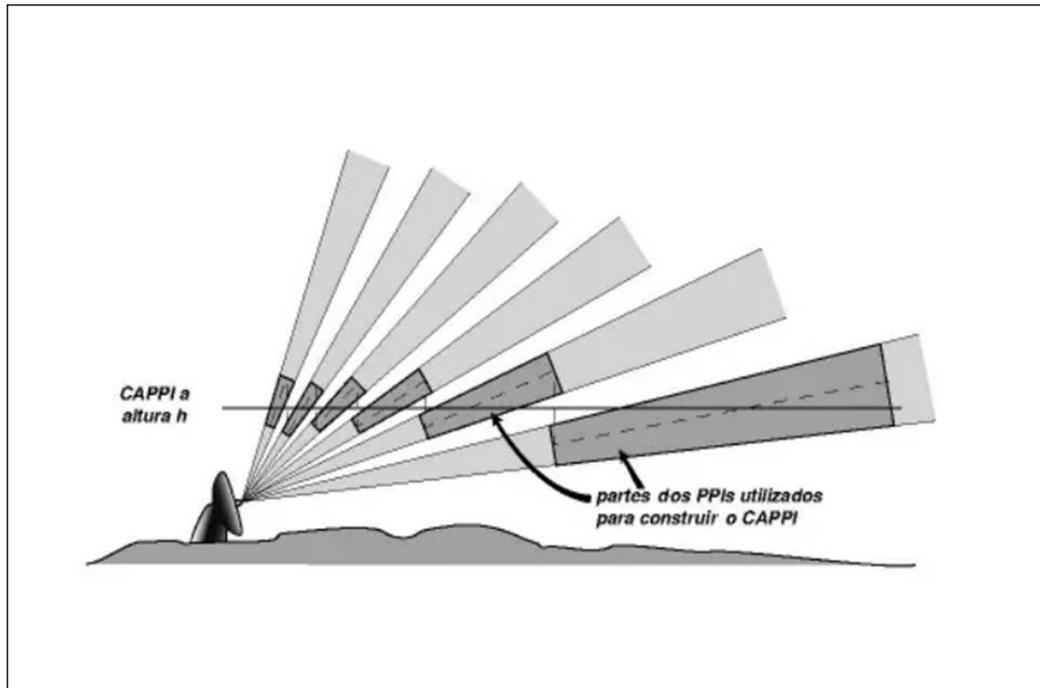
Figura 16: Varredura do PPI



Fonte: Monolito Nimbus, 2021 – Organização: Igor Carvalho.

No caso do CAPPI é possível identificar o campo de refletividade ou vento em um plano horizontal para uma determinada altitude Figura 17. Além disso, é comumente utilizado para estimar precipitação a partir da refletividade e nestes casos é utilizada a altura de 3 km para distâncias menores de 150 km. Desta forma garante-se que o radar esteja observando apenas água líquida (MASSAMBANI, 2007; QUEIROZ, 2021).

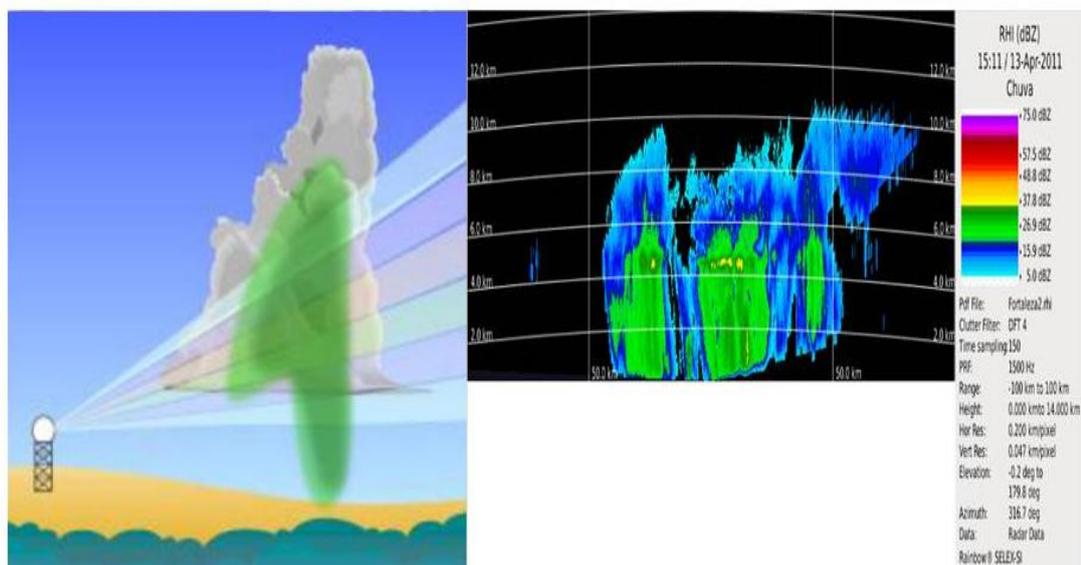
Figura 17: Varredura CAPPI



Fonte: ANGELIS, 2011.

Já o RHI é utilizado para inspecionar a estrutura vertical de uma nuvem de tempestade, visto que este produto proporciona uma projeção em um plano vertical que passa pelo centro do radar e tem sua direção azimutal determinada, como é mostrado na Figura 18. À vista disso, sua varredura consegue obter os dados de refletividade, taxa de precipitação, velocidade radial e a largura espectral (ANGELIS, 2011; QUEIROZ, 2021).

Figura 18: Varredura RHI



Fonte: ANGELIS, 2011. Adaptado por Igor Carvalho.

Entre os produtos calculados a partir das variáveis medidas pelos radares temos o VIL – (Vertically Integrated Liquid - Conteúdo de Água Líquida Integrado Verticalmente) e o Echotop (topo de Ecos). No caso do VIL é possível obter informações da concentração de água líquida dentro da nuvem, já o echotop determina o topo das nuvens de chuva.

O VIL estima a quantidade de água líquida dentro da nuvem e apresenta um aumento exponencial de acordo com a refletividade, por esse motivo, valores de VIL elevados estão associados a elevados valores de refletividade, que estão associados com a presença de granizo (GREENE; CLARK, 1972; LEAL et al., 2012). Por isto, este produto é um bom indicador para se determinar severidade em tempestades.

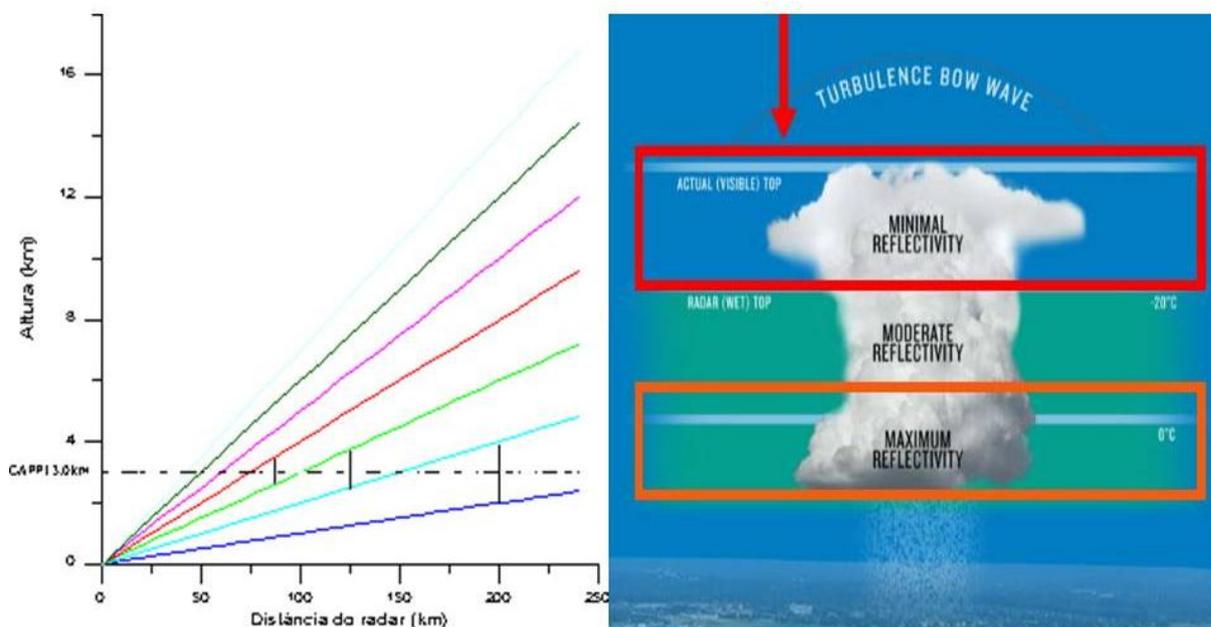
A forma de calcular o VIL é realizada a partir de um único volume de varredura e é expressada em Kg/m². A equação utilizada é apresentada abaixo:

$$VIL = \sum 3.44 \times 10^{-6} \left[\left(\frac{Z_i + Z_{i+1}}{2} \right) \right] \Delta h \quad (2)$$

Onde z_i e z_{i+1} são os valores de refletividade (em mm⁶m⁻³) no limite inferior e superior, respectivamente, de uma camada de amostra e Δh é a diferença de altura (em metros) entre os limites da camada (OLIVEIRA, 2014).

O ECHOTOP possibilita determinar o topo das nuvens de chuva (SAISP, 2021). Além disso, o mesmo corresponde à altura da máxima ocorrência de um limiar de refletividade, onde é mostrado em quilômetros, e é um excelente indicador na identificação de tempo severo e granizo (IPMET, 2021). A Figura 19 apresenta a dinâmica para o cálculo do ECHOTOP. De acordo com a Figura é identificado o valor de dBZ na camada mais elevada e percorrido o mesmo ponto até baixos níveis. A primeira ocorrência do limiar determinado, por exemplo, 20 dBZ, irá determinar o topo da nuvem ou tempestade.

Figura 19: Echotop



Fonte: SAISP, 2021. Adaptado por Igor Carvalho.

Em função das partículas de água retroespalharem mais energia do que as partículas de gelo, a refletividade tende a ser maior (menor) em regiões com água líquida (cristais de gelo). No entanto, dentro das nuvens de tempestades há correntes ascendentes e descendentes que carregam as partículas de água, gelo, graupel, granizo desde os baixos até os altos níveis da atmosfera. Neste processo, que inclusive é o de formação dos cristais de gelo, ocorre derretimento da camada superficial das partículas de gelo, ocasionando em medidas errôneas pelo radar. Ou seja, em nuvens com elevados valores de refletividade acima da camada de derretimento (Manaus em torno de 4,5 km) é indicativo de presença de cristais de gelo maiores, assim como graupel e granizo. Sabendo disso é possível identificar a severidade das tempestades a partir de diferentes limiares de Echotop. Para ECHOTOP de limiares de 20 dBZ observa-se o topo das nuvens. Para limiares maiores identifica-se o topo destes cristais de gelo maiores e fortes correntes ascendentes e descendentes dentro da nuvem. Portanto, para topos elevados em limiares de dBZ maiores há tempestades mais severas.

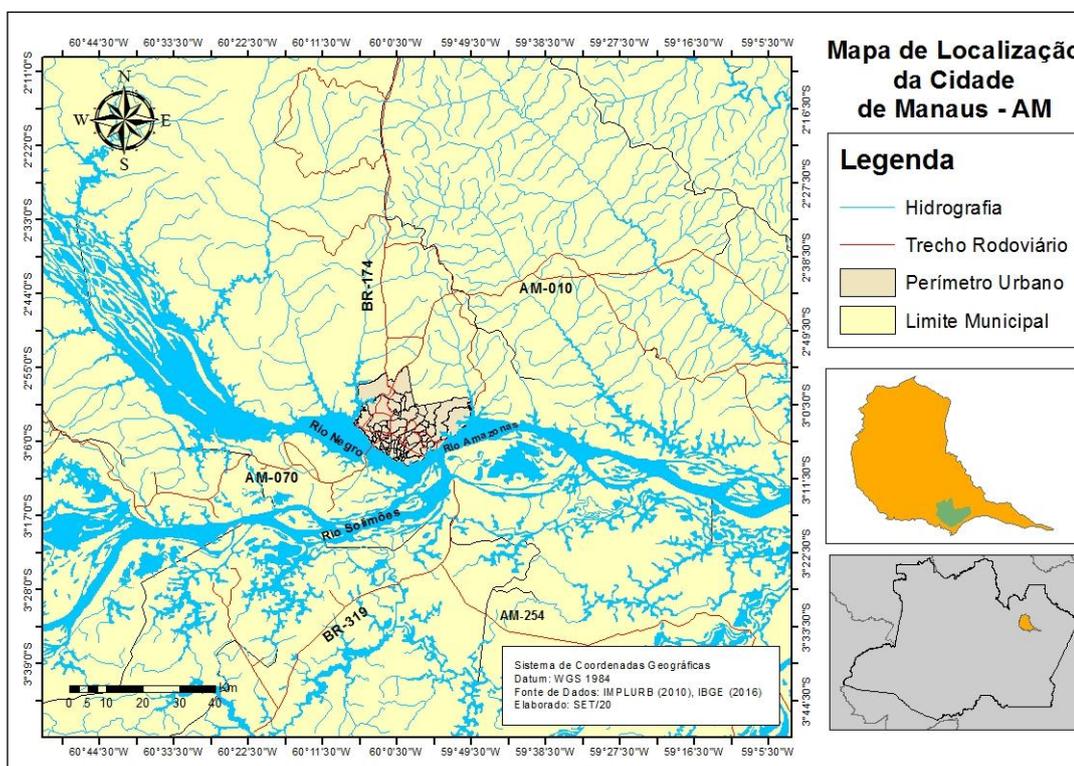
2 CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E METODOS

2.1 Materiais

2.1.1 Área de Estudo

A cidade de Manaus, área de estudo desta pesquisa, está situada no lado leste do estado do Amazonas. Onde se encontra na margem esquerda do Rio Negro próximo a confluência do Rio Amazonas, conforme apresentado na Figura 20. Sua área municipal corresponde a 11.458,50 km², no qual possui em seu entorno 13 municípios, que configuram a região metropolitana de Manaus.

Figura 20: Mapa de Localização da Cidade de Manaus



Fonte: Igor Carvalho, 2020

A capital Amazonense se encontra estabelecida no centro da maior floresta tropical do mundo, tendo uma população estimada de 2.1 milhões de habitantes, e sua densidade demográfica de 158,6 hab./km² (IBGE, 2019). No entanto, seu perímetro urbano ocupa apenas 4% do limite municipal e a maioria da sua população (cerca de 99%) vive na área urbana. É composta 63 bairros oficiais, no qual em sua maior parte formou-se por meio de ocupações irregulares. Além disso, apresenta um clima equatorial quente e úmido, com temperatura média anual

máxima podendo chegar aos 32°C e mínima aos 23°C (INMET, 2018). Já a precipitação média anual varia em torno dos 2.301 mm por mês.

2.1.2 Dados Utilizados

Os dados analisados nesta pesquisa são referentes à estação meteorológica de superfície automática do INMET. Sua localização se encontra sobre a latitude de -3.1036° e longitude -60.015°, situados na zona centro-sul da cidade de Manaus, conforme é apresentado na Figura 21. Além disso, foram obtidas as informações das variáveis de precipitação, temperatura do ar, umidade do ar e direção do vento, para o período de 2015 a 2019. Ademais, os dados fisiográfico foram baixados como (Relevo, Hidrografia e Vegetação), bem como as informações de variáveis meteorológicas medidas em superfície e campos de refletividade decorrente do radar meteorológico, que está localizado na Figura 22.

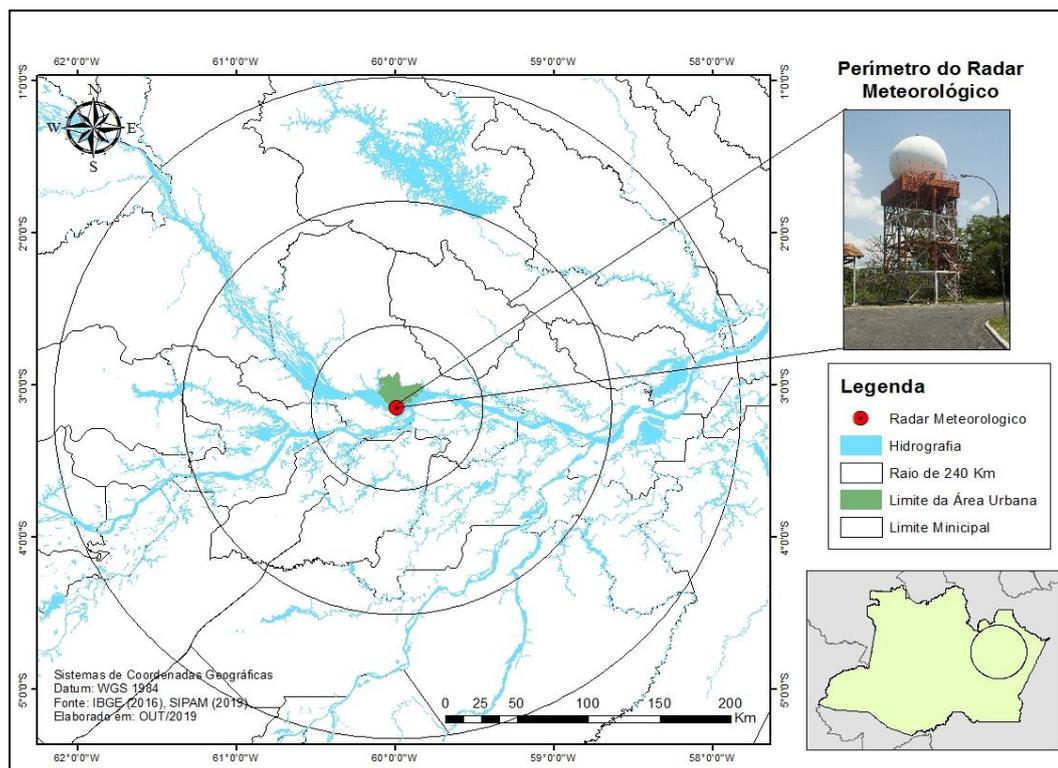
Figura 21: Estação Meteorológica Automática do INMET



Fonte: INMET, 2020

As informações da hidrografia, relevo e vegetação são provenientes do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS - <https://earthexplorer.usgs.gov/>), do *Alaska Satellite Facility* (ASF - <https://search.asf.alaska.edu/#/>), Google Engine – (<https://code.earthengine.google.com/>) e do site de Terra da NASA – (https://daac.ornl.gov/LBA/guides/LC07_Amazon_Wetlands.html#HDataDescrAcces) , estas informações serão utilizadas para a elaboração dos mapas que abrangem a mesma área de cobertura do radar meteorológico (raio de 240 km) e que irão subsidiar a compreensão da ocorrência das tempestades na região.

Figura 22: Mapa da Localização do Radar Meteorológico de Manaus



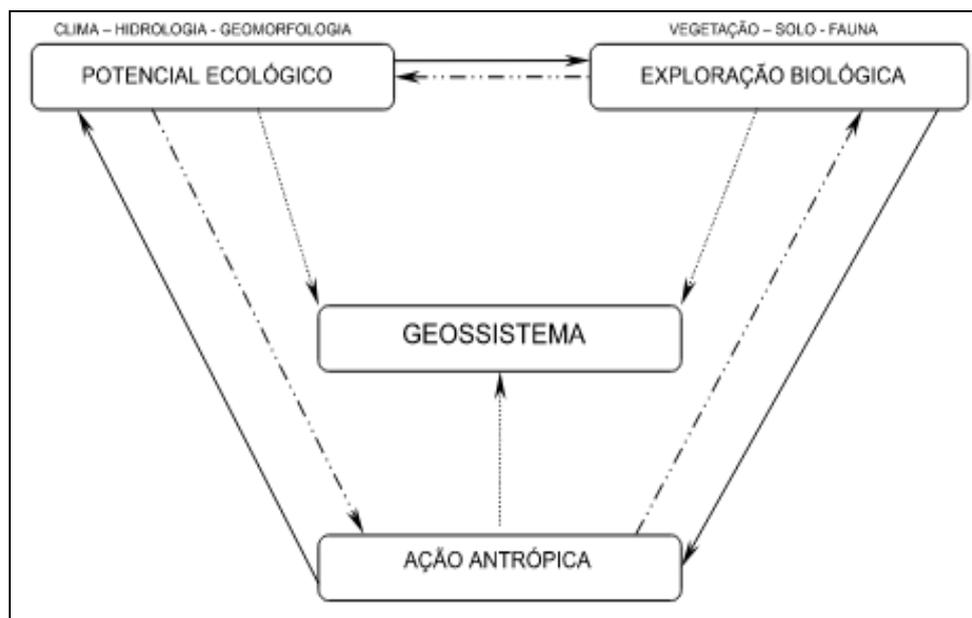
Fonte: Igor Carvalho, 2019

2.2 Métodos

2.2.1 Análise Geossistêmica

A metodologia que será utilizada nesta pesquisa para elaboração e análise dos aspectos fisiográficos é baseada na teoria Geossistêmica classificada por G. Bertrand (2004), no qual categorizou a paisagem em uma interação de três princípios: o potencial ecológico, a exploração biológica e a ação antrópica. Como espera-se verificar se há (ou não) relação do grau de intensidade dos sistemas meteorológicos com os aspectos fisiográficos da região (relevo, hidrografia e vegetação) foi considerado que esta possível relação fosse “potencial ecológico”. Por outro lado, a vegetação se caracteriza como parte da “exploração biológica”. E por fim, “a ação antrópica” relacionou-se na questão da sociedade, que está inserida no município de Manaus e que são afetadas pela entrada dos sistemas precipitantes. Essa estrutura é apresentada no esquema de Bertrand abaixo na Figura 23.

Figura 23: Esquema teórico da abordagem Geossistêmica



Fonte: Bertrand, 2004

Em virtude disso, para abordar a teoria Geossistêmica, é preciso enfatizar sua base estrutural que foi organizada pelo fundador da Teoria Geral dos Sistemas (TGS), o austríaco biólogo Ludwig Von Bertalanffy. Na década de 1960, Bertalanffy tratou a ideia geral dos sistemas como um fenômeno natural que deve ser organizado como um sistema aberto, visto que, a física clássica buscava entender os fenômenos naturais como um sistema fechado. Além disso, o objetivo desta análise dos sistemas é entender que há uma relação entre os elementos, onde a teoria tenta acabar com a particularização dos estudos científicos e propõe uma abordagem mais holística nos fenômenos naturais.

Todavia, na busca de compreender os estudos sistêmicos, procurou-se entender a relação da geografia na análise integrada com os fluxos de matéria e energia dos sistemas ambientais. Estes, por sua vez, desenvolveram o conceito de “Geossistema”, que subsidiou a análise dos processos geográficos na interface de sociedade e natureza. Principalmente na abordagem de paisagem, sendo a primeira investigação atribuída nos estudos dos geossistemas.

Tal forma pode-se afirmar que o método geossistêmico acalhou bastante às análises ambientais em Geografia, pois [...], possibilita um prático estudo do espaço geográfico com a incorporação da ação social na interação natural com o potencial ecológico e a exploração biológica (NASCIMENTO e SAMPAIO, 2004/2005, p.168 apud SANTOS, FRANCINEY SOUZA, 2019).

Segundo Bertrand (2004), entende-se que o geossistema constitui em uma unidade ou um nível taxonômico na categorização da paisagem, sendo compreendido entre alguns quilômetros quadrados e algumas centenas de quilômetros quadrados. O que resulta na combinação de fatores geomorfológicos (vertentes, solo, etc.), climáticos (temperatura, chuva, etc.) e hidrológicos (pH das águas, tempo de ressecamento do solo, etc.). De acordo com o autor, tal nível taxonômico é o que necessita de maior atenção.

O geossistema situa-se entre a 4ª e a 5ª grandeza têmporo-espacial. É nesta escala que se situa a maior parte dos fenômenos de interferência entre os elementos da paisagem e que evoluem as combinações dialéticas mais interessantes para o geógrafo. Nos níveis superiores a ele só o relevo e o clima importam e, acessoriamente, as grandes massas vegetais. Nos níveis inferiores, os elementos biogeográficos são capazes de mascarar as combinações de conjunto. Enfim, o geossistema constitui uma boa base para os estudos de organização do espaço porque ele é compatível com a escala humana. (BERTRAND, 2004, p.146)

Mediante a base teórica de Bertrand, entende-se que devem ser consideradas três distinções estruturais para a teoria geossistêmica. Sendo a primeira a morfologia, que é a expressão física do arranjo dos elementos e da conseqüente estrutura espacial. A segunda à dinâmica, que é o fluxo de energia e matéria que passa pelo sistema variando no tempo e no espaço. E, em terceiro a exploração biológica, que compõem a flora, fauna e o próprio homem.

A abordagem do geossistema caracteriza-se por ser um sistema natural e aberto, no qual proporcionou uma correlação das questões estruturais voltadas na pesquisa dos aspectos fisiográficos com a entrada dos sistemas meteorológicos. Além disso, ao verificar a perspectiva da morfologia, entende-se que os aspectos fisiográficos como relevo e a hidrografia se encaixam nessa concepção, devido as suas particularidades se destacarem com os relevos baixos e a vista de um grande rio sobre o estado do Amazonas. No entanto, a dinâmica expõe o fluxo de energia e matéria, no qual descreve, principalmente, o clima característico da cidade de Manaus. Por outro lado, os sistemas meteorológicos variam no espaço e tempo, e apresentam uma distribuição espacial sobre a região, onde se destacam por mostrar variadas escalas, visto que há a presença marcante de sistemas de grande escala, como por exemplo, a Zona de Convergência Intertropical e El Niño. Por fim, a exploração biológica define-se pela presença do mosaico florestal ao redor da capital, onde é possível notar a modificação do homem no entorno da cidade, no

qual contribuiu para abertura de estradas e o surgimento de cidades que configuram a região metropolitana.

2.2.2 Processamentos dos Dados de Altimetria

A produção do mapa de altimetria foi realizada tendo referência sobre o raio do radar meteorológico de 240 km. No qual foi utilizado o satélite Japonês Alos Palsar, possuindo uma resolução de 12,5 metros. Além disso, esse dado passou por um tratamento em sua imagem no software Arcgis 10.5, onde se retirou todos os valores negativos, e conseqüentemente, possibilitou na identificação mais clara das elevações em torno da área de estudo.

2.2.3 Processamentos dos Dados de Vegetação

Para esta etapa, na elaboração do mapa de vegetação, utilizou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). O mesmo se caracteriza como um bom indicador para as alterações da vegetação, no qual pode se apresentar a ocorrência de desmatamento e de áreas ocupadas por uma vegetação densa. Além disso, para a obtenção do NDVI utiliza-se a equação abaixo:

$$NDVI = \frac{IVP + Ver}{IVP - Ver} \quad (3)$$

Nessa equação podemos destacar que o IVP é a energia refletida do infravermelho próximo, e o Ver, é a energia refletida na área do vermelho do espectro eletromagnética. (AIRES; NETO; CAMPOS, 2017).

Para o processamento do NDVI utilizou-se a plataforma do *Google Earth Engine* (<https://code.earthengine.google.com/>), que trabalha com a linguagem de *Javascript* e é caracterizada por ser uma nuvem de análise geoespacial de escala planetária. Na primeira fase, utilizou-se da imagem do *Landsat 8 – OLI* para o ano de 2015, correspondendo o período da estação seca e compreendendo todo o mês de setembro. Além disso, a base de dados adquirida no GEE é do nível e coleção 1 e possui correção geométrica, radiométrica e atmosférica. Devido a isso, para a obtenção da imagem foi aplicado um filtro para retirar as nuvens, porém, quando se trabalha com Amazônia é difícil de conseguir uma imagem completamente sem

nuvens. Em seguida, foi realizado o processo de exportação da imagem para o *Arcgis 10.5*, para ser efetuado o georreferenciamento e a organização do mapa.

2.2.4 Processamentos dos Dados de Hidrografia

Para a elaboração do mapa de hidrografia, tiveram-se como base de dados o mosaico do satélite JERS – 1 (Satélite Japonês de Recursos Terrestres), no qual foi utilizado para mapear as extensões de cobertura de terras e áreas úmidas, tendo uma resolução de 100m (CHAPMAN, et al.,2015). Além disso, para auxiliar o mapeamento, foi estabelecido a criação de 3 shapefile, demarcando a entrada dos sistema meteorológicos, que são: nordeste, leste e sudeste.

2.2.5 Análise das Variáveis Meteorológicas

Entre as variáveis meteorológicas analisadas temos a precipitação, umidade, temperatura e vento. As análises e elaboração dos gráficos foram utilizadas através do Software Microsoft Office Excel. Para a precipitação foi calculado o ciclo diurno do acumulado de precipitação para o período de 5 anos de dados para cada ano analisado. A partir das análises será possível identificar o período do dia predominante das chuvas, bem como identificar se houve alguma influência de eventos climáticos que pudessem afetar as chuvas da região.

No caso da variável temperatura foram analisadas as temperaturas mínima e máxima. As análises também foram ponderadas no ciclo diurno referente ao período total de dados e por ano. Nestas análises também será possível identificar variações ao longo dos anos, que possam indicar maior aquecimento ou resfriamento na região e que possam influenciar de alguma maneira no comportamento dos sistemas precipitantes. De qualquer maneira é sabido que esta variável não sofre grandes variações nesta região (MONTEIRO et al., 2014)

Já a análise da umidade relativa do ar foi elaborada com base na média mensal, tendo como propósito em visualizar a variação mensal do vapor de água ao longo dos anos estudados. Neste contexto, há possibilidade de que um evento meteorológico seja capaz de contribuir para a oscilação da diminuição ou aumento significativo da umidade.

Por fim, foram elaborados gráficos da rosa dos ventos para análise da velocidade e direção. Os gráficos foram elaborados para todo o período de dados e mensalmente, também englobando todos os 5 anos de informações. Embora a velocidade do vento seja pequena na região e as variações diárias tanto da velocidade como da direção sejam mínimas, há variação na direção significativa durante o período seco; sob condição de brisa lacustre. Sendo assim, a elaboração destes gráficos tem por objetivo verificar se ocorreram ou não variações durante o período de dados e os meses com maior variação. Estudos indicam que a presença da brisa lacustre na região de Manaus impulsiona a convecção, quando associado a outro sistema precipitante atuante (MACHADO et al., 2021). Ainda, foi utilizado a escala criada pelo Almirante da Marinha Britânica Sir Francis Beaufort (1774-1857) para classificar as faixas de velocidade de vento e relacionar com seus eventos. (LIBERATO, 2019)

2.2.6 Dados do Radar Meteorológico

Os dados estimados pelo radar meteorológico de Manaus foram utilizados para verificar a severidade das nuvens de chuva sobre a região de Manaus. Para isso foram calculados os campos de CAPPI em 3 km da refletividade e os Echotops de 20, 30 e 45 dBZ para cada ponto de grade. Como o radar gera um dado a cada 12 minutos continuamente o volume de informações era muito grande e, por esta razão, foi utilizado o Software IDL (*Interactive Data Language*) para calcular a frequência de ocorrência em cada ponto de grade (resolução do radar de 1 x 1 km). Posteriormente, estas informações foram separadas por intervalos de classe (Cappi a cada 5 dBZ e Echotop a cada 1 km) e os gráficos da frequência de ocorrência foram elaborados compreendendo todos os meses dos anos de 2018 e 2019 (RAO; HADA, 1990). Além disso, as direções com maior predominância da entrada dos sistemas meteorológicos foram separadas conforme a análise Geossistêmica. Dado que possibilitou verificar as regiões com maior ocorrência de severidade e associa-la com o ambiente fisiográfico. Neste contexto, será avaliada a relação dos fatores fisiográficos como o (relevo, hidrografia e vegetação), com intuito de identificar se essas variáveis influenciam para maior ou menor ocorrência de precipitação nos parâmetros de severidade.

3 CAPÍTULO 3 – RESULTADOS

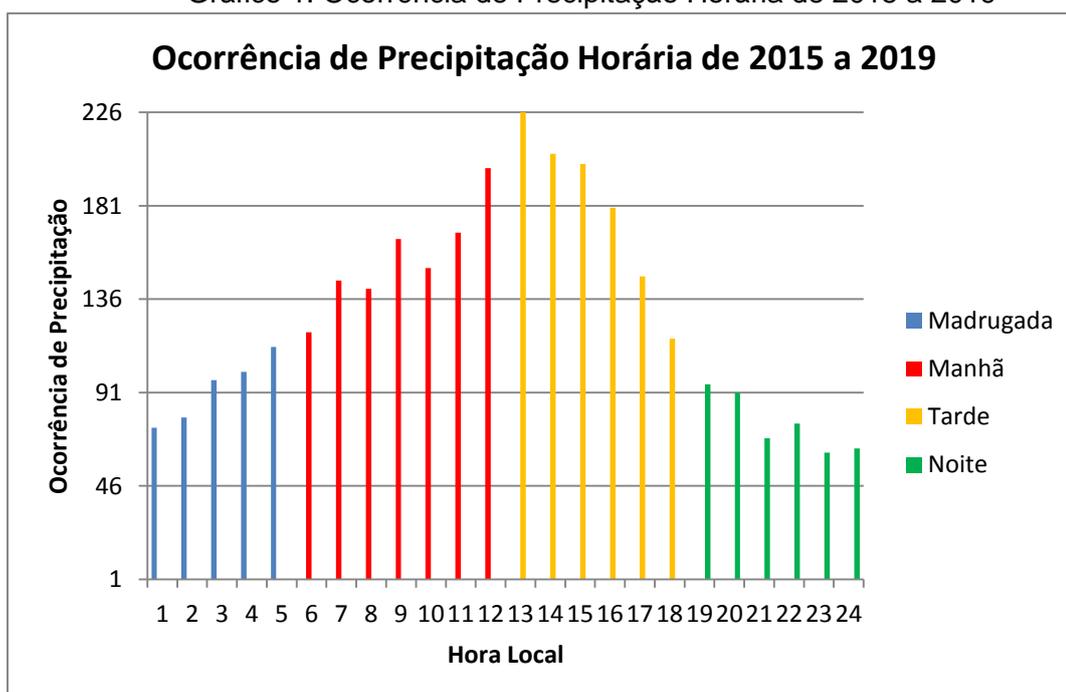
Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos durante a pesquisa, no qual neste primeiro momento serão abordados os aspectos dos elementos climáticos em um período de 5 anos. Para isso, foram coletados dados da estação meteorológica de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As variáveis analisadas incluem informações de frequência de ocorrência e acumulado de precipitação horária, temperatura média, umidade relativa média e a frequência e intensidade do vento. Em seguida, foi analisado a fisiografia no entorno da cidade de Manaus. Posteriormente, verificou-se a frequência de ocorrência dos campos de refletividade e topo das nuvens, extraídos do radar meteorológico de Manaus.

3.1 Características Meteorológicas do Ambiente

3.1.2 Frequência de Ocorrência de Precipitação

Ao analisar a frequência de ocorrência de precipitação no Gráfico 1, correspondente aos anos de 2015 a 2019, observa-se que a série histórica registrou valores expressivos que mostraram o comportamento da distribuição de frequência de precipitação em seus respectivos horários.

Gráfico 1: Ocorrência de Precipitação Horária de 2015 a 2019



Nesse contexto, o período da madrugada apresentou uma superioridade de ocorrências às 05 horas locais (HL) com o máximo de 113 episódios. Na parte da manhã o maior índice registrado ocorreu às 12 horas com 199 episódios. À tarde, apontou seu valor máximo às 13 horas com 226 episódios. Por fim, a noite expressou seu valor máximo às 19 horas com um número de 95 ocorrências. À vista disso, ao verificar o gráfico, podemos definir que durante as observações dos anos estudados, seus períodos do dia e os respectivos horários, mostraram que o maior registro de ocorrência de precipitação ocorreu no início da tarde por volta das 13 horas locais, apresentando 226 ocorrências. E esses destaques podem ser visto na Tabela 3.

Tabela 3: Máximas Frequências de Ocorrências no Período

Período	Máxima frequência de ocorrência no período	Horário de maior frequência
Madrugada	113	5h
Manhã	199	12 h
Tarde	226	13 h
Noite	95	19 h

Após a análise do gráfico de ocorrência de frequência de precipitação, o Gráfico 2, apresenta o acumulado de precipitação horária, abrangendo os anos de 2015 a 2019. É possível identificar o acumulado de precipitação semelhante com o gráfico do número de registros de chuva. Analisando o intervalo de tempo de cada período, observa-se que na madrugada teve o maior registro as 04 horas, apontando um valor de 423 mm. O período da manhã expressou o maior acumulado às 12 h, apontando um valor de 756,4 mm. À tarde, o valor máximo acumulado foi de 831 mm, às 13hrs. Por fim à noite, o maior acumulado foi registrado às 20 h, em torno de 303,2 mm. Os maiores valores de acumulado registrado ao longo do período analisado foi de 831 mm, no horário das 13 h.

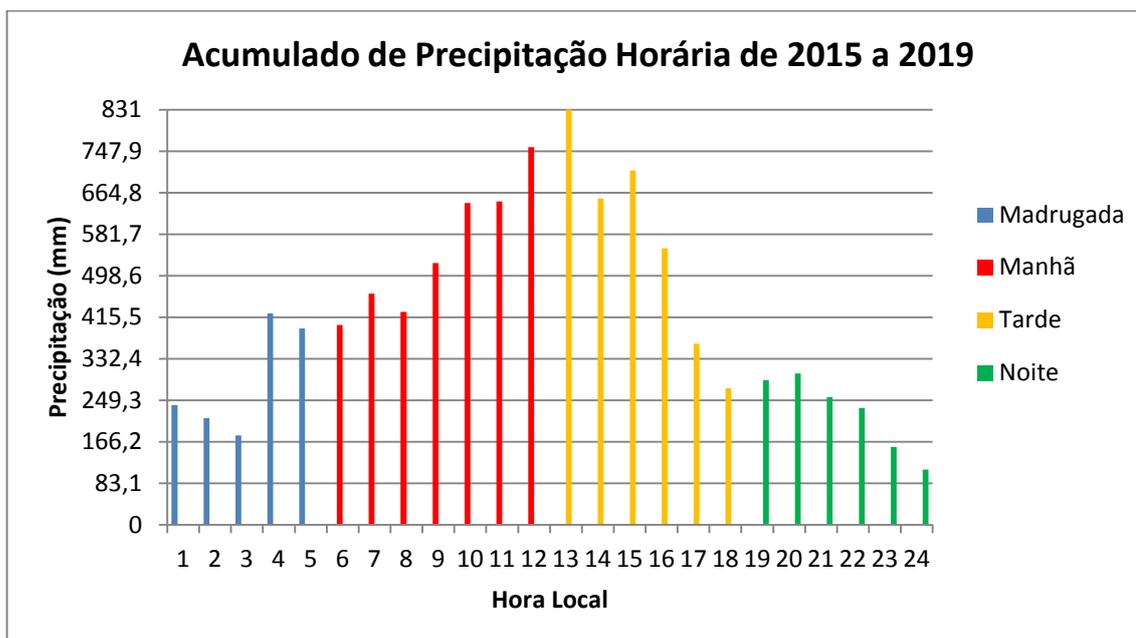
Ao comparar o acumulado de precipitação com os dados de frequência de ocorrência de precipitação horária, o horário das 13 h não só teve a maior frequência de ocorrência como também totalizou o maior acumulado horário, evidenciando ser este horário o de maior contribuição de precipitação na cidade. Neste período que compreende a manhã e à tarde observamos que os horários apresentados com

maior destaque se igualaram em ambos os gráficos. Onde o período da manhã apontou um valor máximo de 756,4 mm às 12 h local, tendo uma ocorrência de 199 episódios e a tarde teve como destaque o horário das 13 h local com o valor de 831 mm e sua ocorrência foram de 226 episódios. Além disso, os dois períodos do dia apontados nesse resultado vai de encontro com os estudos de Tanaka, 2014 que indicou que os eventos de precipitação ocorridos nesses intervalos de tempos estão associados à importância do aquecimento diurno, que pode ser explicado pelas ilhas de calor, no qual contribui para a formação de atividade convectiva no perímetro urbano.

Por outro lado, os dois períodos do dia que não apresentaram concordância em ambos os gráficos, foram a madrugada e a noite. Visto que ao verificar o gráfico de ocorrência de precipitação, vemos em seus registros com o maior destaque na madrugada às 05 h local, apresentou 113 episódios. No entanto, ao relacionar esse registro no mesmo horário do acumulado de precipitação, nota-se que os valores apontados alcançaram 392,8 mm, sendo considerado o segundo maior índice registrado no acumulado de precipitação. Só perdendo para o horário das 04 h local, que mostrou seu máximo acumulado de 423 mm e 101 ocorrências de precipitação.

Por fim, o período da noite, que apontou um número de 95 ocorrências por volta das 19 h. E comparando o mesmo horário no gráfico de acumulado de precipitação, percebeu-se que o valor de chuvas atingiu 289,2 mm, apresentando-se como o segundo maior registro destacado no acumulado de precipitação. Ficando atrás do horário das 20 horas, que registrou 303,2 mm e 91 ocorrências de precipitação.

Gráfico 2: Acumulado de Precipitação Horária de 2015 a 2019

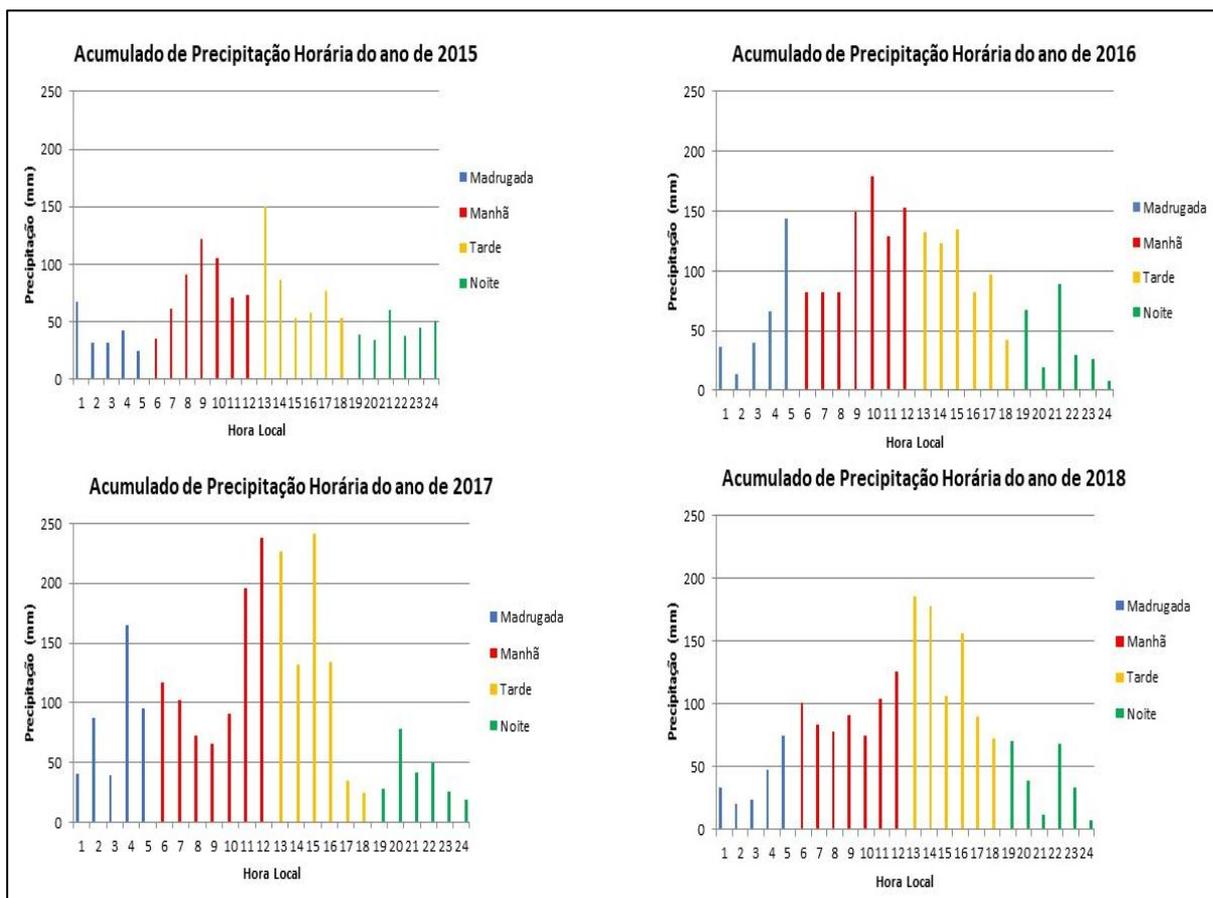


3.1.3 Acumulado de Precipitação Horária Anual

Os próximos resultados apontados na Figura 24, são dos acumulados de precipitação horária de 2015 a 2019, sendo analisados anualmente.

Ao verificarmos o acumulado de precipitação do ano de 2015 em seus respectivos horários e o período do dia, notamos que a precipitação apresenta uma boa distribuição no decorrer do dia. E ao analisarmos por intervalos do dia, a madrugada teve um maior registro à 01 h local, com valor de 67,6 mm. No período da manhã o maior acúmulo foi de 122,2 mm às 09 h locais. O período da tarde apresentou valor máximo de 149,8 mm, por volta das 13 h. Por fim, o período da noite teve o maior registro às 21 h, com valor de 60,6 mm. Mediante a isso, ao analisarmos a dinâmica de acumulado de precipitação para o ano de 2015, podemos afirmar que, através dos dados apresentados, o maior acumulado registrado para este ano na cidade de Manaus foi ao início da tarde, às 13hrs locais, destacando um valor de 149,8 mm.

Figura 24: Mosaico dos Gráficos de Acumulado de Precipitação Horária de 2015 a 2018



Além disso, ao averiguar o ano de 2015, percebe-se que o comportamento da distribuição de precipitação em seus respectivos horários apresentou um valor bem abaixo dos 150 mm. Devido a isso, entende-se que o ano em destaque apresentou um índice de poucas chuvas. No entanto, vale ressaltar que a diminuição das chuvas para a cidade de Manaus está associada à presença do fenômeno El Niño na região Amazônica, uma vez que o ano de 2015 foi considerado como um evento forte que contribuiu para a redução da precipitação. Conseqüentemente, a ação desse sistema meteorológico afetou o regime de chuvas no período chuvoso da região (OLIVEIRA, 2019).

Para o ano de 2016, houve ainda a influência do El Niño sobre a região, no qual foi considerado como a mesma intensidade comparada ao ano anterior. Todavia, sua atuação não permaneceu o ano todo, visto que a La Niña manifestou-se e contribuiu para o aumento das chuvas, e com isso, houve um aumento significativo no acumulado de precipitação em seus respectivos horários. Devido a isso, ao examinar o intervalo de tempo no período da madrugada, observa-se que os

registros apontados em seus horários marcaram um acúmulo superior às 05 h local, mostrando um valor de 143,8 mm. Já no período da manhã, seu maior acúmulo foi às 10 h local, com valor de 178,6 mm, destacando-se como o maior registro para o ano em análise. No período da tarde o destaque foi para o acumulado de 134,6 mm às 15 h local. À noite, o maior acúmulo registrado foi no horário das 21 h, com valor de 88,6 mm.

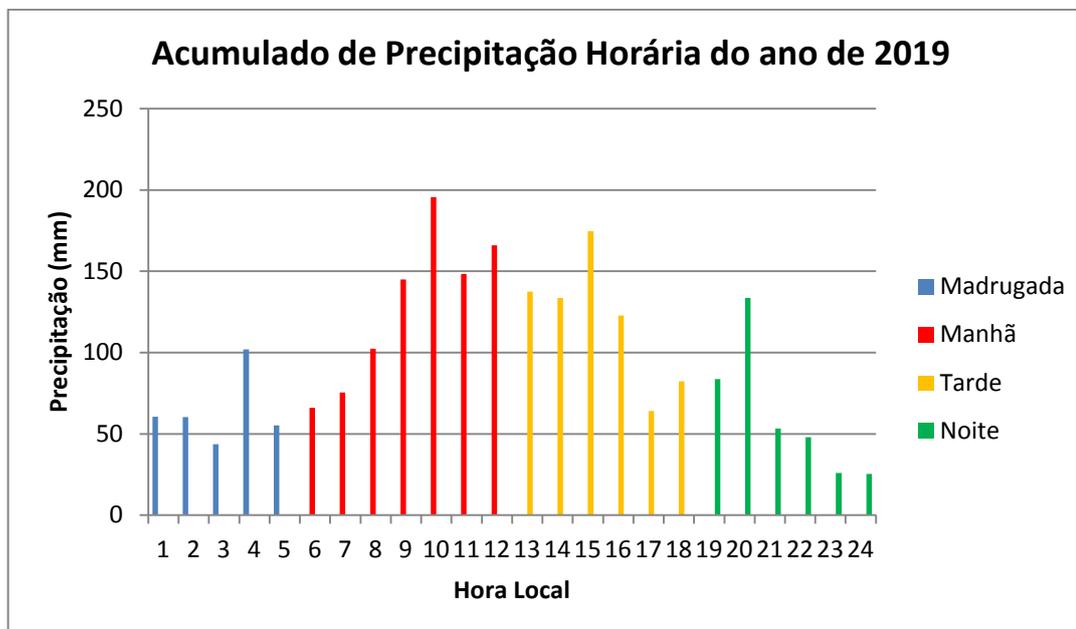
Ao analisar o gráfico do ano de 2017, nota-se um aumento significativo de precipitação em seus respectivos horários. Esse comportamento, tem relação com a atuação do fenômeno La Niña, dado que foi considerado como um evento moderado, e isso contribuiu para um volume maior de chuvas sobre esse ano. Por essa razão, ao observar o intervalo de tempo do período da madrugada, percebe-se que seu máximo acumulado teve destaque às 04:00 horas locais, apresentando um valor de 165 mm. No período da manhã, o maior acumulado registrado foi às 12:00 horas local, expressando um valor de 238,2 mm. À tarde, se destacou por expressar uma superioridade às 15:00 horas, registrando o valor de 240,8 mm, sendo o maior registro acumulado em um determinado horário para esse ano. O período da noite teve sua máxima alcançada às 20:00 horas, com um acúmulo de 78,2 mm.

Por outro lado, os registros de acumulado de precipitação horária para o ano de 2018, apontados no mosaico, destacam da mesma maneira a influência do fenômeno La Niña, considerado como um evento moderado. Devido a isso, ao verificar os respectivos horários nota-se que o período da madrugada apresentou o maior acúmulo de chuva às 05:00 horas, com o valor de 74,8 mm. No período da manhã, o maior acumulado registrado foi às 12:00 horas, com o valor máximo de 126,4 mm. À tarde, o maior valor apontado nesse período foi às 13:00 horas com 185,6 mm, sendo o maior registro de acumulado horário para o ano de 2018. No período noturno o destaque foi para o acumulado de 71 mm às 19:00 horas.

Por fim, o gráfico 3, apontando o ano de 2019, apresentou uma boa distribuição em seu acumulado de precipitação horária. Ao observarmos os registros, notamos que o período da madrugada apontou o valor máximo de 102 mm, às 04:00 horas. No período da manhã, o horário que teve maior destaque foi às 10:00 horas, com o acúmulo superior a 195,6 mm, sendo o maior valor do acumulado horário no ano em análise. O valor máximo a tarde foi no horário das 15:00 horas, com 174,6 mm. E no período da noite, o acumulado de precipitação que sobressaiu foi às 20:00 horas, com o valor de 133,6 mm.

Por meio desta análise, podemos ressaltar que os períodos do dia que expressaram maior acumulado de precipitação foram os da manhã e da tarde, compreendendo as faixas de horários das 10hrs até as 15hrs.

Gráfico 3: Acumulado de Precipitação Horária do ano de 2019



3.1.4 Temperaturas Médias Mensais e Anuais do Ar

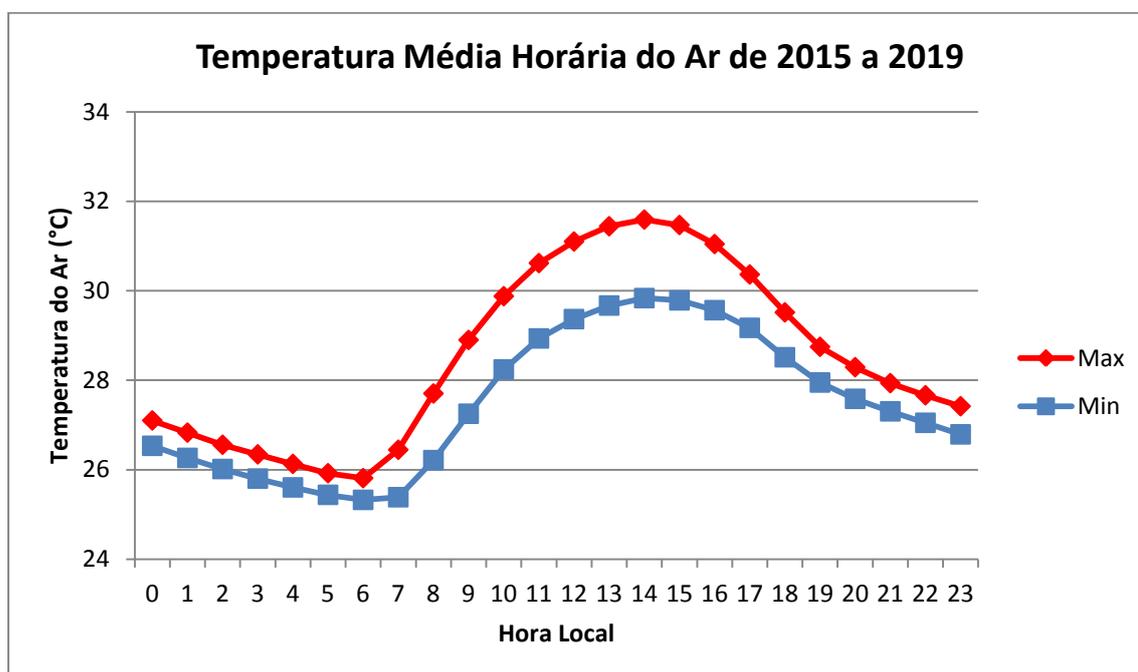
O próximo resultado analisado é do gráfico de temperatura média horária do ar, abrangendo os anos de 2015 a 2019. Vale ressaltar que os dados obtidos da estação automática do INMET, apresentam suas medidas no intervalo de tempo de hora em hora.

Em virtude disso, ao verificarmos a média de temperatura, percebe-se que é fundamental entendermos que a temperatura do ar desempenha um papel essencial no qual contribui para o surgimento de um ambiente propício para animais, as florestas e o próprio homem (VAREJÃO-SILVA, 2006). Devido a isso, ao examinarmos as variáveis de temperatura máxima e mínima no período estudado, notamos que no gráfico 4, apresenta um comportamento clássico na temperatura, no qual o ar é aquecido pela superfície do solo, que por sua vez é aquecido pela disponibilidade de energia solar. E a partir do alvorecer, o solo vai ganhando energia e aquecendo o ar, atingindo valores máximos que ocorrem cerca de 2 horas após a culminação do sol. Depois disso, o solo começa a perder energia, no qual inicia o

processo de resfriamento do ar, que conseqüentemente alcança os valores mínimos pouco antes do sol nascer.

Por meio disso, ao observarmos o resultado geral do gráfico da temperatura média horária do ar, é possível observar que a temperatura mínima alcançou os menores valores as 06 e 07 horas da manhã, no qual apontou um valor de 25,3 °C. Por outro lado, a média da máxima indicou seu maior registro no horário das 14 horas, expressando o valor de 31,5 °C.

Gráfico 4: Temperatura Média Horária do Ar de 2015 a 2019



A próxima observação a ser realizada compreende um mosaico das temperaturas médias horárias dos meses de janeiro a junho Figura 25. Todavia, ao verificarmos os meses que compreendem a estação chuvosa (de janeiro a abril), os registros indicaram que os valores de temperatura mínima alcançaram a faixa de 24 °C entre os horários das 06h e 07h da manhã. Por outro lado, a sua temperatura máxima apontou sua média de 30 °C a partir dos horários das 14h e 15h locais.

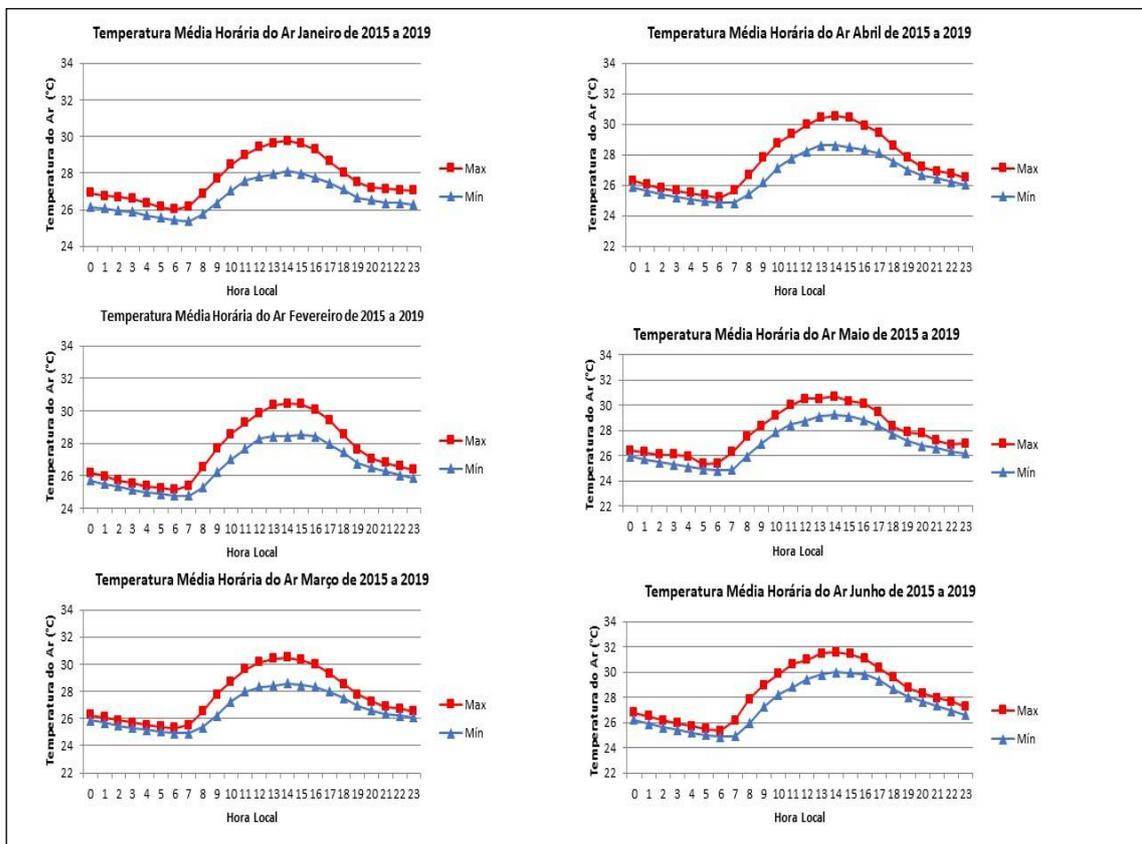
Após os destaques da temperatura mínima e da máxima, percebe-se que os valores dos meses em análise apresentaram uma temperatura não tão elevada. Esse comportamento está relacionado devido à influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que está sobre a região, no qual contribui para o aumento das chuvas e a diminuição da temperatura. Além disso, esse sistema de grande escala

corroborar para o período da estação chuvosa, e se encontra presente sobre a região durante os meses apontados.

Para mais, o mês de maio que é considerado por ser o mês de transição do chuvoso/seco, apresenta o início do deslocamento da ZCIT. Em virtude disso, a partir do mês em destaque, as temperaturas tendem a apontar um aumento em seus respectivos horários. E observa-se que o menor registro para esse mês, iniciou a partir das 06 e 07 horas da manhã, expressando o valor de 24,8 °C. Além disso, a temperatura média do ar mais alta ocorreu a partir das 14 horas, mostrando o valor de 30,7 °C.

Para o mês de junho, se espera que a temperatura seja mais elevada, visto que o mês em destaque inicia o período da estação seca na região. Por conta disso, ao observarmos o seu comportamento, podemos notar que o menor valor expressado nesta análise ocorreu entre as 06 e 07 horas da manhã, apresentando o valor de 24,8 °C. No entanto, para as médias mais altas, o horário que indicou seu maior pico foi a partir das 14 horas, tendo o valor de 31,5 °C.

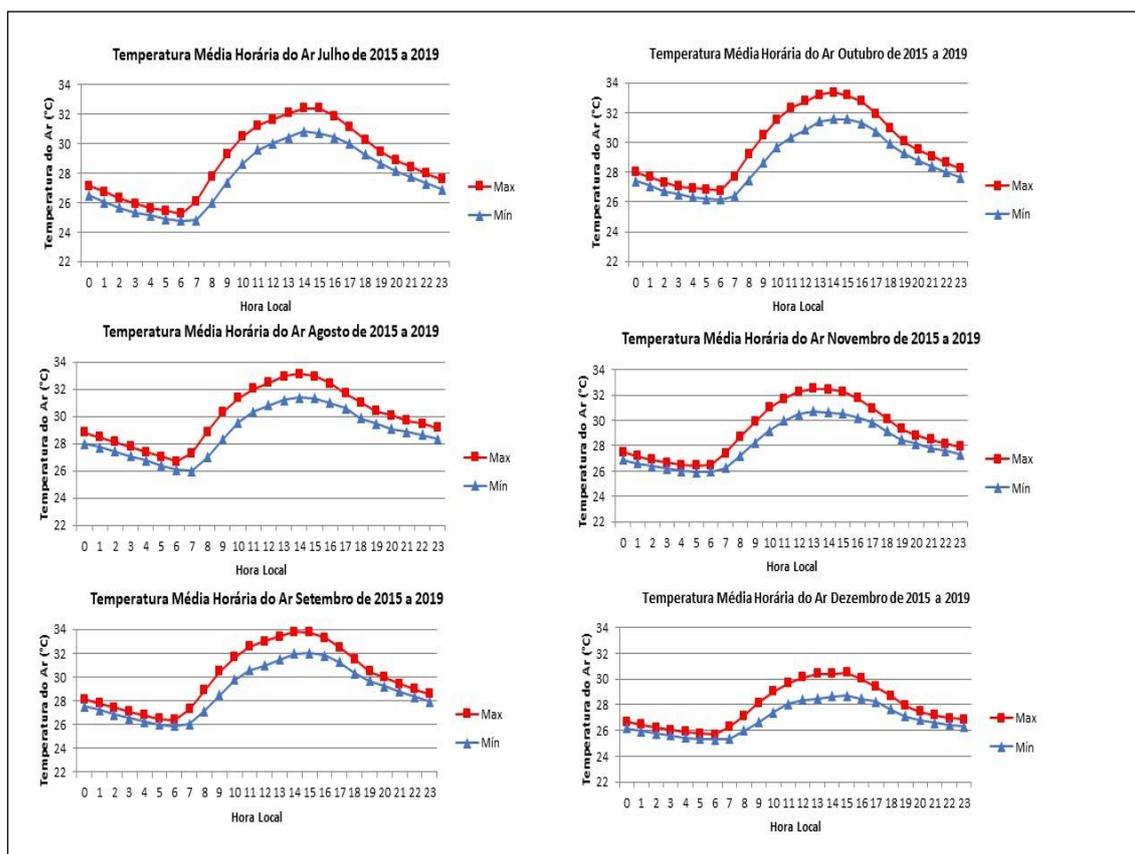
Figura 25 : Mosaico de Temperatura Média Horária do Ar de Janeiro Junho



Os próximos meses em destaque, estão incluídos no mosaico da Figura 26, no qual pertencem ao período da estação seca (julho, agosto e setembro). E dentre esses meses podemos apontar que a temperatura mínima chegou a alcançar a faixa de 25 °C, correspondendo os horários das 06h e 07h da manhã. Por outro lado, o maior registro da temperatura do ar sucedeu a partir das 14h as 15h locais, com o valor de 34 °C.

Para o mês de outubro, que é classificado como o mês de transição do seco/chuvoso, as temperaturas mais baixas se destacaram a partir das 06h a 07h, apontando o valor de 26,1 °C. Além disso, para as médias mais altas, os registros indicaram que o horário das 14 horas se destacou mostrando o valor de 33,3 °C.

Figura 26: Mosaico de Temperatura Média Horária do Ar de Julho a Dezembro.



E por fim, os dois últimos meses, apresentaram o início das chuvas na região Amazônica, no qual contribuiu para a diminuição da temperatura do ar. Por meio disso, ao verificar a dinâmica dos gráficos, observamos nos respectivos horários que a menor temperatura marcada para estes meses ocorreu a partir das 05 e 06 horas da manhã, apresentando o valor de 25 °C. Por outro lado, a média

mais alta da temperatura do ar, teve seu pico por volta das 13 e 14 horas, apresentando os valores entre 30 °C a 32 °C.

Após a análise realizada dos gráficos, podemos destacar que as temperaturas mínimas tiveram um resultado significativo nos horários das 06hrs a 07hrs. Por outro lado, a temperatura máxima apresentou seus registros superiores por volta das 14hs e 15hrs, atingindo o pico máximo da temperatura.

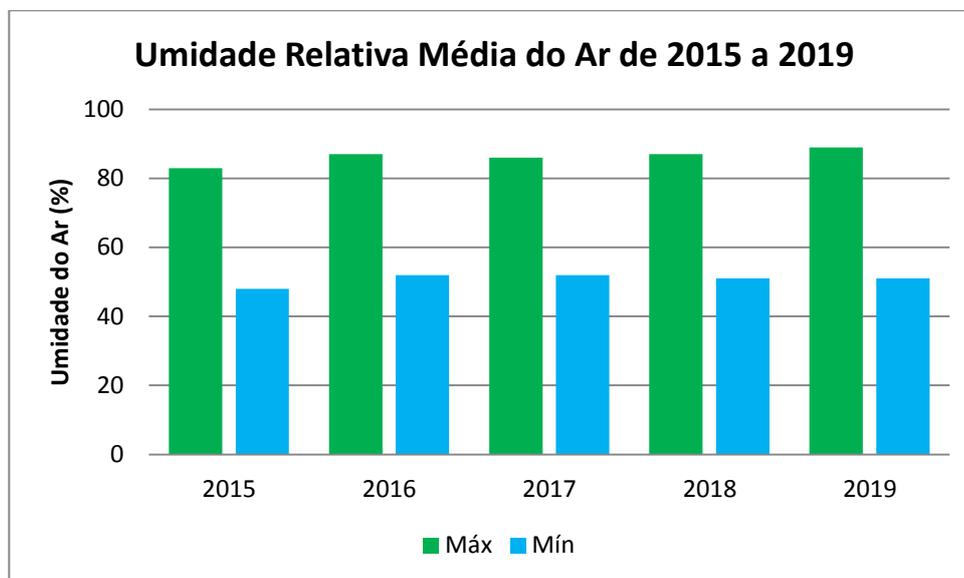
3.1.5 Umidade Relativa Média do Ar

Após a análise dos dados de temperatura, o próximo item a ser apresentado é a umidade relativa média do ar, que será abordada com as variáveis de máximas e mínimas, compreendendo os anos estudados.

O primeiro gráfico a ser apresentado mostra uma visão geral do comportamento da umidade média relativa do ar. No qual se constatou que 2015 mostrou sua média de umidade máxima de 83% e sua mínima de 48%. Por outro lado, 2016 expressou um aumento de sua máxima de 87% e sua mínima de 52%. Em 2017, a máxima de umidade registrou-se em 86% e sua mínima foi de 52%. No entanto, em 2018 destacou-se por um aumento que alcançou 87% em sua máxima, e a mínima foi de 51%. E por último, o ano de 2019 demonstrou o maior resultado de sua média de umidade relativa do ar, em comparação aos anos anteriores, onde atingiu sua máxima de 89% e sua mínima de 51%.

Em virtude disso, ao compararmos os anos em destaque, pode-se entender que mediante ao gráfico apresentado abaixo, o ano de 2015 foi o que expressou a menor umidade do ar em comparação aos outros anos. Nesse caso, o resultado está associado à presença do fenômeno EL Niño na região Amazônica, uma vez que este fenômeno foi classificado como sendo um evento forte (CPTEC, 2020). Contribuindo assim, para a diminuição da umidade para a região. Por outro lado, o ano de 2019 teve sua maior média em relação aos outros anos, chegando a alcançar a 89% de sua umidade.

Gráfico 5: Umidade Relativa Média do Ar de 2015 a 2019



Os próximos gráficos a serem abordados, destacam-se no mosaico da figura 27, onde apresentam o resultado de umidade relativa média do ar mensal dos anos de 2015 a 2019. E ao verificarmos o primeiro gráfico referente ao ano de 2015, observa-se que o maior registro apresentado foi nos meses de janeiro, abril e maio, apontando o valor de 90% e 91%. Ressalta-se que já era esperado esse resultado, devido os meses em destaque está inseridos no período chuvoso da região. Por outro lado, a menor umidade para o mesmo ano ocorreu no mês de setembro, no período menos chuvoso, e apresentou o valor de 33%.

Figura 27: Mosaico de Umidade Relativa Média do Ar Mensal de 2015 a 2019



Por outro lado, o ano de 2016 apontou sua maior umidade registrada nos meses de Março, Abril e Dezembro, expressando os valores de 90% e 92%. Devido a isso, foi possível observar que esses meses apresentaram maior destaque na umidade do ar. Além disso, os valores apontados tem forte influência da presença do sistema meteorológico de grande escala que atua na região, conhecido como ZCIT, no qual contribui para o aumento da umidade na cidade. Em parte, a menor umidade ocorreu no mês de Agosto, devido aos poucos sistemas meteorológicos que atuam no período da estação seca, no qual apontou um valor de 42%.

Para o ano de 2017, a umidade média apontou em seus registros que o maior valor mensal ocorreu nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Abril, com os valores de 91% e 92%. Em virtude disso, é possível notar que esse resultado é esperado para estes meses, devido a época em que estão. Em seguida, a menor umidade apresentada no mesmo ano, foi no mês de Agosto, que está inserido no período menos chuvoso, sendo apontado o valor de 39%.

O gráfico do ano de 2018, apontou os maiores registros nos meses de Janeiro, Março, Abril, Maio e Dezembro, expressando os valores de 90%, 91% e

92%. Desta forma, pode-se entender que os meses em destaque são previsto tal resultado. Por outro lado, o menor valor apresentado, ocorreu no mês de Outubro, apontando o valor de 40%. Ressalta-se que este mês, caracteriza-se por ser um mês de transição, onde se iniciam as chuvas na região.

De acordo com o gráfico do ano de 2019, verifica-se que o maior registro apresentado ocorreu nos meses de Janeiro, Fevereiro, Abril, Maio, Outubro e Novembro, expressando os valores de 90%, 91% e 97%. Ressalta-se que o mês de Outubro, apresentou a maior umidade do ar, sendo que o mesmo é classificado como o mês de transição para o início das chuvas da região. Por conta disso, há uma possibilidade de que as chuvas têm sido bem expressivas para o mês em destaque. Seguidamente, a menor umidade apontada no mesmo ano, se sucedeu no mês de Agosto, indicando o valor de 38%, no qual é previsto para tal época.

Na comparação dos resultados dos anos estudados, observa-se que a umidade média mensal variou entre 90% a 97% em destaque aos meses da estação chuvosa. E o menor registro ocorreu no ano de 2015, indicando valor de 33% no período seco. Além disso, ressaltamos que nas respostas obtidas nos gráficos, tem-se uma relação com os fenômenos EL Niño e La Niña. Segundo o (CPTEC, 2020) o ano que indicou a presença do EL Niño foi 2015 e parte de 2016, sendo classificados como fortes. Por outro lado, a La Niña atingiu os anos de 2017 e 2018, demonstrando um aspecto moderado.

3.1.6 Frequência de Direção e Intensidade do Vento Horário

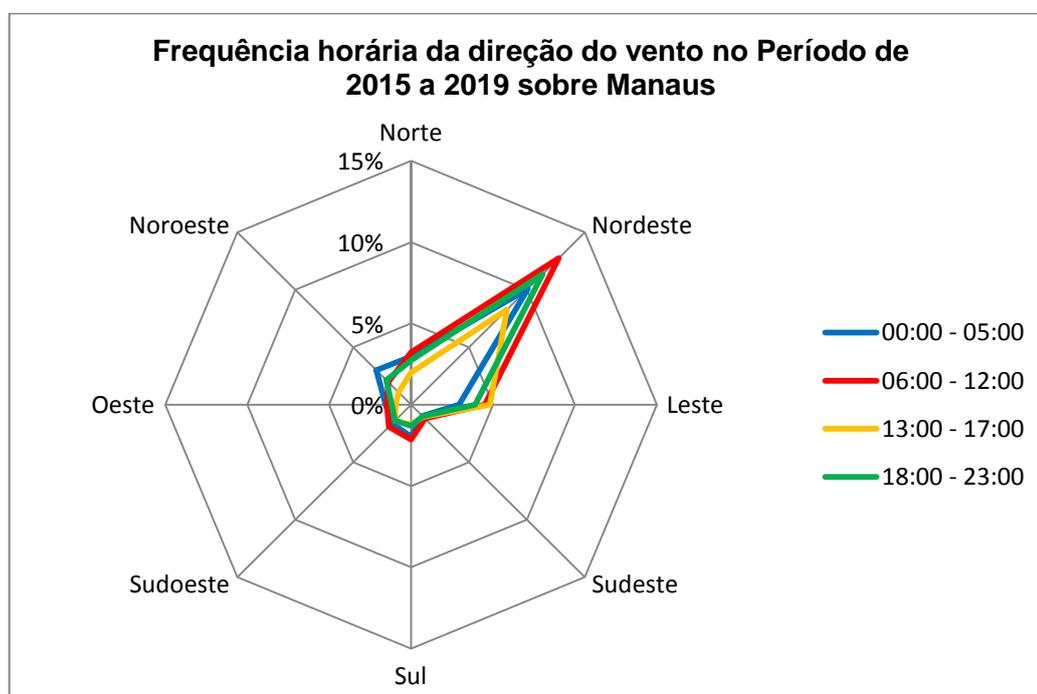
O próximo resultado a ser apresentado é a frequência horária e a intensidade do vento, tendo o intuito de identificar qual o padrão predominante da direção dos ventos que ocorrem sobre a cidade. Dentre os resultados que serão abordados, será exposto um período de 5 anos dos gráficos das rosa-dos-ventos.

O primeiro gráfico em destaque, Gráfico 6, apresenta os registros totais da frequência e direção do vento compreendendo os anos estudados. De acordo com as rosas sazonais horárias, observa-se que o padrão de vento é distribuído em diversas direções. No entanto, nessa escala histórica de 5 anos, as predominâncias foram de nordeste (NE) e leste (E), apontando uma frequência de 5% e 14%. Por outro lado, houve a frequência em outras direções, indicando um valor menor de 5%.

Devido a isso, ao verificar a frequência do vento horário e suas direções, notou-se uma ênfase em alguns sentidos, sendo o primeiro a direção de nordeste

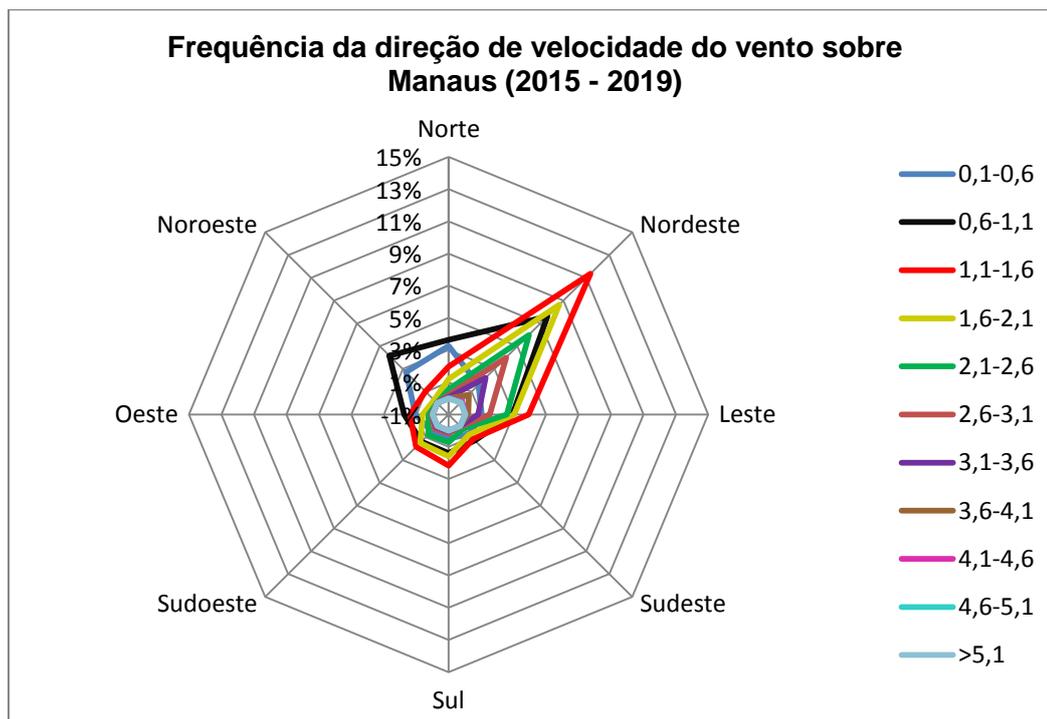
(NE) que registrou para todos os horários um destaque expressivo. Logo, essa direção apresentou uma superioridade no período da manhã das 06:00 as 12:00 HL, demonstrando ênfase nas orientações de (NE – E – S – SW). Em seguida, o período da noite realça uma visibilidade entre 18:00 as 23:00 HL, com domínio nos sentidos de (NE – E - S - SW – NW – N). Já o próximo período, é o da madrugada que abrange os horários das 00:00 as 05:00 HL, compreendendo as direções (NE – E – S – NW – N) e por fim, os horários das 13:00 as 17:00 HL, mostraram uma predominância dos vento sobre as direções (NE – E – S –SW).

Gráfico 6: Frequência Horária da Direção do Vento no Período de 2015 a 2019



Após a análise da frequência dos ventos horários sobre a cidade de Manaus, o gráfico seguinte corresponde à velocidade anual dos respectivos anos estudados. Devido a isso, observa-se no Gráfico 7, que a velocidade do vento tende a apresentar uma forte intensidade, podendo alcançar os 5,1m/s, e isso, ocorre ocasionalmente na direção de nordeste (NE). Por outro lado, as menores intensidades tendem a atingir abaixo de 1,1 m/s, que ocorrem nos sentidos (N – NE – SE - NW), e as intensidades intermediárias compreendem acima de 1,1m/s e abaixo de 3,6 m/s, ocorrendo nas orientações (NE – E – S).

Gráfico 7: Frequência da Direção e Velocidade do Vento sobre Manaus.



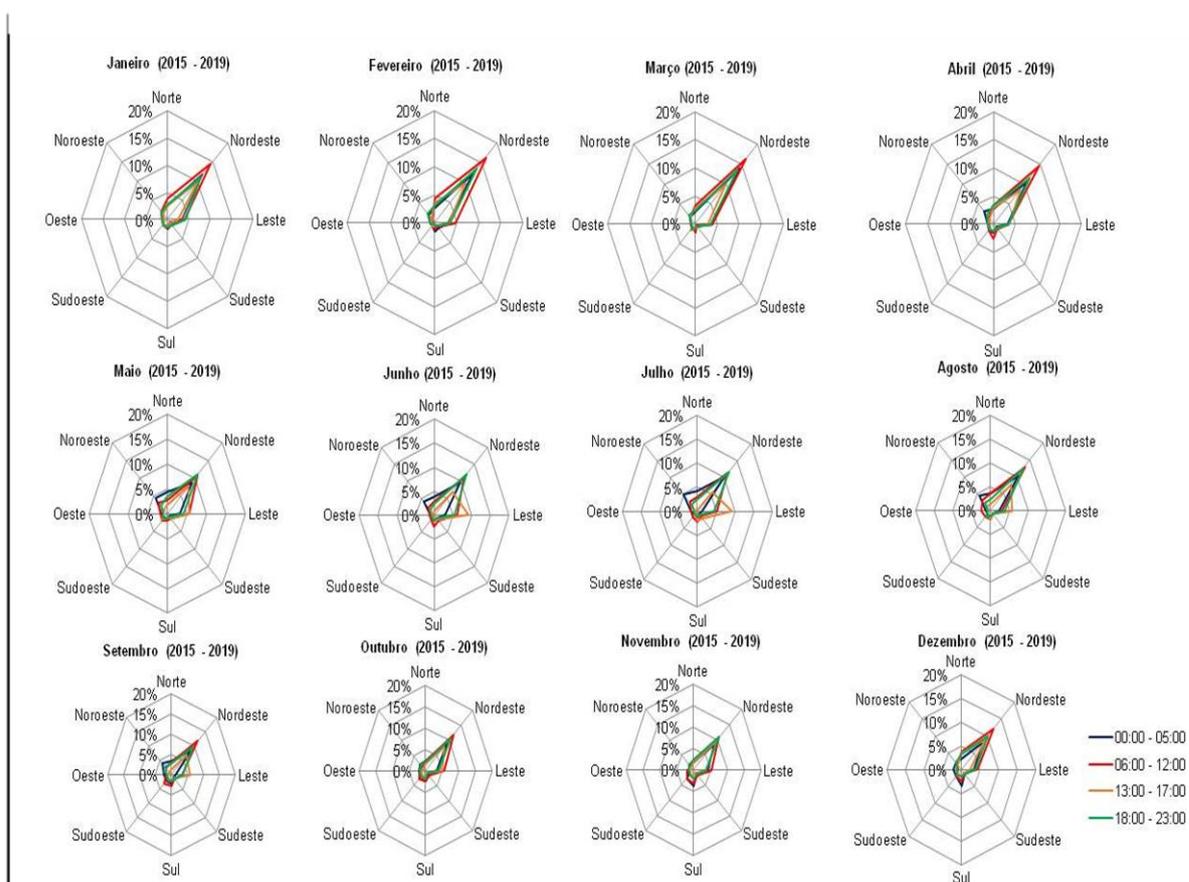
Posteriormente, ao verificarmos o gráfico de velocidade anual, passamos para uma análise mensal da frequência horária dos ventos em Manaus, onde é possível observar na Figura 28. E mediante a esse resultado, ao examinarmos os meses correspondentes à estação chuvosa (de janeiro a abril) apresentaram uma predominância de ventos no quadrante de nordeste (NE). As frequências em destaque foram de 14% a 17%, tendo como ênfase o período da manhã, compreendendo os horários das 06:00h até as 12:00h locais. Para mais, o mês de transição do chuvoso/seco (maio), percebeu-se uma queda na frequência bem como o destaque para outras direções, sendo-as de (N – NE – E – NW). Além disso, as frequências registradas para este mês foram de 4% a 11%, apontando com notoriedade os períodos das 00:00h as 05:00h, 06:00h as 12:00h e 18:00h as 23:00h.

Por outro lado, nos meses que estão inseridos no período seco da região (de junho a setembro) mostraram uma diminuição na frequência dos ventos em comparação ao período chuvoso. Entretanto, para esses meses em destaque sobressaíram outras direções que são (NE – E – NW) que apresentaram em seus registros as frequências de 5% a 13%, no qual compreendeu os horários das 00:00h as 05:00h, 06:00h as 12:00h e 18:00h as 23:00h. De resto, o mês seguinte (outubro), conhecido como o mês de transição do seco/chuvoso, revelou uma

mudança no padrão dos sentidos dos ventos. Nesse caso, a predominância foi (NE – E) com a frequência de 3% a 12%, englobando os períodos das 06:00h as 12:00h e 13:00h as 17:00h.

E os últimos meses, novembro e dezembro, que manifestam o início do período chuvoso na região, apresentaram ventos provindos de (NE – E – S). Além disso, a frequência predominante registrou os valores de 3% a 11%, no qual compreendeu os horários das 00:00h as 05:00h, 06:00h as 12:00h e 18:00h as 23:00h.

Figura 28: Frequência Horária Mensal da Direção dos Ventos em Manaus



Nesse contexto, ao realizar uma análise geral da direção do vento, notou-se que o sentido predominante foi de Nordeste (NE), com variações de maior destaque de Leste (E). Além disso, as maiores frequências chegaram a alcançar 17% e a intensidade dos ventos ocorreram na faixa de 0,1 a 5,1 m/s. Outro ponto importante nesta pesquisa se refere ao comportamento dos ventos, tendo como referência a escala de Beaufort Tabela 3, que é baseada na força, o número, a descrição, velocidade do vento, e os efeitos visíveis sobre a superfície da terra.

Tabela 4: Escala de Beaufort

Número de Beaufort	Descrição	Características da Paisagem	Velocidade do vento m/s
0	Calmaria	A fumaça eleva-se verticalmente	0 – 0,4
1	Ar leve	O vento inclina a fumaça, mas não faz girar o cata-vento.	0 – 1,5
2	Brisa leve	As folhas se movem e o vento é sentido no rosto.	1,6 – 3,4
3	Brisa suave	As folhas e os ramos pequenos se movem continuamente.	3,5 – 5,5
4	Brisa moderada	O vento levanta o pó e as folhas. Os ramos se agitam.	5,6 – 8,0
5	Brisa fraca	Pequenas árvores começam a balançar.	8,1 – 10,9
6	Vento forte	Os ramos grandes se movem. Os fios elétricos vibram. Dificuldade de se usar o guarda-chuva.	11,4 – 13,9
7	Temporal moderado	As árvores se agitam. Há um incomodo em andar contra o vento.	14,1 – 16,9
8	Temporal	Rompe-se os ramos pequenos das árvores. Difícil andar.	17,4 – 20,4
9	Temporal forte	Os ramos médios das árvores se quebram.	20,5 – 23,9
10	Temporal muito forte	As árvores são arrancadas e danos são espalhados.	24,4 – 28,0
11	Tempestade	Destroços externos. Tetos arrancados, etc.	28,4 – 32,5
12	Furacão	Produz efeito devastador	32,6 – 60,0

Com a relação dos dados obtidos na escala de Beaufort, a velocidade dos ventos na cidade de Manaus pode alcançar até 5,1 m/s, e isso pode ocorrer ocasionalmente, tendo sua preferência no quadrante de nordeste (NE). No entanto, ao verificarmos os ventos na classificação do número de Beaufort, é preciso destacar que os níveis podem atingir a classe de número 9 com a marcação de 20,5 a 23,9 m/s que são considerados como ventos de temporal forte.

Em virtude disso, para a cidade de Manaus, houve um registro de uma forte ventania no ano de 2015, no qual apontou uma intensidade de vento de 76 km/h. Essas rajadas conseguiram arrancar árvores, placas comerciais, apresentaram-se descargas elétricas e inclusive uma parada de ônibus foi arrancada do chão. Com tudo isso, sucedeu-se um grande transtorno para a cidade.

No restante, segundo as informações da divisão de meteorologia do SIPAM, foram divulgados para os jornais locais, conforme a Figura 29, que as rajadas alcançaram a velocidade de 58 km/h. Porém, houve o registro que a ventania chegou aos 76 km/h, principalmente nas áreas do aeroporto de Manaus e na zona Oeste a partir das 07h locais.

Figura 29: Notícia da Ventania Forte em Manaus



Fonte: G1. Amazonas, 2015. Acesso: 30.07.2021

Em suma, podemos ressaltar que o resultado apontado sobre a direção e a frequência dos ventos pode contribuir para constatar por onde adentram as tempestades sobre a área estudada. Com base nos gráficos apresentados, entende-se que durante o período chuvoso a preponderância dos ventos tende a ser de nordeste (NE) para sudoeste (SW) e leste (E) para oeste (W) com pequenas ocorrências. Além disso, as zonas da cidade que são afetadas por esse sentido são os setores leste e norte, sendo as primeiras áreas a serem atingidas pelos sistemas precipitantes. Logo em seguida, as outras regiões da cidade são compreendidas.

Por outro lado, no período seco, o predomínio em destaque é de nordeste (NE) para sudoeste (SW) e leste (E) para oeste (W), onde abrange a zona leste e norte da cidade, sendo as primeiras áreas atingidas pelas chuvas. Porém, em alguns casos, os ventos tendem a apresentar um domínio de leste. Com isso, as tempestades podem adentrar pela zona leste, envolvendo todos os bairros que compreendem esse setor e, em seguida, afetam as outras áreas da cidade.

3.2 Caracterização da Fisiografia de Manaus

Neste capítulo será discutido a fisiografia no entorno da cidade de Manaus. Para isso, as análises foram feitas dentro do raio de 240 km, centrado na base local de instalação do radar meteorológico de Manaus. Desta forma, as análises das tempestades poderão ser relacionadas com os aspectos locais.

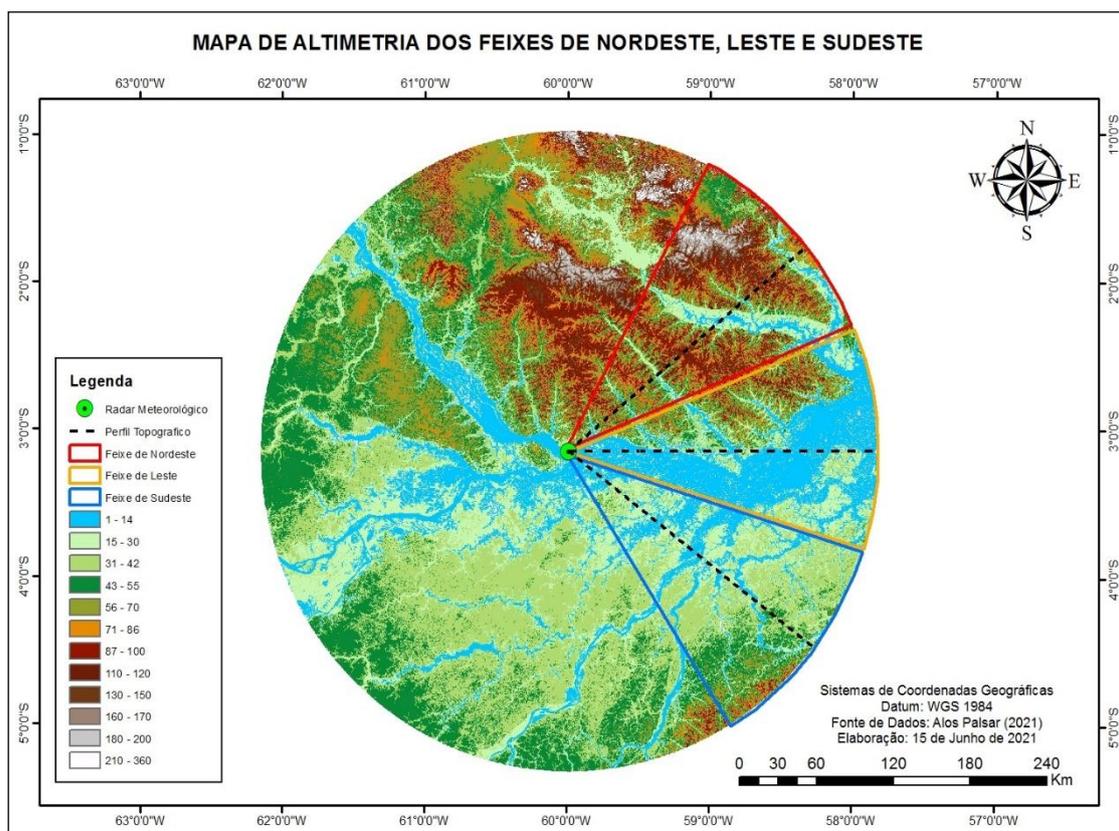
3.2.1 Altimetria

O levantamento altimétrico realizado sobre a área de cobertura do radar meteorológico de Manaus identificou altitudes que variam entre 1 a 360 m, conforme é apresentado na Figura 30. Essa informação é importante para descobrir as regiões potenciais para intensificação ou desintensificação das tempestades na área de cobertura do radar meteorológico. Além disso, na Figura 30, é possível observar três feixes de direção, tendo em destaque: nordeste (vermelho), leste (laranja) e sudeste (azul) do centro do radar.

Estes sentidos foram determinados no mapa de altimetria para conduzirem a coleta de informação dos dados provenientes do radar, no qual mostra que o fluxo de vento predominante na região é preferencialmente de leste para oeste e 99% das tempestades se deslocam neste sentido (MACHADO et al., 1998; SARAIVA, 2010; SARAIVA et al., 2016). Para entender as características do relevo ao longo do raio de abrangência do radar, foi traçado um perfil topográfico (linha tracejada Preta) sobre os feixes definidos anteriormente, no intuito de constatar os pontos mais elevados sobre cada setor.

A observação do mapa de altimetria é de suma importância, dado que é possível identificar as condições topográficas da área estudada. Por esse motivo, ao verificarmos o relevo que abrange o entorno da cidade de Manaus em um raio de 240 km, temos como referência de análise o ponto do radar meteorológico e dos feixes de direção predominante de nordeste, leste e sudeste, que se destacam por apresentar os sentidos dominantes da entrada dos sistemas precipitantes. Em virtude disso, ao examinar o primeiro setor nordeste, dispomos de uma elevação que varia de 1 a 215 m, no qual mostra que é uma região elevada, apresentando valores superiores em relação às demais áreas definidas. Todavia, as áreas mais baixas estão associadas a lugares de vale e planícies, que podem ter relação com um afluente do rio Amazonas e apresentam um intervalo de altitude de 1 a 28 m.

Figura 30: Mapa de Altimetria dos Feixes de Nordeste, Leste e Sudeste



Elaboração: Igor Carvalho, 2021

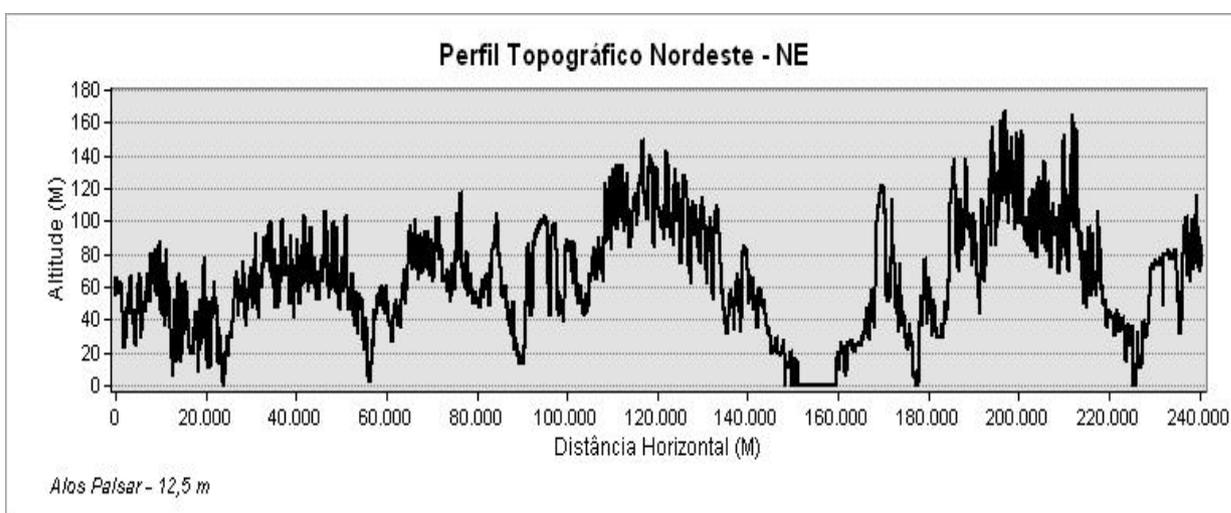
Por outro lado, no setor leste tem-se a presença do rio Amazonas e de algumas áreas alagadas, no qual é possível observar que a altitude próxima ao rio tende a alcançar de 1 a 40 metros. Além disso, as partes da superfície que realça uma tonalidade de cores mais escuras apresentam uma elevação superior que abrange de 20 a 140 m de altura. Por fim, no feixe de sudeste, se destaca por mostrar um relevo mais baixo na maior parte de sua área definida, alcançando os valores de 1 a 55 m. Porém, nas regiões ao extremo do limite do radar se destacam por mostrar uma topografia elevada, chegando a atingir de 50 a 80 m de altura.

Em virtude disso, para identificar a topografia mais elevada, foi traçado o perfil topográfico das direções em destaque de nordeste (NE), leste (E) e sudeste (SE). Tal perfil foi tracejado no mapa em uma resolução espacial de 12,5 m. No entanto, para se ter uma noção das áreas mais altas foi realizado uma análise dos perfis do ponto de partida do limite final do feixe até a cidade, onde está localizado o radar meteorológico.

E ao observar a Figura 31, que demarca a direção de nordeste, nota-se que a cota altimétrica é bastante elevada, chegando a alcançar os 167 m de altura. As

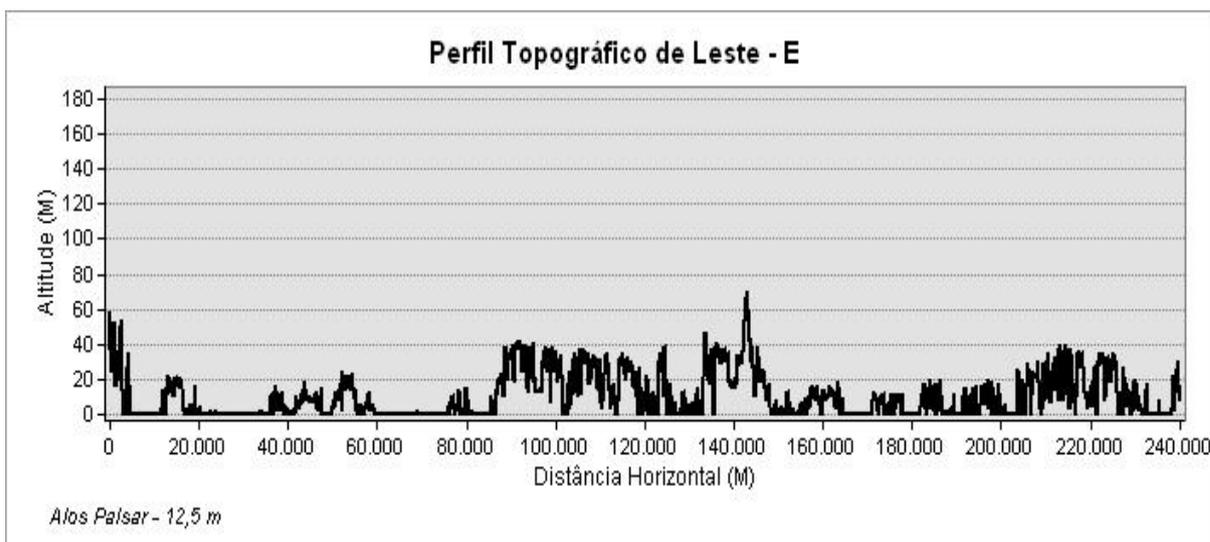
altitudes superiores apresentam um destaque a partir das distâncias de 200 a 220 km, mostrando uma altura que varia entre 163 a 167 m de altura. Posteriormente, ao prosseguir em direção da cidade, as elevações mostraram um declínio, principalmente próximo a áreas de trecho de rios. Seguindo, o perfil tem-se um aumento na altitude, sobre a distância de 120 km, apontando o valor de 145 m e, em seguida, essa elevação expressa uma diminuição em sua cota, variando de 120, 100 e 80 m de altura, tendo como evidência as distâncias de 80, 40 e 20 km. Por fim, ao atingir a cidade sua altitude é de 60 m.

Figura 31: Perfil Topográfico de Cobertura do Radar – Direção Nordeste



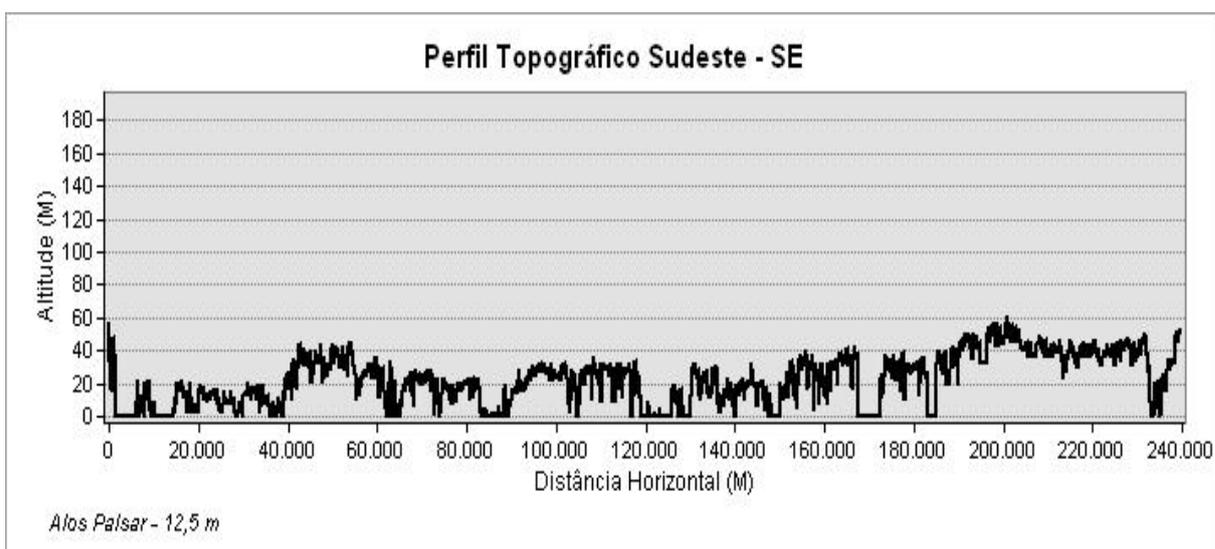
Para a direção leste, Figura 32, se destaca por ser uma região que abrange parte do rio Amazonas, no qual é caracterizado geomorfologicamente, como uma área de planície. Por outro lado, parte que compreende a superfície é descrito como um relevo de planalto da Amazônia Oriental. Devido essas características, ao analisar esse feixe é possível identificar que o relevo não é tão elevado sobre o perfil, apresentando uma altura de 40 m sobre a distância de 220 km. Em seguida, tem-se um declínio na altitude chegando a alcançar os 20 m de altura, na distância de 200 a 160 km. Posteriormente, ao seguir o perfil há um aumento na elevação apontando o valor de 70 m, na distância de 140 km. Além disso, conforme vai se direcionando à cidade a altitude apresenta uma diminuição em seus valores que variam entre 40 e 20 m acerca das distâncias de 120 a 20 km. E por fim, essa altura tem uma superioridade próxima à cidade, que está sobre a altura de 60 m.

Figura 32: Perfil Topográfico de Cobertura do Radar - Direção Leste



Já na Figura 33 é apresentado o perfil topográfico de sudeste, no qual se destaca por apontar elevações mais baixas devido à região se caracterizar da mesma maneira como o relevo de planície. E nessas áreas, a cota de altimetria sobre a distância de 200 km chega a alcançar os 61 m de altura, sendo o maior ponto registrado sobre o perfil. Seguidamente, ao se direcionar para a cidade as cotas apresentam um declínio que variam entre 41 a 20 m de altitude, percorrendo todo o perfil. Posteriormente, ao atingir a cidade tem-se uma elevação na altimetria, chegando a compreender os 60 m.

Figura 33: Perfil Topográfico de Cobertura do Radar - Direção Sudeste



Em comparação aos feixes de direção dos perfis topográficos sobre a cobertura do radar meteorológico, podemos ressaltar que a região mais elevada em

destaque foi a de nordeste. Dado que se sobressaiu por apresentar cotas de altimetria superiores em semelhança às outras direções, chegando a compreender em partes de sua faixa uma altitude que pode alcançar os 215 m de altura.

3.2.2 Vegetação

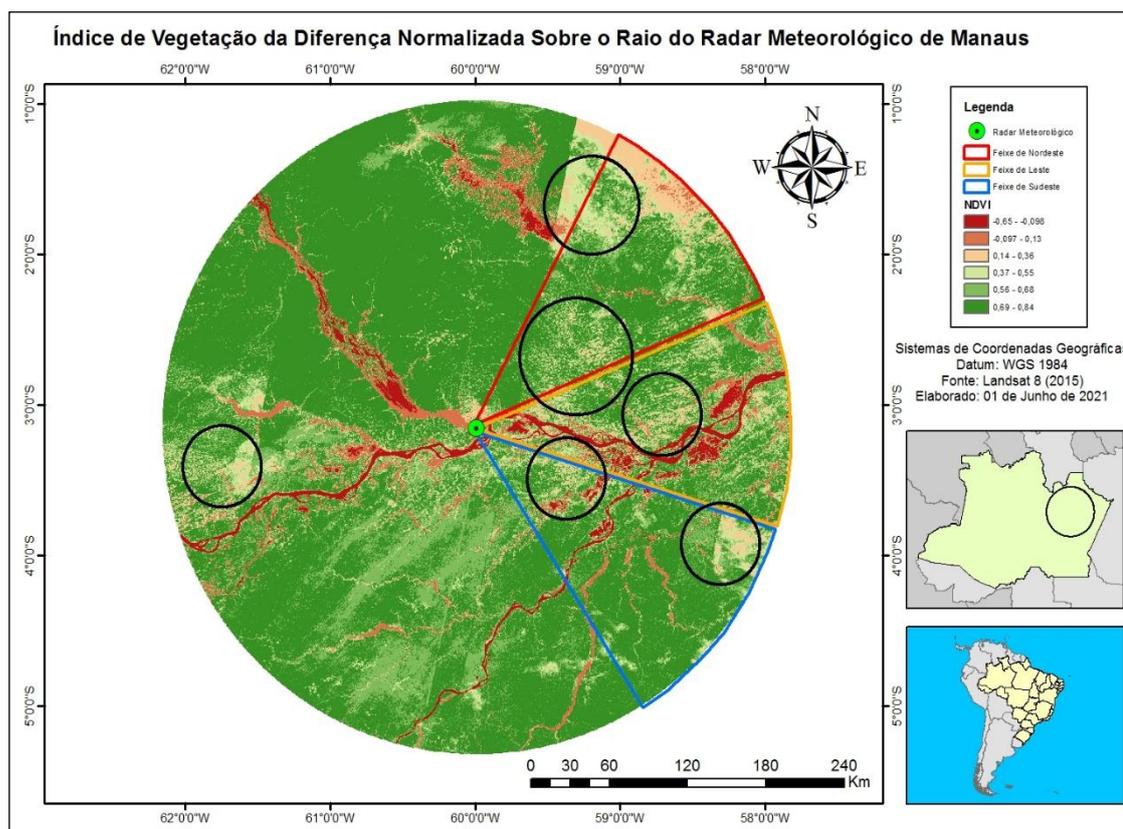
A floresta amazônica é conhecida como uma grande floresta úmida, no qual se destaca por apresentar uma grande extensão territorial. Sua caracterização é composta de árvores densas de grande porte, que constitui o maior reservatório natural da diversidade vegetal do planeta. Além disso, mesmo indicando uma grande área florestal, a mesma vem vivenciando elevadas taxas de desmatamentos e queimadas. E esses fatores acabam ocasionando um conjunto de problemas ambientais e climáticos que atinge tanto a região como o planeta (PORTO, 2001).

Ao enfatizar sobre a vegetação na Amazônia, ressalta-se que a própria floresta é responsável por cerca de 50% da precipitação da região. Além disso, a mesma apresenta dois tipos de estratos vegetativos: Sendo a primeira a floresta de terra firme, que cobre 90% da Amazônia brasileira e não sofre com inundações periódicas. A segunda é conhecida como florestas de várzea e de igapó, no qual estão sujeitas a inundações. (BRAGA, 1979; SALATI, 1983)

Analisando esses tipos de vegetação, a floresta de terra firme, está situada em regiões elevadas e não é atingida pelas inundações dos rios. Em contra partida, a vegetação de várzea aponta uma inundação em determinados períodos do ano, e essa vegetação tem semelhança com as florestas de terra firme. Já a floresta de igapós se encontra em terrenos baixos, e estão sempre inundados.

Em virtude disso, partindo para uma análise na cobertura vegetal, foi realizada uma verificação estatística, através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no entorno da cidade. Tendo como intuito de identificar a cobertura vegetal, mediante aos feixes de direção predominantes de nordeste, leste e sudeste, conforme é mostrado na Figura 34.

Figura 34: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada



Ao examinar o feixe de nordeste, é possível observar que nesse setor a cobertura vegetal é bem densa, podendo se caracterizar como parte de uma vegetação de terra firme. Devido a isso, ao averiguar os valores predominantes do NDVI nessa faixa, tem-se a compreensão da estatística entre 0,56 a 0,84, correspondendo a uma área de extensão florestal. Por outro lado, consta-se também a presença de lugares desmatados, principalmente próximos às margens dos afluentes dos rios, como da mesma forma ao redor da cidade. E isso, é representando com os valores entre -0,65 a 0,36. Além disso, essa análise compreende da mesma maneira a presença das nuvens, situada nessa faixa.

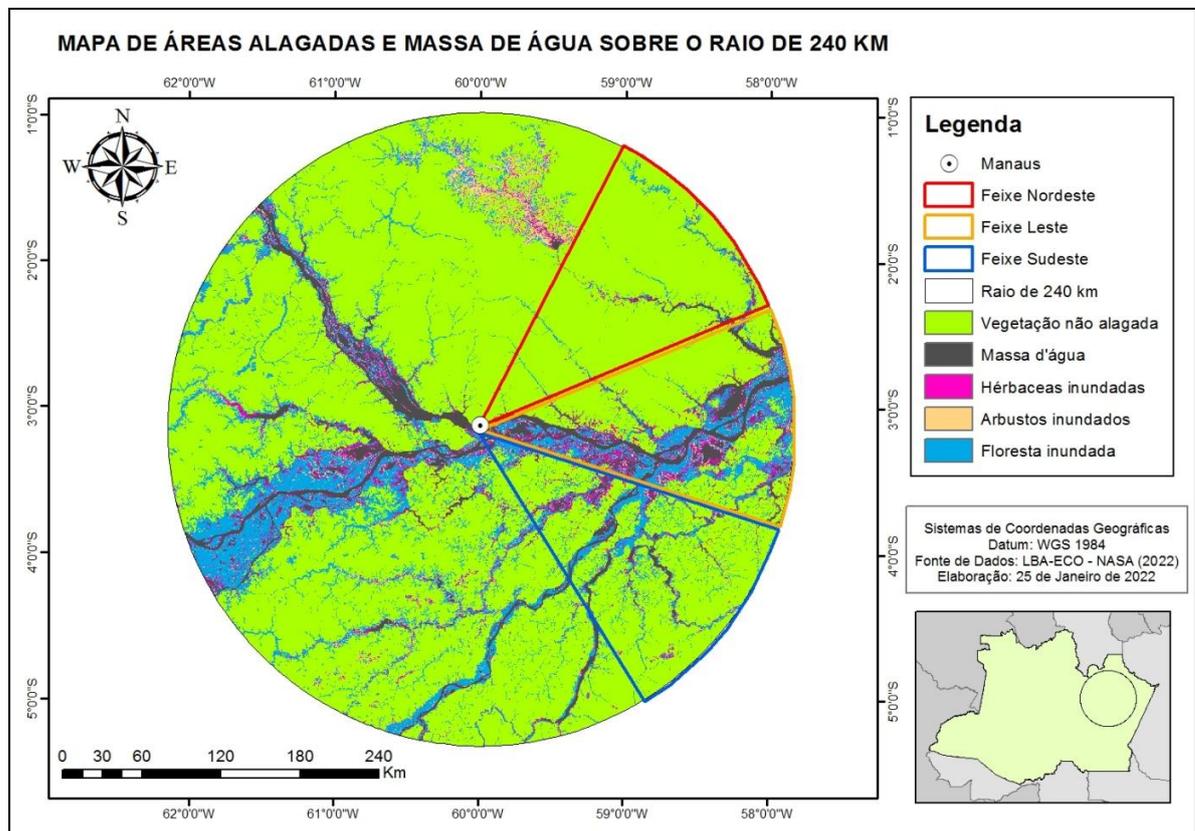
Já na direção leste, há uma forte presença de uma vegetação densa, porém, com duas características, sendo uma de terra firme e outra de várzea por está próxima ao rio Amazonas. Por meio disso, ao verificar as informações que apresentam cobertura vegetal, os valores identificados variam entre 0,56 a 0,84. Seguidamente, a parte sem vegetação está situada próxima à margem dos rios e afluentes e compreende os valores entre -0,65 a 0,36. E essa estatística abrange da mesma maneira as nuvens.

Por fim, no setor sudeste, temos da mesma maneira uma vegetação que se forma em terra firme e outra em várzea. E os valores que compreende essa cobertura vegetal variam entre 0,56 a 0,84, apontando as faixas florestas. Em contra partida, a faixa sem florestamento está situada em áreas próximas a rios e afluentes, e essas áreas não estão tão distante da capital. Além disso, os valores compreendidos oscilam entre -0,65 a 0,36. E esse resultado engloba da mesma forma a presença das nuvens.

3.2.3 Hidrografia

O detalhamento da rede hidrográfica que percorre o entorno da cidade de Manaus é apresentado na Figura 35, onde é possível observar uma malha cortada por uma rede de canais, tendo como agente principal de drenagem os rios Negro, Amazonas, Solimões e Madeira. Sendo que eles estão inseridos na maior bacia hidrográfica do planeta. Além disso, para compreensão dessa rede hidrográfica, foi introduzido feixes de direção que determinam a entrada dos sistemas precipitantes, tendo como objetivo entender cada setor relacionado.

Figura 35: Mapa de Áreas Alagadas e Massa de Água sobre o Raio de 240 km



Ao analisarmos as características de cada setor, o feixe de nordeste, se sobressai por apresentar um relevo elevado, e sobre essa faixa expõe uma rede drenagem que conecta com o rio Amazonas. Além disso, dentro dessa porção examinada o predomínio de uma área não alagada (terra firme) estende-se por 188 km², compreendendo 93% sobre esse setor. Essa particularidade pode ser observada na Tabela 5.

Por outro lado, nessa parte é possível observar regiões cobertas somente por água e outras acentuando uma vegetação inundada, e isso, no total englobam uma região de 11 km², abrangendo cerca de 5% sobre essa extensão. Ademais, nessa região tende a exibir em algumas partes uma coloração escura em suas águas (marrom transparente), e esse aspecto de cor, conforme apontada nos estudos de Sioli, 1951 está associada devido a presença de igapós, onde se tem contato com o material orgânico morto que contribui para a dissolução de substâncias húmicas que se desenvolvem em áreas de inundação.

Tabela 5: Atributos da Área de Abrangência do Radar nos setores de Nordeste, Leste e Sudeste

Áreas	Nordeste (km ²)	Nordeste (Porc. %)	Leste (Km ²)	Leste (Porc. %)	Sudeste (km ²)	Sudeste (Porc. %)
Vegetação Não Alagada	188.78	93.4	103	51	153.580	75.5
Massa de Água	1.58	0.78	33.5	16.5	8.997	4.4
Herbáceas Inundadas	0.65	0.32	19	9.2	3.254	2
Arbustos Inundados	1.78	0.88	5.3	3	7.300	4
Floresta Inundada	7.17	3.54	42	21	30.236	15

No feixe de leste, a rede de drenagem se conecta com o rio Amazonas, no qual é caracterizado pela junção dos rios de água barrenta e escura, formando

assim o encontro das águas. Os principais rios que formam esses fenômenos são o Negro e o Solimões. Devido a isso, ao verificar esse setor, é possível observar que as áreas não alagadas apresentam uma extensão de 103 km², cobrindo um espaço de 51% de terra firme. No entanto, para as regiões com a presença de água, tendo em vista cobrindo parte da vegetação, tem-se uma cobertura total de 99 km², englobando cerca de 50% sobre essa faixa. Nesse contexto, se destaca da mesma maneira o relevo, que segundo os estudos de Ross (2011) é apontado como uma planície que margeia o leito rio principal, no qual indicam uma elevação não tão elevada.

Por fim, no feixe de sudeste, o relevo apresenta cotas altimétricas inferiores e é banhado por uma rede de drenagem que se destacam por rios de coloração preta e barrenta. Por meio disso, verificando as características nesse setor, nota-se que as áreas não alagadas apresentam um predomínio de 153 km², ou seja, o espaço examinado abrange cerca de 75%. Em contra partida, nas regiões onde tem a presença de água, cobrindo da mesma maneira lugares com vegetação, a extensão total envolvendo essa faixa é de 49 km², tendo uma área de cobertura de 25%.

A rede hidrográfica sobre esse setor aponta a presença de parte da confluência do rio Negro e Solimões, como também o rio Madeira. Dentre esses rios, o primeiro apresenta uma largura expressiva próxima à cidade, no qual é possível observar o encontro do rio negro e o barrento, formando o encontro das águas, conhecido como o rio Amazonas. Já o segundo, é caracterizado como um grande afluente do rio Amazonas. E sua origem está relacionada nas encostas das montanhas dos Andes, onde ocorre o processo de desagregação das rochas que está associada devido ao relevo e as condições climáticas. Conseqüentemente, contribui para o surgimento de partículas dissolvidas que são descritos por serem transportadas pelos rios e contém sedimentos em suspensão. Além disso, o outro processo de erosão que coopera para o aparecimento de sedimentos é o (processo das terras caídas), que corrobora para a expressiva coloração de sua água (ADAMY, 2016).

3.3 Distribuição de Frequência dos Echotop e o CAPPI de 3 km

Nesta seção será discutida as distribuições de frequência dos campos de refletividade extraídos do radar meteorológico de Manaus. As informações referem-se aos anos de 2018 e 2019 e estão separadas em matrizes do CAPPI para o nível em 3 km e ECHOTOP (topo das nuvens) nos limiares de 20, 30 e 45 dBZ. As ocorrências foram selecionadas para a região leste do radar e setORIZADAS, conforme discutido anteriormente no item 3.2 “Caracterização da Fisiografia de Manaus”.

3.3.1 Distribuição de Frequência do CAPPI de 3 km

Conforme discutido no capítulo 1, o CAPPI no nível de 3 km é um produto utilizado tanto para o monitoramento de tempestades como para estimativas de precipitação. Nesta pesquisa não se pretende estimar a precipitação, visto que isto envolveria a elaboração de uma relação apropriada para a região, que não é o propósito do trabalho. No entanto, relações entre elevados valores de refletividade e maior quantidade de precipitação serão realizados, visto que quanto maior a refletividade entende-se que seja maior a precipitação instantânea. Adicionalmente, valores de refletividade maiores que 35 dBZ, indicam condições convectivas e refletividades superiores para este limiar no CAPPI de 3 km, representando assim chuvas moderadas para forte.

A distribuição de frequência do CAPPI em 3 km de altura é apresentada no Gráfico 8. Percebe-se que as maiores ocorrências de refletividade são observadas na faixa de 20 dBZ, e os setores que apresentaram maior destaque foi o de sudeste, apontando (16,6%) e com predominância em todas as faixas de refletividade, seguido de leste (15,1%) e nordeste (14,6%). A diferença da ocorrência entre o setores com maior e menor frequência, indicaram cerca de 1% para limiares de refletividade menores que 30 dBZ e, aproximadamente 0,3%, acima dos 35 dBZ. Para limiares de refletividade igual ou acima de 40 dBZ a ocorrência não ultrapassou 1%. Essa diferença baixa entre os limiares tem relação de como foram extraídos toda série de dados de refletividade, incluindo com chuvas e sem, e isso fez gerar uma diferenciação nos valores de porcentagem.

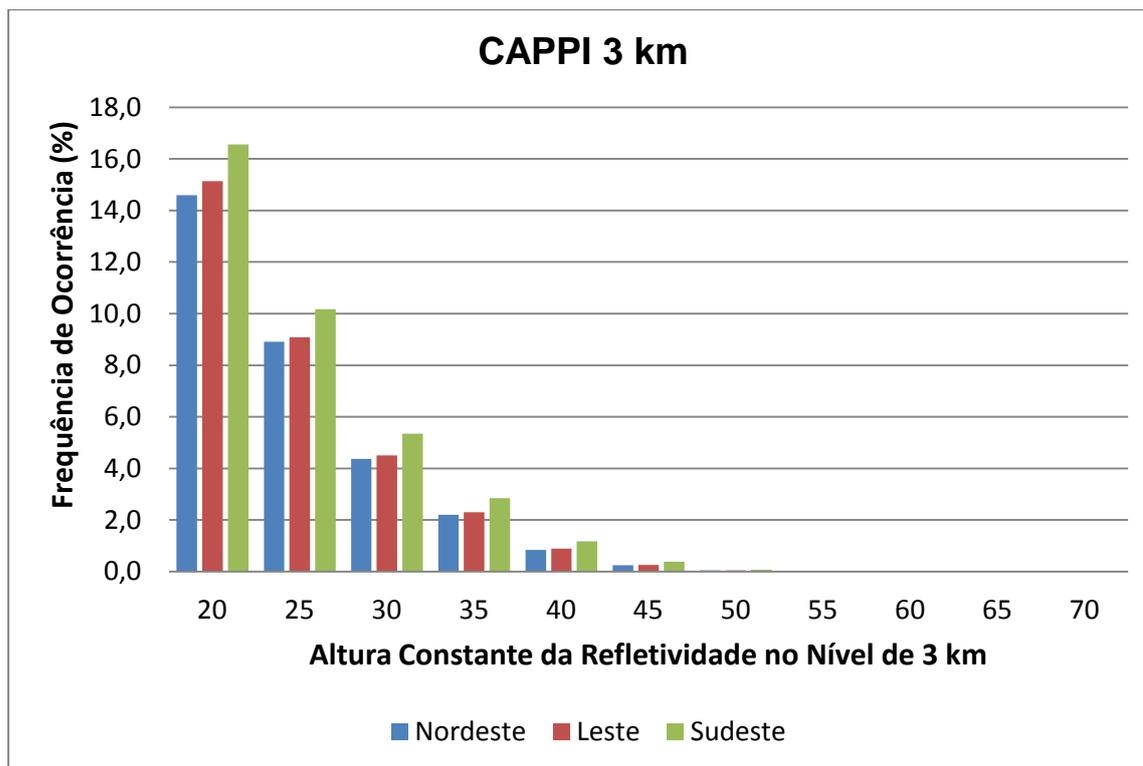
A fisiografia local no setor sudeste (figura 30) mostra que o relevo apresenta baixa altimetria e a hidrografia se destaca por apontar o início da confluência rio Negro e do rio Solimões, formando assim o encontro das águas, conhecido como o

rio Amazonas. Assim, esta região apresenta uma das maiores larguras do rio nas proximidades de Manaus, chegando a aproximadamente 5 km, sendo que seja possível colaborar para processos de convecção e também contribui para as maiores frequências de chuva intensa neste setor. Por essa razão, Tanaka, 2014 mostra que os eventos de precipitação em Manaus-AM, apresentam relação com a convergência de umidade do rio, devido ao processo de circulação local (brisa fluvial e brisa terrestre).

Devido essas características, o aquecimento diurno que ocorre na cidade pode contribuir da mesma forma para a formação de nuvens de chuva, e isso é notado principalmente nos resultados de temperatura média apresentada no gráfico 4, no qual indicaram dois períodos que se destacam com o aumento das temperaturas, que são: manhã e tarde. Esses períodos mostraram que o aquecimento que ocorre em suas faixas pode contribuir para o aumento das frequências de precipitação, devido à brisa fluvial se direcionar a cidade, colaborando assim para a formação de nuvens convectivas. E esses resultados podem ser observados no gráfico 1 (Ocorrência de precipitação).

Outro importante resultado encontrado nesta pesquisa que corrobora com resultados de Tanaka, 2014 é a influência do aquecimento da área urbana no aumento da frequência de ocorrência de precipitação, porém sem contribuir para a intensificação da mesma.

Gráfico 8: Frequência do CAPPI no nível de 3 km entre 2018 e 2019



3.3.2 Distribuição de Frequência do Echotop de 20, 30 e 45 dBZ

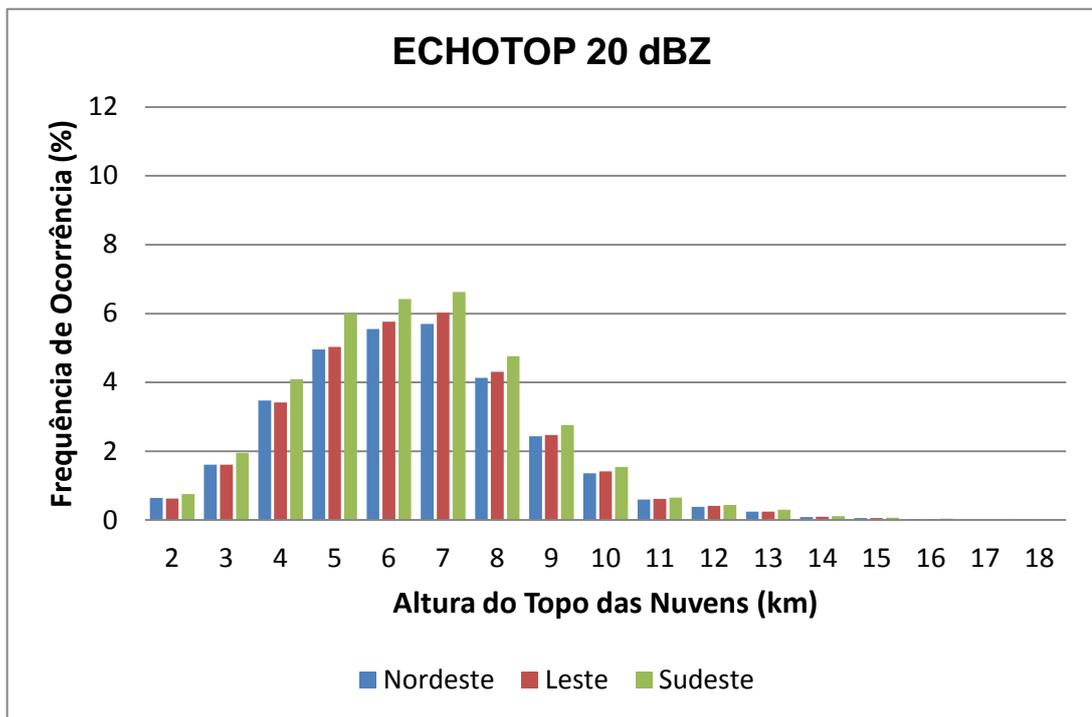
Conforme abordado anteriormente o produto Echotop representa em um plano horizontal a altura do topo das nuvens e é calculado a partir de uma varredura volumétrica do radar sobre a variável refletividade. As análises compreendem 3 limiares para este produto sendo que o limiar de 20 dBZ representa de fato o topo das nuvens, já os limiares de 30 e 40 dBZ associa-se a severidade das tempestades, visto que valores elevados de refletividade só são observados em níveis mais elevados quando há fortes correntes ascendentes e descendentes dentro da nuvem. Portanto, maiores alturas no Echotop destes limiares representam tempestades mais intensas, associadas a rajadas de vento, granizo e descargas atmosféricas.

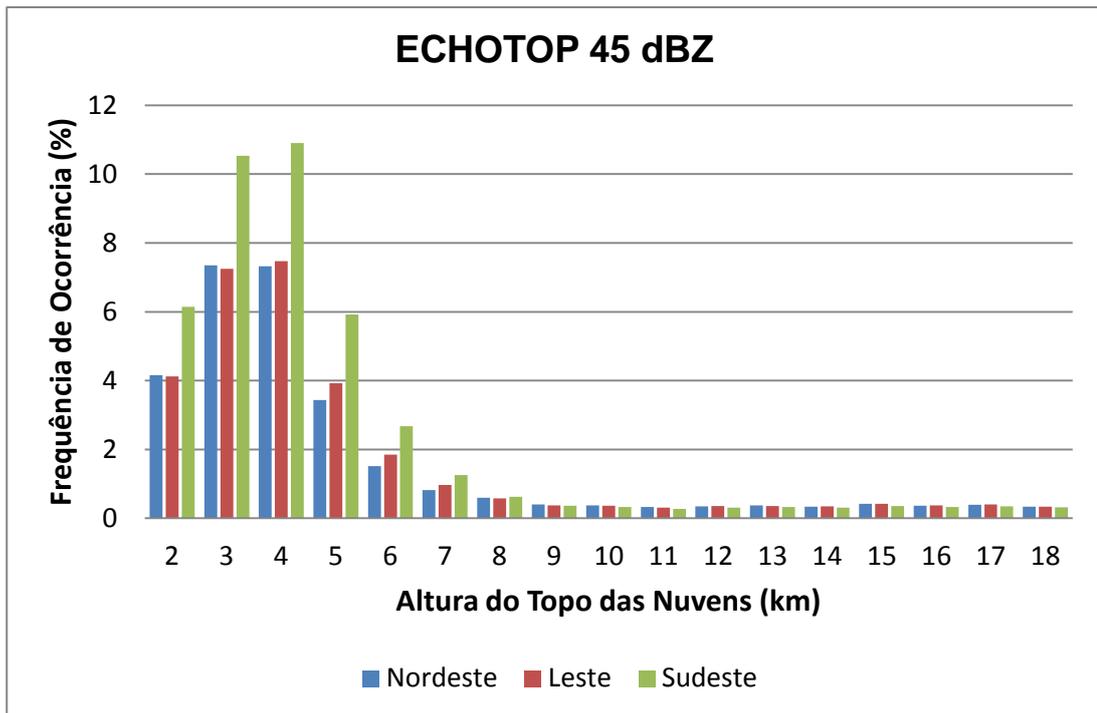
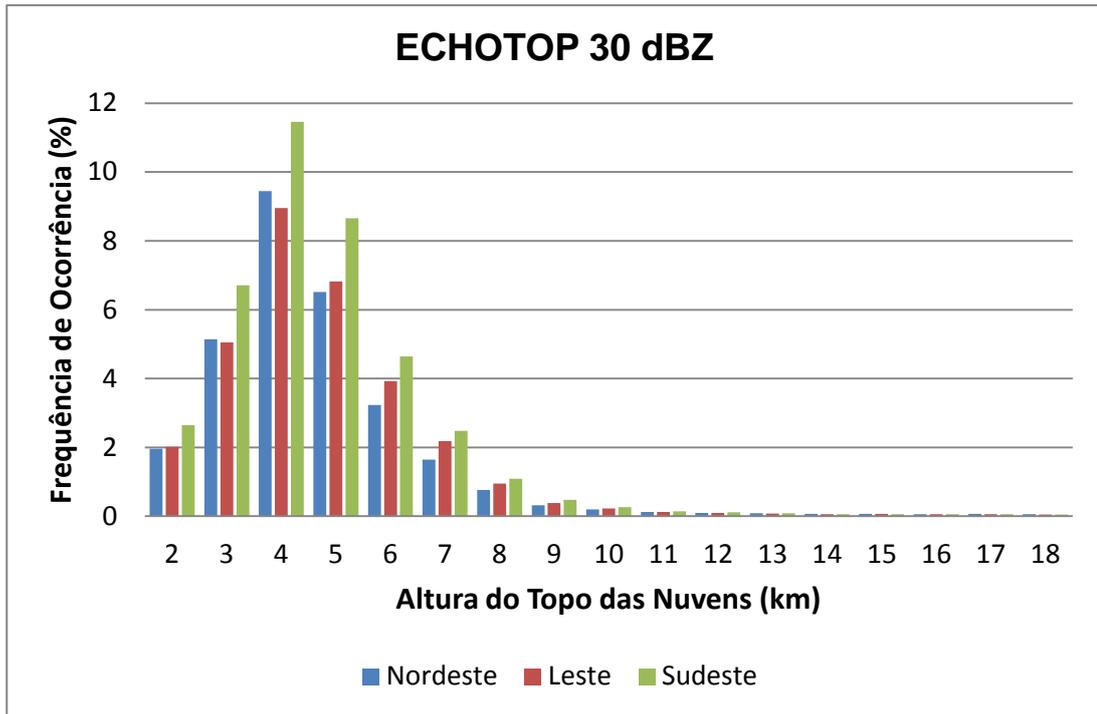
O gráfico 9 apresenta a distribuição de frequência de ocorrência do produto Echotop, onde o eixo X representa os valores da altura do topo da nuvem, enquanto que o eixo Y a frequência de ocorrência.

O Echotop para o limiar de 20 dBZ (Gráfico 9 A) indica que nuvens que adentraram a cidade Manaus são mais frequentes nas alturas entre 6 a 7 km, sendo

que o topo de nuvem de 7 km é o que apresentou maior frequência em todos os setores, no qual registraram (5% - nordeste; 6,4 % - leste; 6,6 % - sudeste). Com essa condição, é possível constatar que os sistemas que abrangem, em sua maioria, apresentaram uma profundidade não tão elevada.

Gráfico 9: Distribuição de Frequência do Echotop entre 2018 e 2019. Echotop 20 dBZ (9A - superior). Echotop 30 dBZ (9B - meio). Echotop 45 dBZ (9C - inferior).





O Gráfico 9b apresenta a distribuição de frequência do Echotop para o limiar de 30 dBZ, ou seja, o código é varrido ponto a ponto de grade e desde o nível mais elevados até encontrar o valor de 30 dBZ, para determinar a altura do eco do radar. Para essa faixa os ecos do radar são encontrados em níveis mais baixos que o topo

da nuvem e indicam região de concentração de cristais de gelo. O que ocorre é que valores elevados de refletividade acima da camada de derretimento indica forte convecção dentro da nuvem, de modo que o gelo que segue a corrente descendente e chega à camada de derretimento tem sua superfície transformada em água e ao ser carregado pela corrente ascendente ainda mantém uma camada com a presença de água no estado líquido. Fisicamente, as ondas eletromagnéticas retroespalham mais energia em gotas de água do que em partículas de gelo, no entanto, nestes casos da camada externa da partícula de gelo estar na forma líquida, o radar entende que são gotas de água em camadas acima do derretimento. Estas características físicas do radar possibilitam relacionar ao grau de severidade das tempestades.

Por essa razão, ao observar os maiores registros apontados no Gráfico 9b, percebe-se que há um aumento no percentual de frequência para os níveis 4 e 5 km de altura (8,6 e 11%). Ainda no nível de 4 km, registram as maiores frequências em comparação aos demais níveis, visto que todos os setores expressam (nordeste – 9,4%; leste – 8,9% e sudeste – 11%). O setor sudeste destaca-se por apresentar maior frequência de ocorrência do que os demais setores até 8 km de altura, com cerca de 2 a 11 % ocorrência maior entre os níveis de 2 a 5 km e 4 % entre 6 a 8 km. Para níveis igual e superior a 9 km as frequências tendem a serem mínimas, com ocorrências inferiores a 1%.

No Gráfico 9c é apresentado a distribuição de frequência do Echotop para o limiar de 45 dBZ. O conceito apresentado anteriormente para o limiar de 30 dBZ é semelhante, no entanto para este limiar espera-se verificar a ocorrência de tempestades mais severas, que possuam movimentos verticais mais intensos e partículas de gelo, graupel e granizos maiores. O comportamento apresentado neste limiar é semelhante ao observado em 30 dBZ com maior ocorrência no setor sudeste, sobre os níveis de 3 e 4 km, compreendendo os 11%.

Diante disso, ao verificar os resultados gerais dos gráficos 8 e 9, podemos ressaltar que as tempestades que se deslocam em direção a cidade de Manaus – AM, tendem a apresentar características de sistemas não tão profundos, com alturas preferências entre 3 a 5 km, ou seja, são considerados sistemas não severos. Logo, o destaque da direção de sudeste, dá um indicativo de que parte dos sistemas precipitantes que se movem sobre essa faixa, pode ter sua formação por meio do

rio, assim como é capaz de surgir por outros sistemas de meso e grande escala, como também pela convecção diurna.

Por essa razão, descrevendo a fisiografia sobre essa direção, é possível notar que o relevo não é tão elevado, sendo capaz de não interferir na entrada desses sistemas. Por outro lado, a vegetação predominante é de terra firme e de várzea, tal estrato vegetativo pode contribuir para o desenvolvimento das nuvens de precipitação por meio do processo de evapotranspiração. Para mais, a hidrografia marca a presença da confluência do rio Negro e Solimões, no qual apresenta uma largura expressiva que contribuir para a formação de nuvens de precipitação próximas a cidade. Além disso, essa variável é capaz de levar umidade por meio da convergência do ar, colaborando junto com a convecção diurna para surgimento de maiores eventos de precipitação, principalmente no período matutino e vespertino.

Devido a isso, de acordo com os resultados apresentados, os sistemas desse setor tendem a ser mais frequentes, assim como pode apresentar, em alguns casos, maior grau de severidade e possibilidade de gerarem elevados quantitativos de chuva instantânea. E isto pode causar transtornos para a população, principalmente aquelas que moram nas zonas sul e leste que demarca a entrada desses sistemas.

4 . CONCLUSÃO

Através desta pesquisa avaliou-se a influência da fisiografia do entorno da cidade de Manaus-AM sobre a dinâmica dos sistemas meteorológicos. Devido a isso, foi examinada a caracterização meteorológica do perímetro urbano, os atributos da fisiografia do entorno e a distribuição de frequência na entrada dos sistemas precipitantes.

Diante desses resultados foi possível evidenciar uma interação dos fatores geográficos com os elementos meteorológicos, no qual mostrou características significativas para a cidade de Manaus. Dentre esses aspectos, o município tem uma influência de variados sistemas atmosféricos que vão desde uma escala global até a local, e essas propriedades contribuem com o regime de chuvas no perímetro urbano. Através disso, constatou-se por meio dos dados da estação meteorológica um padrão na dinâmica de precipitação, onde houve uma resposta expressiva na frequência de ocorrência e no acumulado horário da mesma, apontando um pico de chuvas em dois períodos do dia, manhã e tarde, sendo o de mais destaque o do período da tarde.

Na dinâmica da temperatura média do ar foi observado um menor aquecimento no início da manhã, com um pico de calor nos primeiros horários da tarde. Devido a isso, a variabilidade da temperatura ao longo dos anos apresentou uma média de temperatura mínima de 25,3 °C e máxima de 31,5 °C. Por outro lado, os dados de umidade relativa média do ar, apresentaram em seus registros a menor média, com valores na faixa de 48% e a maior de 89%. Dentre esses valores, o ano de 2015 foi o que apresentou um baixo valor de umidade, tendo como um indicativo a influencia do fenômeno EL Niño na região Amazônica, no qual foi classificado como sendo um evento forte, onde contribui na redução da precipitação na região.

A frequência dos ventos horários apresentou maior ocorrência nos setores nordeste e leste, tendo como destaque os horários da manhã. No entanto, esse predomínio variou com as estações chuvosa e seca. O período chuvoso tende a mostrar maiores ocorrências de nordeste e, no período seco, o leste. Os ventos de direção nordeste registraram as maiores velocidades tendo atingido $5,1 \text{ ms}^{-1}$, porém com baixa frequência de ocorrência. A maior ocorrência foi na intensidade entre de 1,1 m/s até 3,6 m/s, indicando ventos de brisa suave no período estudado.

Os dados coletados pelo sensor radar meteorológico do SIPAM mostraram a distribuição de frequências das tempestades que adentraram a cidade de Manaus. Com isso, observou-se que as nuvens analisadas nos anos estudados apresentaram um destaque nos valores de refletividade de 20 a 35 dBz, apresentando tempestades de fraca a moderada que tiveram sua entrada preferencialmente de sudeste. Além disso, o topo dessas tempestades foi no máximo de 7 km de altura, evidenciando como uma tempestade não severa. No entanto, isto não representa a ausência de ocorrência de tempestades severas. Neste estudo elas apresentaram uma frequência de ocorrência baixa para valores acima de 35 dbz.

Dentre os aspectos fisiográficos, foi caracterizado o relevo, a hidrografia e a vegetação, no âmbito de verificar suas características no entorno da cidade de Manaus-AM. Ao relacionar essas variáveis com os dados de refletividade do radar meteorológico, notou-se que os sistemas precipitantes que adentram a cidade têm predominância de sudeste. Logo percebeu que nessa faixa o relevo é mais baixo. A vegetação tende a mostrar um estrato de terra firme e de várzea e sua hidrografia é marcada com destaque a confluência do rio Negro e Solimões, apresentando uma largura significativa. Percebeu-se que, entre essas fisiografias, o rio tende a apresentar maior possibilidade de contribuir para a formação de nuvens de precipitação próximas a cidade. Além disso, essa variável é capaz de levar umidade por meio da convergência do ar, corroborando junto com a convecção diurna para surgimento de maiores eventos de precipitação, principalmente no período matutino e vespertino.

Sabendo das regiões preferenciais para a entrada dos sistemas precipitantes, o trabalho se baseou nas informações do radar meteorológico, no qual acompanhou o deslocamento das tempestades que atingiram duas zonas da cidade que estão próximas ao rio: a zonas sul e a leste. Devido a isso, entende-se que há uma possibilidade que os bairros que compreendem essas zonas podem ser afetados pela entrada das tempestades de sudeste. Em destaque na zona sul temos: Distrito Industrial I – 29.120, Japiim – 60.943, Petrópolis – 47.057 e a Vila Buriti – 2.086, juntos somam uma população de 139.206 mil habitantes. Sendo que o bairro Japiim se destaca por ser o mais populoso desta zona. Ademais, a zona sul tem uma importância em sua formação histórica, uma vez que essa região foi à primeira área de povoamento da cidade. No entanto, os demais bairros em evidência surgiram em

meados do século XX com pequenas áreas organizadas, porém no decorrer dos anos, essa organização tomou espaço para algumas ocupações irregulares.

Por outro lado, os bairros que são afetados pela entrada dos sistemas de sudeste na zona leste compreendem: Armando Mendes – 32.302, Colônia Antônio Aleixo – 18.958, Coroado – 58.641 e Mauazinho – 26.903 que juntos apresentaram um total de 136.805 mil habitantes. Além disso, esses bairros surgiram por meio de ocupações irregulares, onde receberam pessoas de vários lugares, devido à instalação da zona franca de Manaus e da especulação imobiliária. Isso causou a migração de pessoas de baixa renda para as zonas mais afastadas dos centros urbanos. Devido a essas características, esses lugares podem sofrer grandes impactos na entrada de tempestades mais severas, uma vez que parte das estruturas construídas nesses bairros se estabeleceu em locais de risco.

Em síntese, vale ressaltar que as áreas afetadas pela entrada dos sistemas precipitantes de sudeste não são considerados bairros totalmente planejados, uma vez que o processo de urbanização desses lugares ocorreu de uma forma acelerada, e como resultado causou um agrupamento urbano.

Com isso, diante das fontes consultadas, dos dados analisados da estação meteorológica, da análise fisiográfica e do sensor do radar, foi possível compreender nessa pesquisa que os sistemas precipitantes que alcançam a cidade de Manaus-AM, têm uma conexão com o rio e isso pode ser observado através dos dados de distribuição de frequência do radar. Isso possibilita dar um indicativo de que parte das precipitações venha dessa variável, e que o mesmo não interfere no seu deslocamento, mas contribui para a formação de nuvens convectivas.

Desta forma, após as ponderações realizadas nessa pesquisa, foram alcançados pontos importantes que levaram a respostas significativas a esse estudo. No entanto, entendemos que ele não se conclui por si só, e considerando a interação da fisiografia do entorno com os elementos meteorológicos, mais pesquisas são necessárias para um aprofundamento das questões levantadas.

5 5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ADAMY, A. Dinâmica fluvial do Rio Madeira. In: SILVA, R.G.C. (org.). *Porto Velho: cultura, natureza e território.*, p. 120–147, 2016. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17138>><<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17138>>.

AIRES, U. R. V.; NETO, J. D. O. M.; CAMPOS, J. A. Uso de NDVI Para Análise do Comportamento do Regime de Vazões do Rio Paraoapeba, MG. *Scientia Agraria*, v. 18, n. 3, p. 8–19, 2017.

ALMEIDA, H. A. de. *Climatologia Aplicada à Geografia*. Campina Grande: Editora da Universidade Estadual da Paraíba, 2016.

ANDRADE, L. da S. *Variabilidade Decadal da Zona de Convergência Intertropical e sua Influência na Pluviosidade da Região Norte do Brasil*. 2007. Universidade Federal de Alagoas, 2007.

ANGELIS, C. F. De. *Radar Meteorológico: Teoria, Conceitos e Aplicações Introdução*: Cachoeira Paulista - São Paulo: INPE, 2011.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. *Atmosfera, Tempo e Clima*. 9. ed. Porto Alegre: Revisão Técnica: Francisco Eliseu Aquino, 2013.

BRAGA, P. I. S. Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da floresta amazônica. *Acta Amazonica*, v. 9, n. 4 suppl 1, p. 53–80, 1979.

CALDERON, G.; BORSATO, V. D. A. O Fenômeno La Niña e sua Influência na disponibilidade Hídrica no Município de Campo Mourão-PR. *GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)*, v. 21, n. 1, p. 177–197, 2017.

CHAPMAN, B.; ROSENQVIST, A.; WONG., A. *JERS-1 Synthetic Aperture Radar, 100-m Mosaics, South America: 1995-1996*. Disponível em: <<http://daac.ornl.gov>>.

COHEN, J. C. P. *Um Estudo Observacional de Linhas de Instabilidade na Amazônia*. 1989. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1989.

DIAS, A. A. C.; ANDRADE-NETO, A. V.; MILTÃO, M. S. R. *A Atmosfera Terrestre*:

composição e estrutura. *Caderno de Física da UEFS*, v. 05, n. 01 e 02, p. 21–40, 2007.

FERREIRA, N. S. Zona de Convergência Intertropical. *Revista Climanálise Especial*, p. 136–139, 1996.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma Revisão Geral sobre o Clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 28, n. 2, p. 101–126, 1998.

GREENE, D. R.; CLARK, R. A. Vertically Integrated Liquid Water—A New Analysis Tool. *Monthly Weather Review*, v. 100, n. 7, p. 548–552, 1972.

GUSMÃO, A. M. Alta da Bolívia. *Revista Climanálise*, p. 17–18, 1996.

GUTMAN, G.J. SCHWERDTFEGGER, W. The role of latent and sensible heat for the development of a high pressure system over the subtropical Andes, in Summer. 1965.

INMET, I. N. de M. *Normais Climatológicas do Brasil, 1981- 2010*. [s.l.: s.n.]

IPMET. *IPMET - Instituto de Pesquisa Meteorológica*. Disponível em: <https://www.ipmetradar.com.br/ipmet_html/saibamais/Saiba_Mais_arquivos/SM_Echo_Top.htm>. Acesso em: 25 set. 2021.

LEAL, D. C. et al. Análise De Tempestade Potencialmente Severa Utilizando Dados De Radar Meteorológico. *Revista Geonorte, Edição Especial 2*, v. 1, n. 5, p. 855 – 866, 2012. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/2438>>.

LIBERATO, A. M. DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO EM MANAUS – AM/BRASIL. *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC*, p. 1–5, 2019.

MACHADO, L. A. T. et al. How weather events modify aerosol particle size distributions in the Amazon boundary layer. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 21, n. 23, p. 18065–18086, 2021.

MASSAMBANI, O. *Princípios do Radar*. Disponível em: <<http://www.dca.iag.usp.br/material/omassamb/radar-old/PRINCIPIOS DO RADAR ->

DCA - IAG - 2007.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2019.

MELO, A. B. C. de.; CAVALCANTI, I. F. de A.; SOUZA, P. P. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I. F. DE A. et al. (Ed.). *Tempo e Clima do Brasil*. São Paulo: Oficina do Texto, 2009. p. 26–42.

MOLION, L. C. B. Climatologia Dinâmica da Região Amazônica: Mecanismos de Precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, p. 107–117, 1987.

MOLION, L. C. B. *Amazonia rainfall and its variability*. Internatio ed. [s.l: s.n.]

MONTEIRO, J. C. R. et al. Descrição da Temperatura e Umidade Relativa do Ar em Diferentes Localidades no Bairro do Parque Dez - Manaus/AM. *Biota Amazônia*, v. 4, n. 2, p. 20–27, 2014.

OLIVEIRA, A. P.; FITZJARRALD, D. R. The Amazon river breeze and the local boundary layer: I. Observations. *Boundary-Layer Meteorology*, v. 63, n. 1–2, p. 141–162, 1993.

OLIVEIRA, C. *Identificação e Correção da Banda Brilhante em Dados de Radar Meteorológico*. 2014. Universidade Federal do Paraná, 2014.

OLIVEIRA, G. S. de. *O El Niño e Você - O Fenômeno Climático*. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/lanina/pt>>.

OLIVEIRA, G. S. de; SATYAMURTY, P. O EL Niño DE 1997/98: Evolução e Impactos no Brasil. *Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 1997.

OLIVEIRA, R. N. de. *A Variabilidade da Chuva na Amazônia Central: El Niño e La Niña*. 2019. Universidade Federal do Amazonas, 2019.

PEIXOTO, J. P. A Estrutura da Atmosfera da Terra. *Finisterra*, p. 159–188, 1979.

PEREIRA, E. B. et al. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. 2º edição ed. São José dos Campos: Inpe, 2017.

PORTO, C. Macrocenários da Amazônia 2000 - 2020. *Parcerias Estratégicas*, v. 6, n. 12, 2001. Disponível em: <http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/190/184>.

QUADRO, M. F. L. de; PEZZI, L. P.; ROSA, E. B. O Climanálise e o monitoramento da ZCAS nos últimos 30 anos. *Revista Climanálise*, n. 1992, p. 19–25, 2016.

QUEIROZ, A. C. da S. *Assinaturas de Radar Polarimétrico de Sistemas Precipitantes Atuantes no Leste do Nordeste do Brasil*. 2021. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2021.

QUEIROZ, A. P. *Monitoramento e Previsão Imediata de Tempestades Severas usando dados de Radar*. 2009. Master Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. Disponível em: <<http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/11.17.19.50/doc/publicacao.pdf%5Cnhttp://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/14/14133/tde-24102008-154430/%5Cnhttp://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/14/14133/tde-24102008-154430/en.php%5Cnhttp:>>.

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 42, n. 2, p. 81–91, 1990.

RODRIGUES, H. P. *Zona de Convergência do Atlântico Sul: Um Estudo Observacional e Numérico*. 2012. Universidade Federal de Campinas Grande., 2012.

SAISP - *Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo*. Disponível em: <<https://www.saisp.br/estaticos/sitenovo/produtos.xmlt>>. Acesso em: 25 set. 2021.

SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A. J. Para Entender o Tempo e Clima. In: CAVALCANTI, I. F. DE A. et al. (Ed.). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina do Texto, 2009. p. 15–21.

SOUZA, R. L. F. de. *Variabilidade Interdecadal da Precipitação na Amazonia Ocidental Brasileira*. 2009. Universidade Federal de Alagoas, 2009.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. de O. *Introdução a Climatologia*. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

UVO, C. R. B. *A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua Relação com a Precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro*. 1989. Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE, 1989.

VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e Climatologia*. 2. ed. [s.l: s.n.]

YNOUE, R. Y. et al. *Meteorologia: Noções Básicas*. 1. ed. São Paulo: Oficina do Texto, 2017.