



**Universidade Federal do Pará**



**Faculdade de Meteorologia**



**Instituto de Geociências**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**NATHALIA FARIAS PACHECO**

**DESCRIÇÃO DAS TEMPESTADES OBSERVADA POR MEIO DOS DADOS  
DO RADAR METEOROLÓGICO DE BELÉM-PA, UTILIZANDO A ROTINA  
*TrackGridStat* ATRAVÉS DO SOFTWARE LIVRE: TITAN.**

**N°329**

**BELÉM – PARÁ**

**ABRIL – 2014**

**NATHALIA FARIAS PACHECO**

**DESCRIÇÃO DAS TEMPESTADES OBSERVADA POR MEIO DOS DADOS  
DO RADAR METEOROLÓGICO DE BELÉM-PA, UTILIZANDO A ROTINA  
*TrackGridStat* ATRAVÉS DO SOFTWARE LIVRE TITAN.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Meteorologia do Instituto de  
Geociências da Universidade Federal do Pará –  
UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção  
do grau de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: José de Paulo Rocha da Costa

Belém

2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

P116d Pacheco, Nathalia Farias, 1990-

Descrição das tempestades observada por meio dos dados do radar meteorológico de Belém-PA, utilizando a rotina *TrackGridStat* através do software livre Titan. / Nathalia Farias Pacheco – 2014.

41 f. : il.

Orientador: José de Paulo Rocha da Costa

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Meteorologia, Belém, 2014.

1. Tempestades - Amazônia. 2. TITAN. 3. Radar meteorológico I. Título.

CDD 22.ed.: 551.5509811

---

**NATHALIA FARIAS PACHECO**

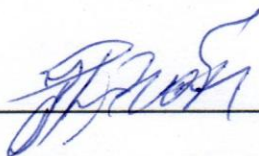
**DESCRIÇÃO DAS TEMPESTADES OBSERVADA POR MEIO DOS DADOS DO  
RADAR METEOROLÓGICO DE BELÉM-PA, UTILIZANDO A ROTINA  
TrackGridStat ATRAVÉS DO SOFTWARE LIVRE TITAN.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Meteorologia do Instituto de  
Geociências da Universidade Federal do Pará –  
UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção  
do grau de Bacharel em Meteorologia.

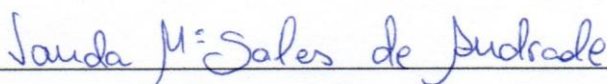
Data de aprovação: 28/06/2016

Conceito: BOM

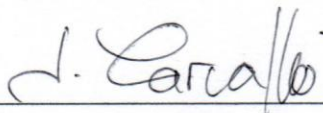
Banca examinadora:



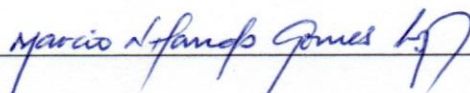
José de Paulo Rocha da Costa – Orientador  
Doutor em Meteorologia Agrícola  
Universidade Federal do Pará



Vanda M. S. de Andrade – Coorientadora - Membro  
Doutora em Agrometeorologia  
Universidade Federal Rural da Amazônia



José Carvalho de Moraes - Membro  
Mestre em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará



Márcio Nirlando Gomes Lopes - Membro  
Mestre em Ciências Ambientais  
Sistema de Proteção da Amazônia - SIPAM

Sei que este trabalho é pequeno demais comparado à grandeza deles, mas somente à eles me permito dedicá-lo:

A Deus acima de Tudo e ao meu querido Mestre José Carvalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus acima de tudo e por tudo que ele tem feito em minha vida.

A minha Mãe Dora e meu Pai Max, pelo seu infinito amor e por dedicarem suas vidas para que eu conquistasse esta vitória.

Ao mestre José Carvalho por sua paciência, ajuda e amizade.

A Doutora Vanda Andrade por ter se disposto de tão boa vontade a ser minha coorientadora, por sua paciência, compreensão, ajuda e dedicação com este trabalho.

Ao professor José Paulo por ter se disposto a ser meu orientador

Ao Mestre Márcio Nirlando pelo incentivo e cooperação com este trabalho

Ao SIPAM pelo apoio e dados

A Nyanne Balman pela disponibilidade em ensinar sobre o TITAN

A Senhora Maria Padilha pelos conselhos e incentivos durante estes anos.

Aos meus amigos pelo companheirismo e apoio em todas as horas e em especial aos que participaram diretamente da minha vida nestes anos de estudo: Ana, David, Luiz, Gabrielle, Kamila, Rodrigo, Haliane, Vanessa, Aquino, Láiza, Albert e Sergio Quintana.

“Se não puder se destacar pelo talento,  
vença pelo esforço!”

Dave Weinbaum

## RESUMO

Belém-Pa, localizada na latitude 01°26' S e Longitude 48°29' W com uma área de 1.070 Km<sup>2</sup>, possui um radar meteorológico operando em modo de vigilância com raio de precisão de 240 km. Este trabalho analisou as características das tempestades que ocorreram na área de abrangência do radar meteorológico de Belém-Pa utilizando os dados do SIPAM dos meses de abril e outubro de 2010. Foi utilizado o software TITAN através da rotina *TrackGridStat* para a extração das informações das células de tempestade, obtendo as características de altura, refletividade (dBz), topo, base, velocidade de deslocamento e horário de ocorrência da chuva. Foi observado uma grande concentração de convecção e disponibilidade de tempestades severas para o mês de outubro, onde também foi encontrado topos máximos chegando a 26 km de altura; No mês de abril foi observado topo máximo de nuvens de até 21 km. Nas análises de refletividade foram encontrados valores máximos de 54 dBz para o mês chuvoso abril e valores de máximo de 65 dBz em outubro mês considerado seco. A magnitude representada na variação da refletividade demonstra o comportamento dos sistemas atuantes na região como: Os sistemas de grande e mesoescala a interação entre os fenômenos como a Zona de Convergência Intertropical, linhas de instabilidade, Vórtice ciclônico de altos níveis (que atua sobre o nordeste), Alta da Bolívia, distúrbios ondulatórios de leste e brisas onde foram os principais responsáveis pela formação de tempestades durante o período chuvoso da região. No entanto, os dois meses apresentaram características diferenciada no seu comportamento na evolução das tempestades. Com os resultados obtidos podemos ter uma “visão” mais ampla das características das tempestades na região amazônica, utilizando a ferramenta radar que irá agregar valor no conhecimento desses padrões de chuva da região para futuros estudos das tempestades na região norte.

Palavras-chave: Tempestades na Amazônia. TITAN. Radar meteorológico.

## ABSTRACT

Belém - Pa located at latitude  $01^{\circ} 26' S$  and longitude  $48^{\circ} 29' W$  with an area of 1,070 km<sup>2</sup> , has a weather radar operating in monitoring mode with radius of 240 km of accuracy . This paper analyzed characteristics of the storms that occurred in the area surrounding the meteorological radar of Bethlehem - Pa SIPAM using the data from the months of April and October 2010. TITAN software was used by TrackGridStat routine for the extraction of information from cells storm , obtaining the characteristics of height, reflectivity ( dBz ) , top, bottom , travel speed and time of occurrence of rain. A large concentration of convection and availability of severe storms for the month of October, which was also found maximum tops reaching 26 km in height was observed ; In April maximum cloud top up to 21 km was observed . In the analysis of reflectivity maxima of 54 dBz for the rainy month of April and maximum values of 65 dBz considered dry month in October found. The magnitude represented the variation of reflectivity demonstrates the behavior of the systems operating in the region as major systems and the interaction between mesoscale phenomena such as the Intertropical Convergence Zone , squall lines , Cyclonic Vortex high levels (which acts on the northeast ) , Bolivian High , wave disturbances and east breezes which were primarily responsible for the formation of storms during the rainy season in the region . However , the two months showed different characteristics in their behavior in the evolution of storms . With the results we have a broader " vision " of the characteristics of the storm in the Amazon region , using radar tool that will add value in understanding these patterns of precipitation in the region for future studies of storms in the northern region .

Keywords: Storms in the Amazon. TITAN. weather radar

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Imagem ilustrativa da disposição de um radar meteorológico.....	18
Figura 02 – Representação da obtenção do produto PPI – <i>Plan Position Indication</i> .....	21
Figura 03 – Representação da obtenção do produto CAPPI ( <i>Constant Altitude Plan Position Indicator</i> ).....	22
Figura 04 – Representação da obtenção do produto RHI- <i>Range height indicator</i> .....	23
Figura 05 – Representação da obtenção do produto <i>Echo base</i> .....	24
Figura 06 – Representação da obtenção do produto <i>Echo top</i> .....	25
Figura 07 – Representação da obtenção do produto MAXDISPLAY (Ou Max CAPPI).....	25
Figura 08 – Mapa ilustrativo do Estado do Pará destacando a cidade de Belém-PA.....	26
Figura 09 – Radar Meteorológico de Belém -PA.....	27
Figura 10 – Dados Precipitação da cidade de Belém – PA (a) e PRP de 2010 (b).....	27
Figura 11 – Organograma para obtenção dos dados das células de tempestade.....	29
Figura 12 – Gráficos da refletividade em (dBz) representando a média e máxima das células de tempestade dos meses de Abril (a,c) e Outubro (b,d) respectivamente.....	34
Figura 13 – Horário de maior frequência de ocorrência das células de tempestade dos meses de Abril (a) e Outubro (b).....	36
Figura 14 – Refletividade (dBz) do mês de Abril de 2010.....	37
Figura 15 – Refletividade (dBz) do mês de Outubro de 2010.....	38

## SUMÁRIO

1.	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
2.	<b>PROBLEMÁTICA DA PESQUISA</b> .....	14
3.	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	15
3.1	<b>Princípio básico de funcionamento do radar</b> .....	18
3.2	<b>Estratégia de varredura do radar</b> .....	20
3.2.1	Varredura em azimute.....	20
3.2.2.	Varredura em elevação.....	21
3.3	<b>Produtos dos diversos arquivos volumétricos</b> .....	21
4.	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	26
4.1	<b>Obtenção dos dados do radar meteorológico</b> .....	28
5.	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	31
5.1	<b>Topo (Echo Top)</b> .....	31
5.2	<b>Base (Echo Base)</b> .....	32
5.3	<b>Refletividade</b> .....	32
5.4	<b>Velocidade de deslocamento</b> .....	34
5.5	<b>Horário de ocorrência da chuva</b> .....	35
5.6	<b>Espacialização da chuva</b> .....	36
6.	<b>CONCLUSÕES</b> .....	39
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	40

# 1 INTRODUÇÃO

A importância do radar meteorológico vem agregar valor no monitoramento do tempo com o aumento significativo de eventos severos que vem ocorrendo no mundo e no Brasil. A ferramenta radar vem se destacando no centros operacionais para a previsão imediata (*Nowcast*). Atualmente o Brasil dispõe de aproximadamente vinte e sete radares operando, segundo o CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) em nota divulgada em 12/2013. Dos vinte e sete radares instalados e que estão operando, onze estão na Amazônia sendo operados pelo SIPAM (Sistema de Proteção da Amazônia).

A região Amazônica é uma área de difícil previsão por ser uma região de altas temperaturas devido sua localização em área tropical, pela alta umidade por conta da floresta e dos inúmeros rios e por contar com diferentes fenômenos durante o ano todo. A área é muito favorável à formação de convecções profundas, geradoras de nuvens de tempestades durante o ano todo; porém, com fenômenos de diferentes escalas atuando durante o período chuvoso (dezembro a maio) e seco (junho a novembro).

Os principais sistemas meteorológicos atuantes na Amazônia que podem causar possíveis condições de tempo severo são: o encontro dos alísios provenientes das altas subtropicais, as penetrações de sistemas frontais, as linhas de instabilidade e as manifestações de tempo de mesoescala que comumente se origina devido ao aquecimento diferencial da superfície terrestre. Segundo Cohen (1989), “os principais sistemas responsáveis por ocorrência de precipitações intensas na Região Norte do Brasil são as linhas de instabilidade e os aglomerados convectivos”.

Além da peculiaridade da região tropical, há atualmente o interesse na compreensão desses fenômenos tornando-se assim importante, uma vez que, a mudança antrópica que a região vem sofrendo nos últimos anos pode acarretar prejuízos na escala regional e até global impactando em mudanças do clima (BRAGA; COHEN, 2008).

O conhecimento da utilização dos produtos oriundos do radar meteorológico são importantes, não só através da previsão imediata, como também no aporte do conhecimento dos padrões da chuva em um determinado raio de abrangência dependendo do tipo de radar meteorológico; O conhecimento destes padrões de precipitação, através do radar, tende a despontar – em uma visão espacializada da ocorrência da chuva sobre uma região – sua intensidade, frequência de ocorrência e estimativa da quantidade de chuva, dentre outros

produtos provenientes dos pacotes e softwares utilizados para analisar os dados do radar meteorológico.

Há inúmeros softwares para trabalhar com os dados de radar meteorológico onde muitos deles é de propriedade privada dos fabricantes e/ ou do desenvolvedor. Entretanto, há softwares livres que vêm sendo bem utilizados pela comunidade científica, é o caso do software TITAN, (*Thunderstorm, Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting*), desenvolvido pelo NCAR (*National Center for Atmospheric Research*), que através dos pacotes do TITAN, poderá extrair vários produtos das células de tempestade, e não somente visualizar sua intensidade, assim como obter as inúmeras informações através dos dados brutos ocorridos de cada célula.

O presente trabalho tem como objetivo analisar os dados do radar meteorológico de Belém-PA (Amazônia oriental) e avaliar o comportamento padrão e a frequência de ocorrências predominantes das células de tempestade, nos meses de abril e outubro (mês chuvoso e seco) respectivamente de 2010.

## 2 PROBLEMÁTICA DA PESQUISA

A cidade de Belém localiza-se próximo a rios, à floresta amazônica e à linha do equador, região onde há o predomínio de altas temperaturas (média anual da máxima em torno de 33°C e mínima de 24°C) e umidade relativa (média acima de 70%) o ano todo. Essa grande quantidade de energia associada aos sistemas atuantes como a ZCIT, ZCAS, VCAN, ENOS, Dipolo do Atlântico, OMJ (Oscilação Madden Julian) e Alta da Bolívia, influenciam a região durante o verão do hemisfério sul e o efeito de brisas e linhas de instabilidade, que atuam durante o ano todo, onde geram grandes quantidades de nuvens de tempestades que resultam em fortes chuvas o ano inteiro. Devido à quantidade de energia e as forçantes externas, as nuvens de tempestade da região evoluem de forma rápida. E devido as ações do home (atividades antrópicas) uso da terra muito comportamento pluviométrico tende a ser modificado.

Foi pensando nestes fatores, que surgiu a ideia de uma avaliação da chuva através da ferramenta radar meteorológico com a utilização de um software livre TITAN que disponibilizar uma gama de informações dos dados das células de tempestades, onde através do estudo e análise, poderá ser caracterizado o padrão da chuva ocorrida na região de abrangência de acurácia do radar, o que proporcionará um estudo mais completo sobre as características da formação das células de tempestades permitindo, desse modo, uma análise da altura, refletividade (dBz), topo, base, velocidade de deslocamento e horário de ocorrência da chuva.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

O Radar teve seu principal desenvolvimento nos anos 40 durante a segunda Guerra Mundial. Na detecção e monitoramento de navios e aviões, foi observado que a chuva obscurecia os alvos. Posteriormente, sua utilização foi adaptada para detectar eventos meteorológicos. Na década seguinte, o radar meteorológico começou a ser utilizado para detectar nuvens Cumulonimbus associadas com linhas de tempestades tornando-se possível determinar os mecanismos responsáveis pela manutenção das mesmas (CHONG et al., 1987)

Após o fim da guerra, os cientistas militares continuaram seus estudos para a utilização desses ecos. Nos EUA David Atlas desenvolveu os primeiros radares meteorológicos funcionais, no Canadá Marshall e Douglas formaram o “*Grupo Stormy Weather*” e estes se tornaram bem conhecidos pelo seu trabalho sobre a distribuição do tamanho da gota, em chuva de média latitude, que levou à compreensão da relação ZR. Que correlaciona a refletividade do radar com a quantidade de água depositada no solo por unidade de tempo.

Entre de 1950 e 1980, os radares de refletividade que medem a posição e a intensidade da precipitação, foram construídas pelos serviços meteorológicos em todo o mundo. Criada em 1870 o *Weather Bureau* dos EUA desenvolveu WSR-1 (*Weather Surveillance Radar-1*), um dos primeiros radares meteorológicos que foi desenvolvido a partir AN/APS-2F um radar adquirido da marinha. Depois deste foram desenvolvidos outros o WSR-1A, WSR-3 e WSR-4 até o WSR-57 que foi o primeiro radar concebido para uma rede nacional de alerta. Utilizando tecnologia militar baseada em tubos de vácuo, as informações de refletividade eram aproximadas e não havia informações de velocidade operando em 2,89 GHz (banda S) com um pico de potência de 500kw e um alcance efetivo de 463km.

A partir da década de 70 os radares começaram a ser padronizados e organizados em redes maiores e em 1974 começou a operar o WSR-74S e o WSR-74C. O WSR-74S era para substituir o WSR-57 e o preenchimento de lacunas na rede nacional enquanto que o WSR-74C era para uso local. A principal diferença dos dois foi indicada pelas letras S (mais adequado para longa distância) e C (adequado para curta distância).

O número de ângulos em elevações capturados foi aumentando para obter uma vista tridimensional da precipitação de modo que seções transversais horizontais (CAPPI) e verticais (VXSECT) pudessem ser executadas.

O *National Severe Storms Laboratory* (NSSL) nos EUA e o *Alba Hair* no Canadá evoluíram em seus estudos se tornou então possível a organização de tempestade.

O princípio de operação do radar Doppler foi descoberto por Christian J. Doppler em 1853. Doppler descobriu que a mudança (alteração) na frequência causada por fontes de som em movimento era diretamente proporcional à velocidade da fonte, ou seja, no radar se o alvo está em movimento em direção à antena a frequência aumenta, porém, se se o alvo está se afastando do radar a frequência diminui. O radar Doppler compara o sinal recebido com a frequência do sinal transmitido e mede a variação da frequência, fornecendo assim a velocidade do alvo.

O NSSL, criado em 1964, começou a experimentação em sinais de polarização dupla e sobre os usos do efeito Doppler. Em maio de 1973, um tornado devastou Union City e Oklahoma e pela primeira vez um radar Doppler com comprimento de onda de 10cm do NSSL documentou o ciclo de vida de um tornado. Os pesquisadores descobriram uma rotação de mesoescala na nuvem no ar antes do tornado tocar a superfície: assinatura do vórtice tornádico. A pesquisa do NSSL ajudou a convencer o serviço nacional de meteorologia de que o radar Doppler era uma ferramenta de previsão crucial.

Entre 1980 e 2000 a rede de radares meteorológicos se transformou em norma nos países desenvolvidos, os radares convencionais foram substituídos por radares Doppler até o final da década de 1990 e início de 2000 a França e outros países europeus passaram a utilizar radares Doppler. Após o ano de 2000 a pesquisa sobre polarização dupla (radiação de microondas polarizada na horizontal e vertical) se mudou para o uso operacional, aumentando a quantidade de informações.

Neste trabalho foram utilizados procedimentos do software TITAN (*Thunderstorm, Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting*). Este software foi desenvolvido pelo NCAR (*National Center for Atmospheric Research*).

O projeto TITAN iniciou em 1982, na África do Sul, com o objetivo de identificar e analisar tempestades para avaliação de atividades de indução artificial de chuvas por semeadura de nuvens.

No início dos anos 90, M. Dixon e G. Wiener (DIXON; WIENER, 1993), pesquisadores do National Center for Atmospheric Research (NCAR), em Boulder - Colorado (Estados Unidos da América) aperfeiçoaram e melhoraram o TITAN como um sistema direcionado para aplicação em previsão imediata do deslocamento de tempestades, baseado na metodologia de centróides.

De acordo com Dixon (2005) e Gomes (2006), nesta metodologia as tempestades são como regiões tridimensionais de refletividades excedendo um determinado limiar e combinando-as de modo lógico, entre duas observações consecutivas de radar. O método usa como base as informações do radar em coordenadas cartesianas.

Com o desenvolvimento de modelos conceituais de tempestades convectivas baseado na estrutura tridimensional, os campos de refletividade obtidos pelos radares meteorológicos se tornaram importantíssimos, uma metodologia para caracterizar e identificar as tempestades severas. Neste método, a refletividade máxima dentro de uma coluna vertical define a classificação para uma célula convectiva. Segundo Visser (2001) Para simplificar, somente três índices são utilizados para definir a severidade da tempestades: fraco (30-44dBZ), moderado (45-50dBZ) ou severo (> 55dBZ) (Tabela 1).

Tabela 1- Classificação da intensidade das células convectivas

Índices de refletividade do RADAR (dBz)	Classificação da intensidade
30 – 44	Fraca (W)
45 – 50	Moderada (M)
>55 dBz	Severa (S)

Fonte: Visser (2001).

### 3.1 Princípio básico de funcionamento do radar

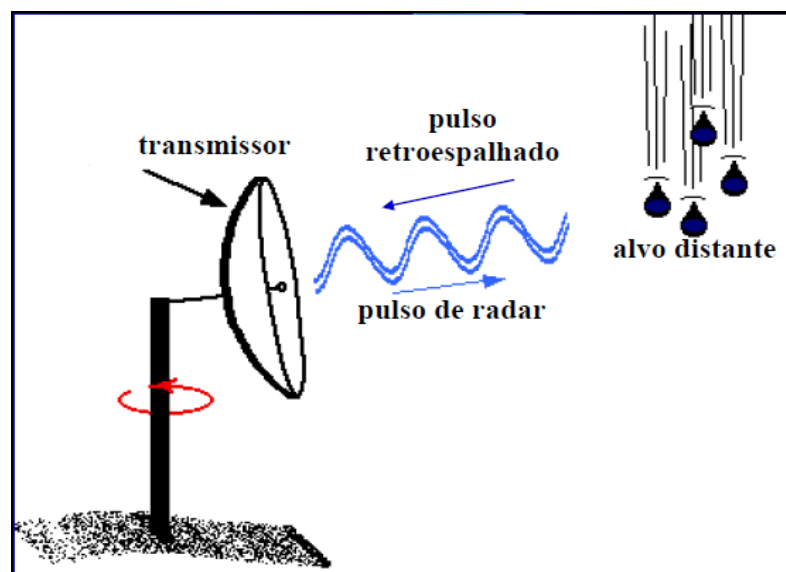
A palavra RADAR teve sua origem a partir do rádio: “*Radio Detection And Raining*”. É um instrumento eletrônico que permite detectar objetos a longas distâncias, cujas composições espalham ou refletem ondas eletromagnéticas.

O funcionamento do radar está baseado no retroespalhamento de ondas eletromagnética por alvos acima da superfície.

Basicamente o Radar Meteorológico é composto por (Figura 1):

- Um transmissor;
- Um receptor;
- Uma antena e
- Um dispositivo visualizador de dados

Figura 01- Imagem ilustrativa da composição de um radar meteorológico



Fonte: Do autor.

**O Transmissor:** O sinal retro-espalhado pelo alvo é influenciado pelas características do pulso incidente, ou seja, pelo comprimento da onda, pela geometria do sistema radar em relação à superfície terrestre, a geometria local, ou seja a geometria do pulso em relação ao alvo.

**O receptor:** O sensor é capaz de determinar as distancias relativas dos objetos da superfície ao longo dessa direção a partir da análise do tempo que o pulso emitido leva para “viajar” até o objeto e retornar ao sensor. O sinal proveniente de um objeto localizado mais próximo ao sensor levará menos tempo para retornar do que um objeto localizado mais distante.

**A Antena:** O sistema RADAR transmite um pulso de microondas numa direção perpendicular ao deslocamento da plataforma. A direção de transmissão do pulso é conhecida como “range” ou alcance. Como mencionando anteriormente, o radar mede a distância e a potência recebida de pulsos emitidos por uma antena. A largura do feixe produzido pela antena determina a resolução espacial na direção Azimutal. Esses pulsos de energia transmitidos pelo radar se caracterizam por ondas eletromagnéticas com comprimentos que variam de 1m a 1mm (ou frequências entre 0,3GHz e 300GHz). As microondas são passíveis de penetrarem nuvens, chuva, fumaça e nevoeiro. Em comprimentos de ondas menores (6cm) chuvas e nuvens espessas podem afetar o sinal de radar.

**O Display:** A imagem de radar é constituída na medida em que a plataforma avança e sucessivos pulsos são transmitidos e recebidos pela antena. As microondas são sensíveis a propriedades distintas daquelas que afetam a radiação na região do visível e infravermelho. As imagens de radar apresentam informações que são qualitativamente e quantitativamente diferentes daquelas registradas em imagens ópticas, sendo portanto, complementares àquelas.

Ao contrário dos sistemas ópticos, os sensores de microondas operam em bandas específicas para as quais foram associadas letras. As bandas mais usadas atualmente estão demonstradas na tabela 2.

Tabela 2- Relação entre Bandas, comprimento (cm) e Frequência (GHz)

Banda	Comprimento de onda (cm)	Frequência (GHz)	Principal aplicação
X	2,4 – 3,8	8,0 – 12,5	Reconhecimento militar, de terreno
C	3,8 – 7,5	4,0 – 8,0	Monitoramento de gelo e aplicações oceanográficas
S	7,5 – 15,0	2,0 – 4,0	Reconhecimento de terreno
L	15,0 – 30,0	1,0 – 2,0	Mapeamento de cobertura vegetal
P	75,0 – 133,0	0,225 – 0,400	Mapeamento de cobertura vegetal

Fonte: RADARSAT (1997).

O radar meteorológico está baseado, portanto no princípio de que ondas eletromagnéticas podem se propagar através da atmosfera. As unidades da refletividade ( $Z$ ), que caracteriza a grandeza do alvo, são milímetros à sexta potência por metro cúbico ( $\text{mm}^6/\text{m}^3$ ), se o comprimento de onda e o diâmetro dos hidrometeoros são expressos em centímetros.

É conveniente expressar esses números, e portanto a refletividade, em decibéis, que é dez vezes o logaritmo na base 10. Portanto, uma refletividade de ( $Z = 10^5 \text{ mm}^6 \cdot \text{m}^{-3}$ ) é o equivalente de 50 dBZ.

### 3.2 Estratégia de varredura do radar

#### 3.2.1 Varredura em azimute

O Ângulo de elevação da antena é fixado e a varredura é realizada a uma velocidade de rotação constante, onde gira até completar a volta de 360°.

### 3.2.2. Varredura em elevação

A antena é apontada para uma direção em relação ao Norte (Azimute) e a varredura é executada na vertical. Exemplo  $-6^\circ$  a  $182^\circ$ .

## 3.3 PRODUTOS DOS DIVERSOS ARQUIVOS VOLUMÉTRICOS

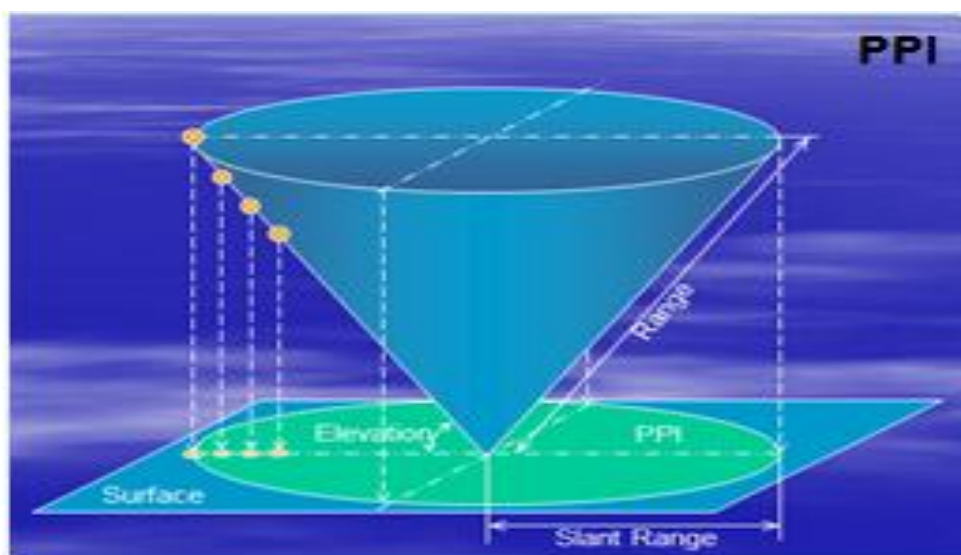
### PPI – PLAN POSITION INDICATOR

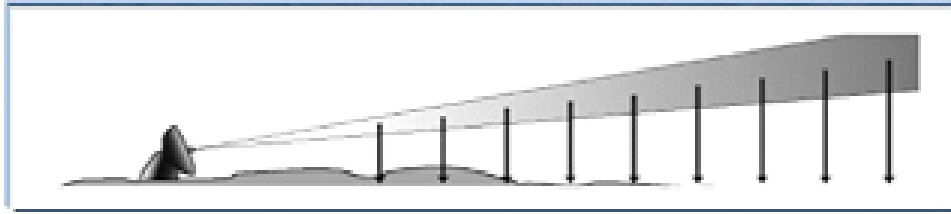
O PPI é o produto de uso mais frequente, por ser o produto mais utilizado para a vigilância meteorológica.

Ele fornece a projeção num plano horizontal dos dados de refletividade, taxa de precipitação, velocidade radial média ou largura espectral, obtido através de uma varredura em azimute em coordenadas polares, para um ângulo de elevação determinado. O PPI pode ser gerado por intermédio de uma varredura em Azimute, com apenas um ângulo de elevação; Ou associando-se o produto a um determinado ângulo de elevação de uma varredura volumétrica.

Geralmente o PPI são coletados à baixa altitude entre ( $0^\circ$  e  $2^\circ$ ), visando alcançar grandes distâncias de forma que o feixe eletromagnético do radar fique próximo da superfície.

Figura 02- Representação da obtenção do produto PPI – *Plan Position Indication*



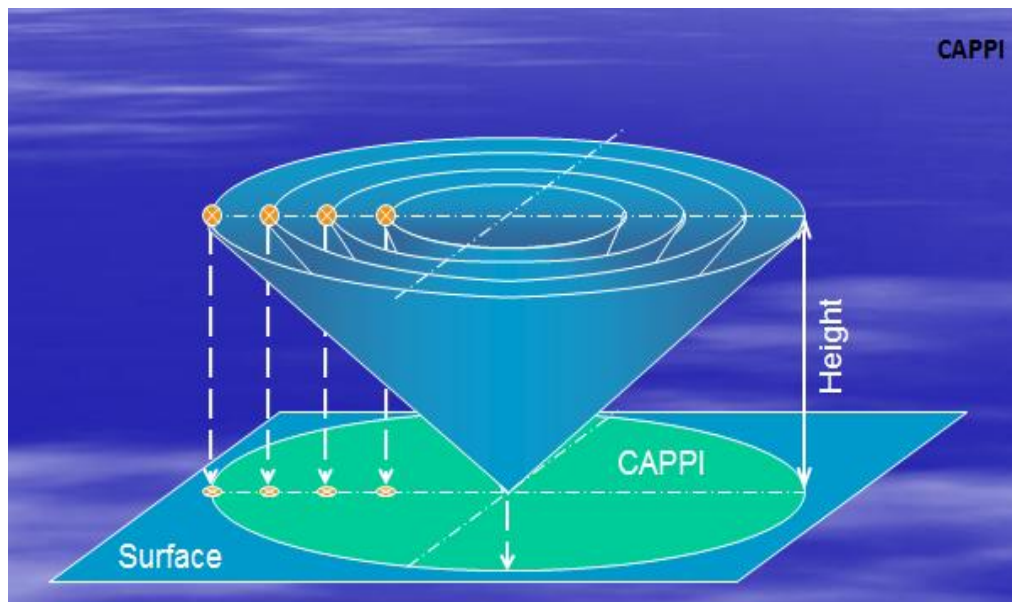


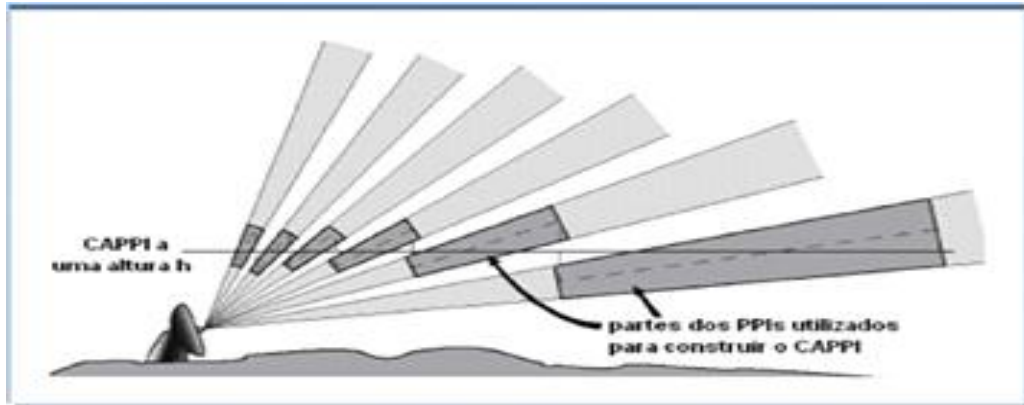
Fonte: Gamic (2013).

### CAPPI – CONTRAST ALTITUDE

É um produto que fornece a projeção em um plano horizontal constante pré-definido, dos dados de refletividade, taxa de precipitação, velocidade radial média ou largura espectral, obtidos através de uma varredura volumétrica. O CAPPI é muito útil para o exame e acompanhamento das condições do tempo onde existe rotas aéreas.

Figura 03. Representação da obtenção do produto CAPPI (*Constant Altitude Plan Position Indicator*).





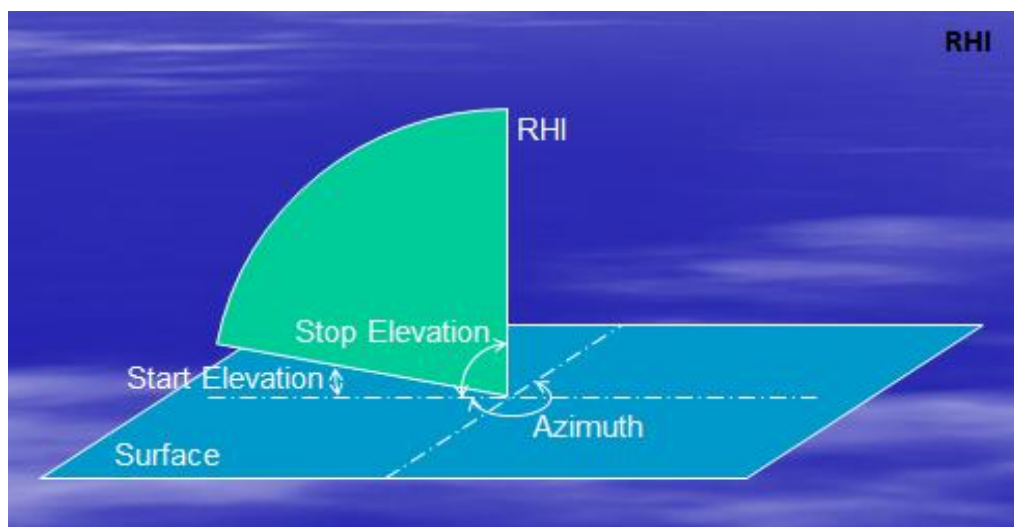
Fonte: Gamic (2013).

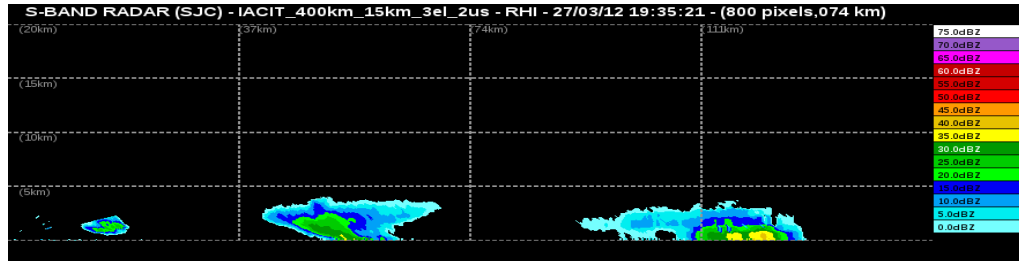
### RHI - RANGE HEIGHT INDICATOR

São obtidos dos ecos recebidos ao longo das radiais do radar, em uma varredura em elevação, em um ângulo de azimute determinado.

RHI é ideal para, no modo análise, examinar formações de grande extensão vertical.

Figura 04. Representação da obtenção do produto RHI- *Range height indicator*.



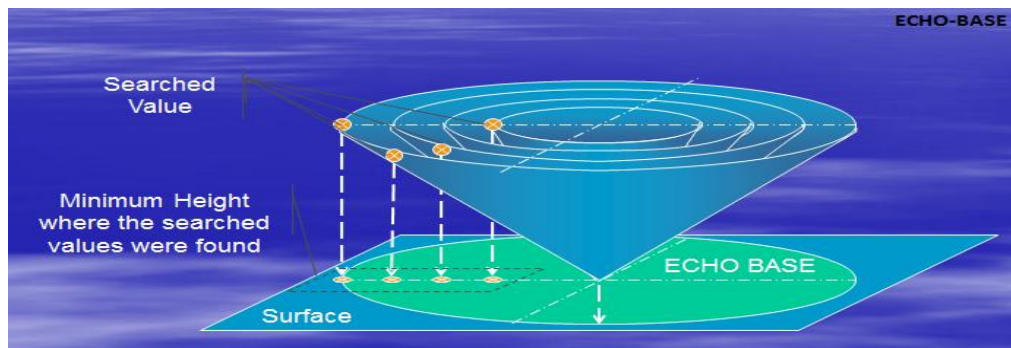


Fonte: Gamic (2013).

### Echo-base (Base da nuvem)

Apresenta, no plano horizontal, das altitudes das ocorrência mais baixas de um valor específico, que é feito de baixo para cima em uma célula volumétrica.

Figura 05. Representação da obtenção do produto *Echo base*.

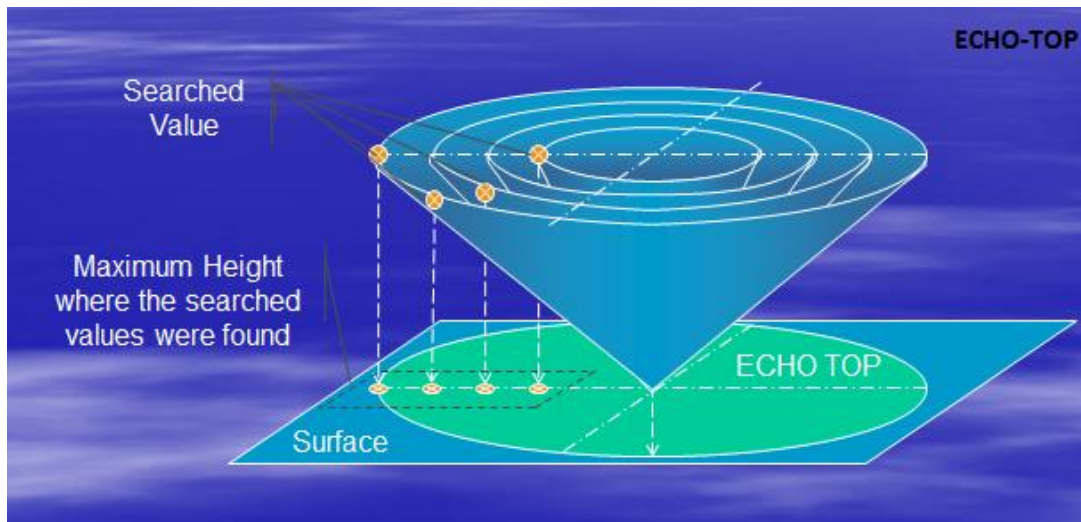


Fonte: Gamic (2013).

### Echo-top (Topo da nuvem)

Apresenta, no plano horizontal, das altitudes das ocorrência mais baixas de um valor específico, que é feito de cima para baixo em uma célula volumétrica.

Figura 06. Representação da obtenção do produto Echo-Top.

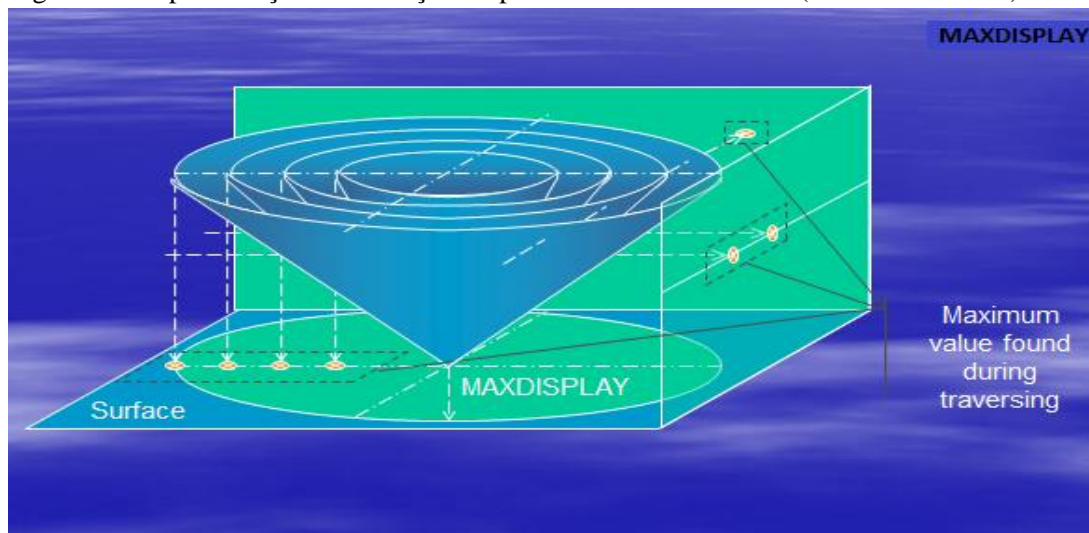


Fonte: Gamic (2013).

### MAXDISPLAY (Ou MAX CAPPI)

O maxdisplay fornece as projeções cartesianas nas direções verticais, norte-sul e leste-oeste, dos valores máximos de refletividade, taxa de precipitação, velocidade radial média ou largura espectral, observados durante uma varredura volumétrica.

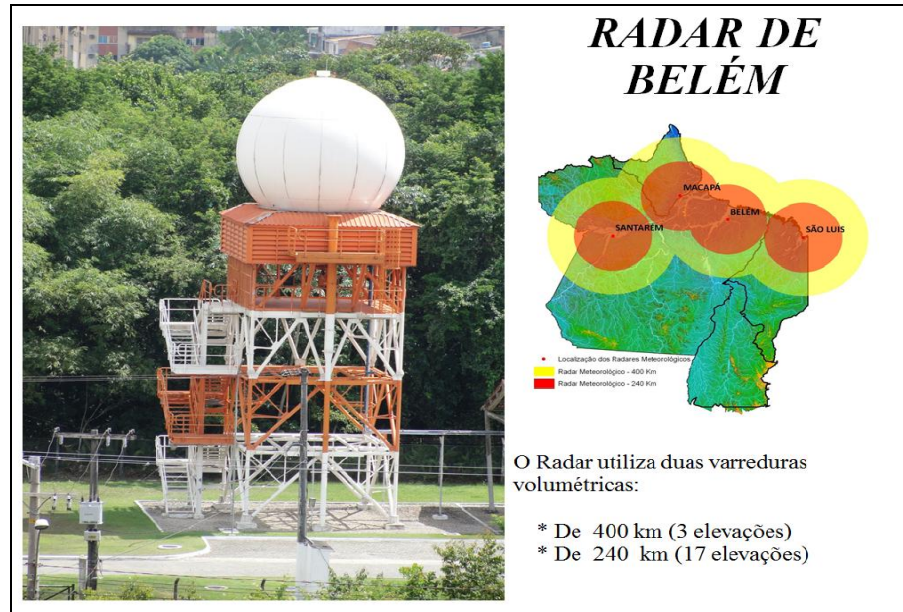
Figura 07. Representação da obtenção do produto MAXDISPLAY (Ou MAX CAPPI).



Fonte: Gamic (2013).



Figura 09 - Radar meteorológico de Belém.

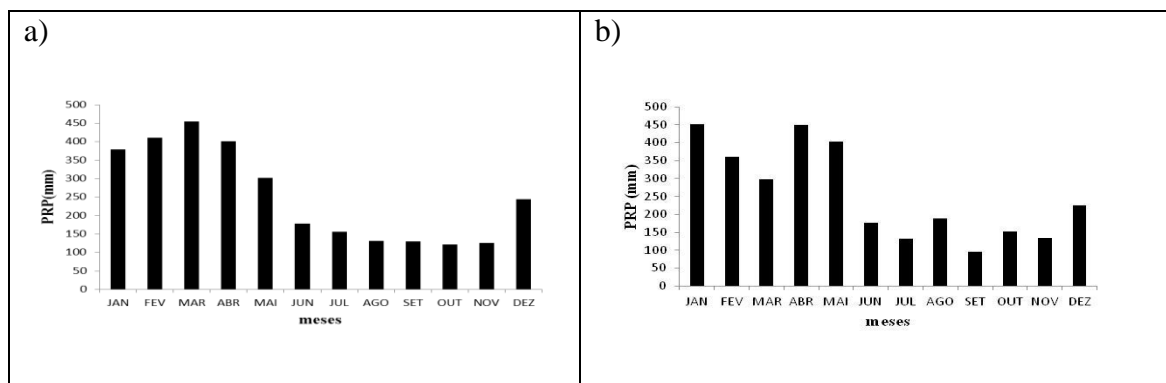


Fonte: SIPAM (2010).

Os dados são do ano de 2010 dos meses de abril (representando o período chuvoso) e outubro (representando o período seco), de acordo com a distribuição de uma série de dados obtidos das estações do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) de 1961- 2013.

Na figura 10, observamos a distribuição da chuva em Belém, onde se pode verificar a distinção entre os períodos (chuvoso e seco) e a intensidade em mm das precipitações ocorrida nos meses escolhidos para as análises que foi o mês de abril com aproximadamente 400 mm e outubro com 120 mm.

Figura 10 – Dados Precipitação da cidade de Belém – PA, Série de dados de 1961-2013 (a) e a Precipitação de 2010 (b).



Fonte: Do autor.

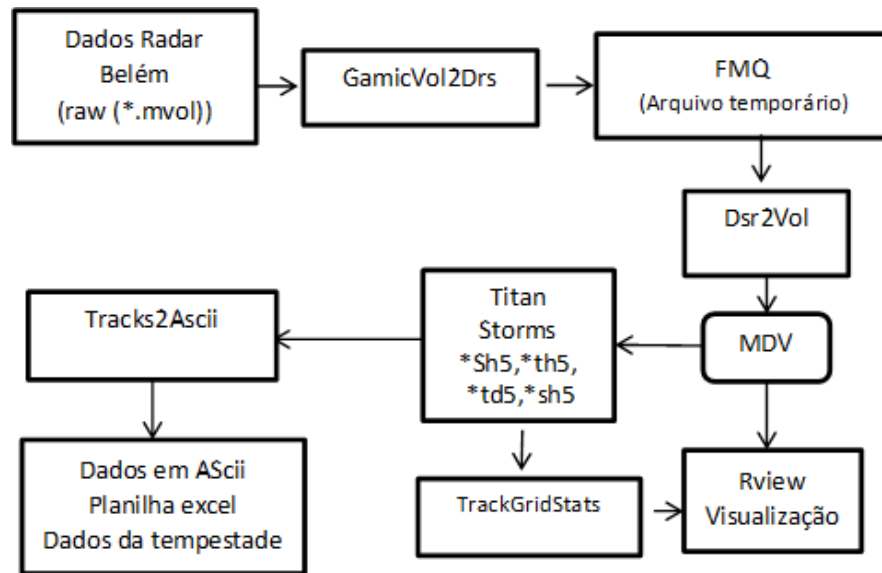
#### 4.1 Obtenção dos dados do radar meteorológico

Após o radar fazer as varreduras de acordo com a “receitas de cada radar e local” os dados brutos MDV (*Meteorological Data Volume*) são lidos no software TITAN. Como finalidade a caracterização das células de chuva usando a metodologia geoestatística do centroide, que define a tempestade como regiões tridimensionais de refletividade excedendo um determinado limiar e combinando-as de modo lógico, entre duas observações consecutivas de radar. O método usa como base as informações do radar em coordenadas cartesianas. Fusões e divisões são identificadas através de lógica geométrica considerando as posições e formas das tempestades, verificando a trajetória das células, identificando e fornecendo uma previsão do seu movimento.

TITAN usa para dados do radar o formato nativo MDV (*Meteorological Data Volume*). Como os dados do radar foram gerados no formato \*. mvol, é necessário a conversão de formato dos dados originais para MDV. O formato MDV é um formato capaz de armazenar dados em grades de até três dimensões. Ele é altamente estruturado e possui habilidade para gerenciar múltiplos campos de dados em um único arquivo. O MDV requer o espaçamento constante de dados nos planos x-y para cada campo. A rotina Titan identifica em cada volume a existência de células atmosféricas, com visível separação e características, em relação ao meio em volta, existentes no campo de refletividade do radar, a partir de um valor limite de 20 a 80 dBz.

Seguindo ainda as rotinas do TITAN que atribui a cada célula, uma identificação numérica, calculando seu volume, área, coordenadas do centroide, altura do topo e da base, taxa de precipitação, e etc. Além da análise da posição de uma mesma célula em volumes subsequente, direção de deslocamento e velocidade que são também obtidas. Os processos para a obtenção dos produtos gerados pelo Titan podem ser gerados e acompanhados através das seguintes rotinas e aplicativos que podem ser visualizados através do organograma (Figura 11).

Figura 11 - Organograma para obtenção dos dados das células de tempestade.



Fonte: Do autor.

Em que a refletividade do radar em quantidade de chuva está baseado no espalhamento Rayleigh que determina as seguintes relações de proporcionalidade:

O Fator de refletividade  $Z_e$  do radar é dado por:

$$Z_e \sim |k|^2 \cdot N(D) \cdot D^6$$

Onde  $k$  é a constante dielétrica complexa,  $N$  é a distribuição das gotas (*DSD-Drop Size Distribution*), e  $D$  é o diâmetro das gotas. A taxa de chuva  $R$ , é expressa por:

$$R \sim N(D) \cdot \pi/6 D^3 \cdot V$$

Onde  $\pi/6 D^3$  é o volume das gotas e  $V$  é a velocidade de queda. Utilizando-se a relação empírica Z-R devida a Marshall@ Palmer (1948) dado pela formula  $Z = 200R^{1.6}$ , que assume uma distribuição exponencial de gotas.

Como  $Z_e$  é expresso em  $\text{mm}^6 \text{m}^{-3}$ , há uma grande amplitude dinâmica, sendo conveniente expressar esses números de refletividade, em decibéis, dBZ, dado por:

$$\text{dBz} = 10 \log(Z_e / 1 \text{mm}^6 \text{m}^{-3})$$

Em continuidade as rotinas, há filtragem de topos baixos, propagação anômala, e *clutter*, utilizadas em processos contínuos de análise, entretanto não serão usadas no presente trabalho em função de sua baixa ocorrência no conjunto de dados e por estarem na sua maioria no cone de silêncio do radar.

A avaliação de confiabilidade dos resultados, utilizados nas rotinas do TITAN o *verify\_tracks* e *verify\_grid*, foi utilizado com a finalidade de minimizar a influência da banda brilhante, que é caracterizado por um aumento dos valores de refletividade oriundo do degelo logo abaixo da linha de zero grau.

O estado de calibração do Radar meteorológico de Belém utilizou sinais de interferência solar, através dos dados do DRAO (*Dominio Radio Astrophysical Observatory*), sobre a intensidade do sinal em comprimento de onda de  $\lambda$  10.7 cm, usados para monitorar o status do radar no período em estudo, que aprestou normalidade, segundo Pereira *e tal.*(2010), que se baseou na mesma metodologia usada por Holleman&Beekhuis(2004) em campanhas na aferição de radares.

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os fenômenos que organizam e promovem a precipitação na região amazônica são divididos da seguinte maneira: convecção diurna resultante do aquecimento da superfície e condições de grande escala favoráveis, linhas de instabilidade originadas na costa norte-nordeste do litoral do Atlântico, aglomerados convectivos de grande e mesoescala, associados com a penetração de sistemas frontais da região sul-sudeste do Brasil que interagem com a região amazônica (Braga e Cohen, 2008). A interação entre esses fenômenos principalmente durante o verão do hemisfério sul são os principais responsáveis pela formação de tempestades durante o período chuvoso da região. Durante o período seco predominam principalmente as características termodinâmicas e os fenômenos que ocorrem durante o ano todo como as brisas e as Linhas de Instabilidade (LI). As linhas tem comumente sua origem nas brisas, mas também podem ter formação associada a passagem da crista dos distúrbios de leste, ondas de gravidade interna devido a topografia (Cohen *et al.*, 1989).

### 5.1 Topo (Echo-top)

Os dados do topo (Echo-top) das células de tempestade do radar de Belém-Pa apresentaram maiores ocorrências durante o mês de abril, sendo que os valores máximos encontrados foram de 19,95 km e 25,45 km para o mês abril e outubro respectivamente. Compreendendo que os fatores da grande escala atmosférica atuam sobre o período chuvoso da região favorecendo o desenvolvimento das tempestades, acredita-se que este seja o motivo para a maioria das tempestades apresentarem topo médio de 8 km. Segundo Held e Escobedo (2010) em seu trabalho utilizando as análise de topo de nuvens para São Paulo, encontraram topos variando entre 11 e 8,4 km para os verões de 1998-1999 e 1999-2000 respectivamente. Topos com grande altura também obtiveram maiores ocorrências durante o mês de abril, porém foi no mês de outubro que os topos obtiveram os máximos valores de toda a análise como podemos observar na tabela 3. A convecção no período seco é mais intensa e não temos a presença da ZCIT que é a principal responsável pela PRP da cidade durante o período chuvoso. Durante o mês de outubro temos a convecção e as brisas (devido à proximidade dos rios na região) ocorrendo durante todo o dia e por algumas eventualidades a presença da

Madden Julian e Distúrbios ondulatórios de leste. A convecção ocorre durante o dia todo precipitando durante a noite e madrugada, no período chuvoso a precipitação ocorre pela parte da manhã e tarde, não necessitando de muita convecção para que ocorra a precipitação.

Tabela 3. Topo das células de tempestades.

MESES	MÉDIA (km)	MÁXIMO (km)
ABRIL	7,6	19,95
OUTUBRO	8,27	25,45

Fonte: Do autor.

## 5.2 Base (Echo-base)

A base média das células de tempestade (Tabela 4) apresentaram maiores valores para o mês de outubro, apresentaram base de 21 km. Já para o mês de abril a bases das nuvens foi de máxima de 13 km, com média nos dois períodos estudados de 3 km.

Tabela 4. Base das células de tempestades

MESES	MÉDIA (km)	MÁXIMO (km)
ABRIL	3,2	12,95
OUTUBRO	3,2	20,95

Fonte: Do autor.

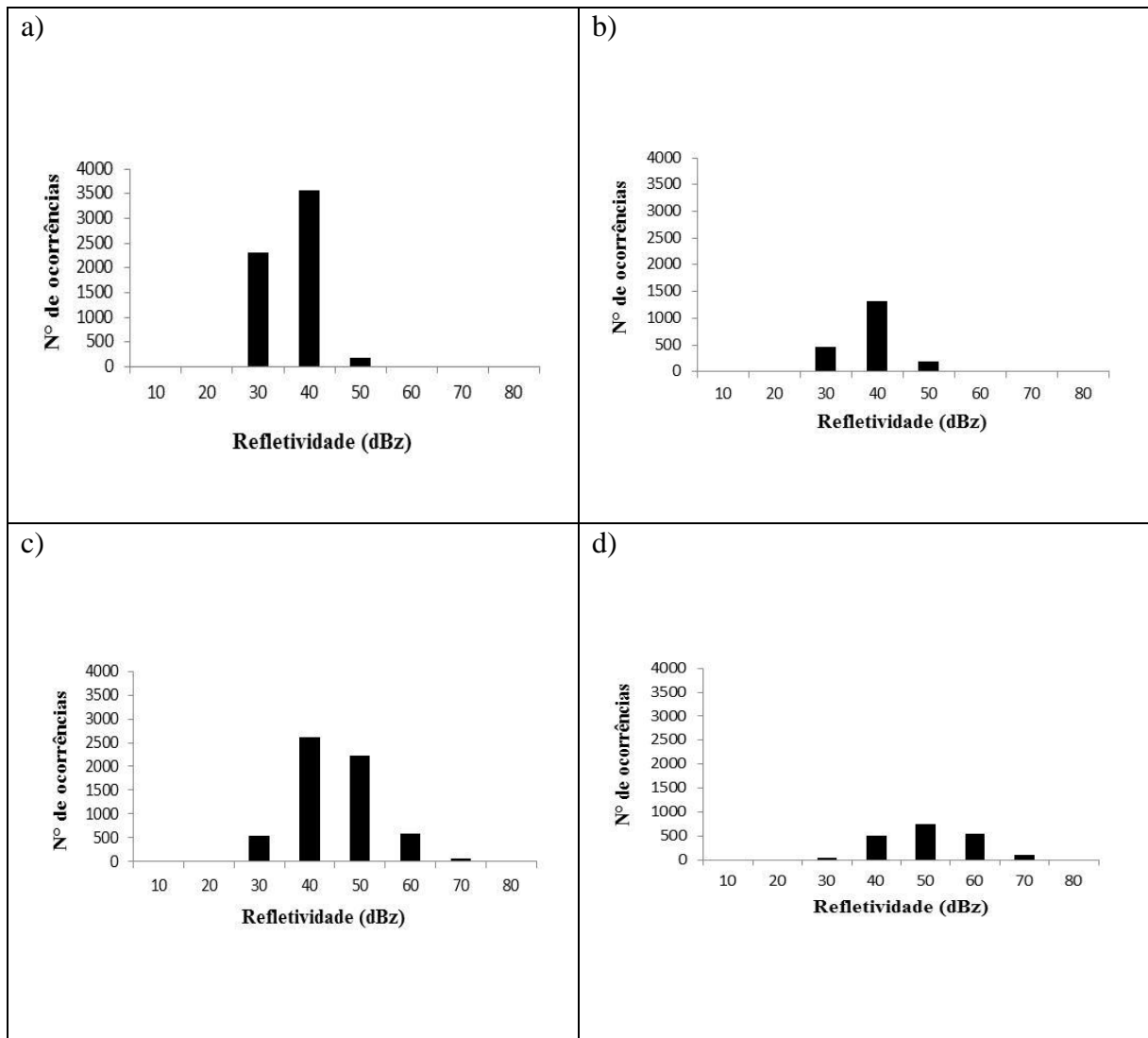
## 5.3 Refletividade (dBz)

Os valores de refletividade indicam a intensidade das tempestades por serem obtidos a partir da quantidade e tamanho dos hidrometeoros presente nas nuvens. Os gráficos de refletividade (dBz) para os meses de abril e outubro (Figura 12) possuem valores de 30 a 44 dBz que indicam segundo Viesser (2010) valores para tempestades fracas, de 45 à 50 dBz que indicam valores de tempestades moderadas e valores maiores que 55 dBz que representam tempestades severas. Segundo Held e Gomes (2010), o volume de chuvas produzido por nuvens convectivas está relacionado, de alguma forma, à extensão em área e ao tempo de vida dessas nuvens. Os volumes estimados pelo radar são obtidos através dos valores de

refletividade transformados em taxas de precipitação usando a relação de Marshall e Palmer (1948),  $Z = a R^b$ , esta relação, trata da distribuição do tamanho da gota, em chuva de média latitude, que correlaciona a refletividade do radar com a quantidade de água depositada no solo por unidade de tempo.

As células de tempestade severa para os valores de refletividade máxima para abril e outubro (Figura 12) obtiveram valores bastante similar entre os dois meses com uma incidência um pouco maior no mês de outubro. Valores de 40 dBz e até 50 dBz foram registrados em ambos os meses onde as características da região como temperatura e umidade são as principais causas da intensa convecção que resulta nas tempestades da região. Held e Escobedo (2010) encontraram uma refletividade máxima dentro da média de 47,7 dBz para o verão de 1998-1999 e 46,9 dBz para o de 1999-2000 em Bauru, a maioria das tempestades registradas em São Paulo com um limiar maior que 30 dBz obtiveram valores menores ou iguais a 48dBz. Já para Belém, o mês que representa o período chuvoso (abril) apresenta o predomínio de valores de tempestades fracas com baixos valores de refletividade por conta das forçantes externas que atuam na região durante este mês. O verão no hemisfério Sul conta com sistemas de grande escala que influenciam diretamente na precipitação local, na região norte o principal sistema precipitante é a ZCIT e as linhas de instabilidade oriundas das brisas marítimas que produzem grandes quantidades de chuva na Amazônia e que são responsáveis por cerca de 45 % da precipitação no nordeste paraense durante o período chuvoso dessa região (Cohen et al., 1989)., a convecção se forma e logo precipita não alcançando grandes valores de refletividade se comparado a outubro em que há o predomínio de tempestades classificadas como moderadas a severas que contam somente com as condições locais como as brisas para a convecção.

Figura 12. Gráficos da refletividade em (dBz) representando a média e máxima das células de tempestade dos meses de Abril (a,c) e Outubro (b,d) respectivamente.



Fonte: Do autor.

#### 5.4 Velocidade de deslocamento das células de tempestade

A velocidade de deslocamento das células de tempestade obtiveram maiores valores para o mês de outubro com mais de 3000 células se deslocando em uma velocidade de 20km/h e com registro de células de até 100 km/h. O deslocamento das tempestades é basicamente dominado por três mecanismos: advecção pelo vento médio, propagação forçada pela presença de zonas externas de convergência em mesoescala e auto propagação, onde o fluxo relativo de ar úmido em níveis inferiores ou gradientes verticais de pressão induzidos

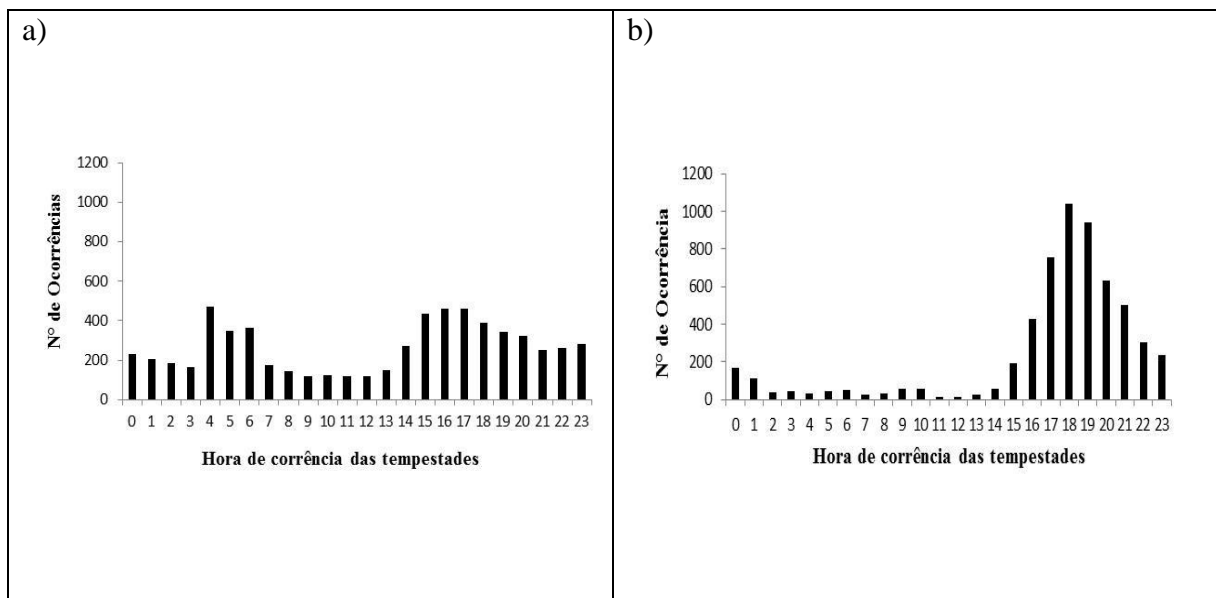
por tempestades, convergência e levantamento causam o desenvolvimento de novas células em direções preferenciais. Durante o mês de Abril as linhas de instabilidade (LI) representam 45% das chuvas no nordeste paraense (Cohen et al., 1989). Os elementos que compõem as linhas de estabilidade são do tipo “torres quente”, contendo fluxos ascendentes que, por empuxo, retiram ar úmido da camada limite para a alta troposfera, porém também existem dois 2 gêneros de fluxos descendentes: o de rajada convectiva, que ocorre numa pequena faixa de 10 a 20 km na região intensa de precipitação na linha de instabilidade propriamente dita ocasionando a frente de rajada: enquanto que a outra é mais suave, mas de mesoescala, ocorrendo numa faixa de 100 a 500 km na região abaixo da bigorna (Braga e Cohen, 2008). Em 85% das tempestades observadas por Held e Escobedo (2010) para o radar de Bauru – SP, a velocidade de deslocamento dos sistemas precipitantes, definidos pelo limiar de 30dBz, é menor ou igual a 35Km/h. Para os gráficos abaixo observou-se o predomínio das células na direção sudoeste no mês de abril com velocidade em torno de 20km/h para tempestades fracas. Já para o mês de outubro há um predomínio das tempestades moderadas e severas com direção predominante de norte com velocidade de 20km/h e com registros de 120 células de tempestades se deslocando a 100km/h

### **5.5 Horário de ocorrência da chuva**

A causa das tempestades na região amazônica pode ser um complexo sistema de interação de escalas que vai desde características ambientes, até a circulação de mesoescala e na escala de nuvem (Braga e Cohen, 2008). A camada limite é a parte da troposfera que é diretamente influenciada pela presença da superfície da Terra e responde as forçantes superficiais com uma escala de tempo de uma hora ou menos. A Camada Limite Atmosférica (CLA) é definida como a porção mais baixa da troposfera, da superfície da terra, estando em contato com a superfície, a CLA sofre o efeito do ciclo diário de energia (Malheiros, 2008). Observamos a variação da camada limite através da convecção e horário da precipitação. As chuvas que ocorrem no período da tarde são na maioria das vezes resultados do aquecimento que ocorre pela manhã e as chuvas da noite e madrugada são efeitos da convecção formada durante a tarde. No caso de Belém, que possui aquíferos nas proximidades, altas temperaturas e umidade e possui forçantes externas que agem em períodos bem definidos, esses efeitos são intensificados. Os horários de maiores ocorrências de tempestades no mês de abril (Figura 13)

foram às 14UTC (17h local) até às 20UTC (23h local) e de 4UTC (7h local) às 6UTC (9h local) e para o mês de outubro os horários seguem de 15UTC (18h local) à 1UTC (4h local). O mês de abril por contar com a grande escala interferindo no sistema local precipita de forma mais rápida sem precisar acumular muita energia, no mês de outubro por contar só com os efeitos locais a convecção ocorre durante todo o dia só precipitando durante a noite.

Figura 13 – Horário de maior frequência de ocorrência das células de tempestade dos meses de Abril (a) e Outubro (b).

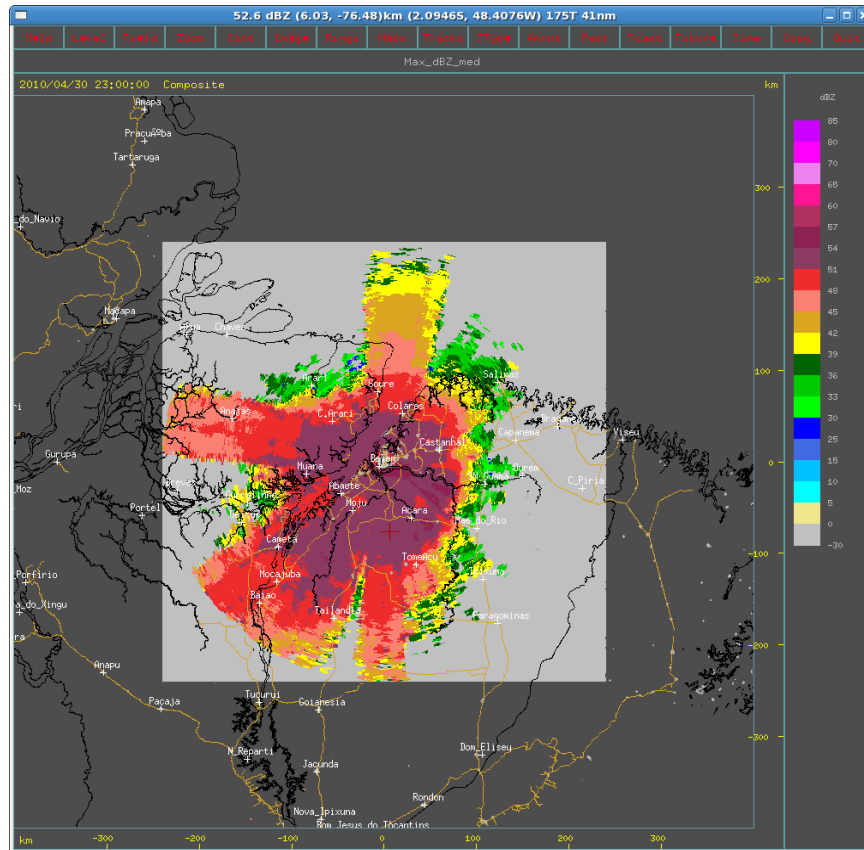


Fonte: Do autor.

## 5.6. Espacialização da chuva

Nas figuras a seguir verificamos a distribuição espacial da refletividade (dBz) e a extensão das tempestades. Para o mês de abril (Figura 14) observamos a área com maior incidência de tempestades na direção Sul-sudoeste, as regiões de Cameté e Moju foram uma das áreas com maior incidência de tempestades severas. Acredita-se que há maior variação dos valores de refletividade por conta dos sistemas que atuam na região durante o verão no hemisfério sul, dentre os quais, os principais estão: ZCIT, brisas e linhas de instabilidade e convecção local devido aos números de rios na região.

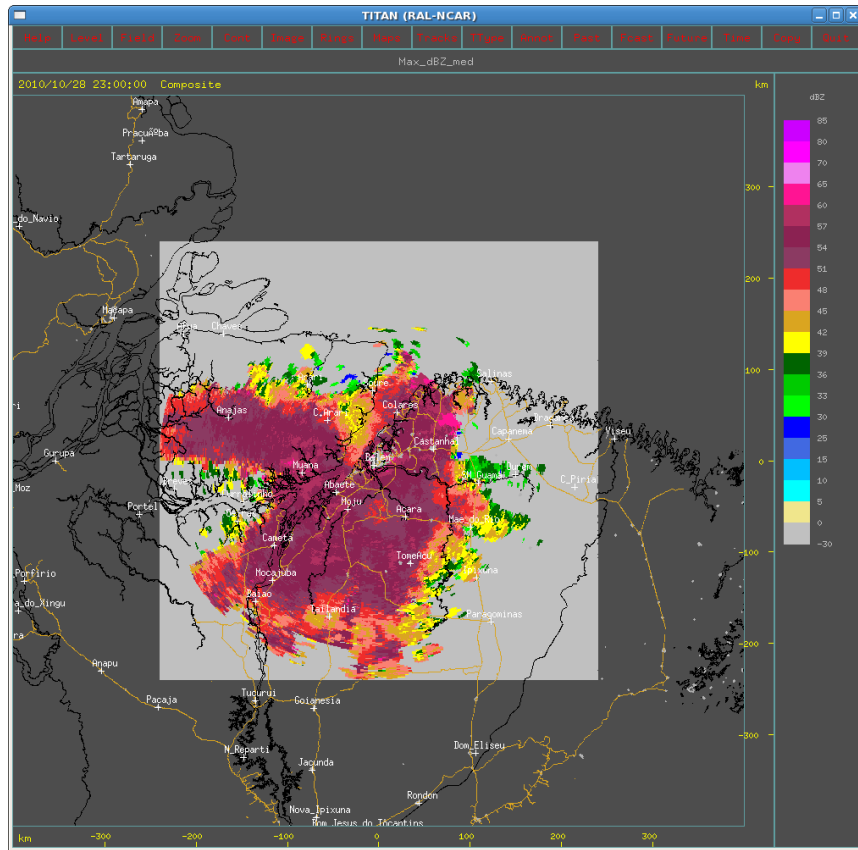
Figura 14 – Refletividade (dBz) do mês de abril de 2010.



Fonte: SIPAM (2010).

Observa-se que para o mês de outubro (Figura 15) há uma menor distribuição espacial se comparada a abril (Figura 14), porém, com incidências de valores altos de dBz sobre as tempestades da região de forma mais homogênea. A área conta com a alta umidade e convecção nesse período assim como os sistemas de brisas para a formação de precipitação já que não temos a presença do principal sistema precipitante da região que é a ZCIT, assim temos uma formação de nuvens de maneira mais homogênea o que explica a distribuição de refletividade na imagem. Logo, a convecção se dá durante todo o dia só precipitando durante a noite e madrugada.

Figura 15 – Refletividade (dBz) do mês de outubro de 2010.



Fonte: SIPAM (2010).

## 6 CONCLUSÕES

Através das análises dos resultados dos dados do radar meteorológico observou-se que as forçantes de grande escala como a ZCIT e as de mesoescala como as brisas e linhas de instabilidade são as principais responsáveis pelas características das tempestades da região no período chuvoso. Durante o período seco as próprias condições do ambiente e as brisas são as principais responsáveis pelas tempestades.

Nestas condições, percebemos que o maior número de tempestades severas ocorre quando há um grande acúmulo de energia na atmosfera. Se durante o mês de abril não há grande acúmulo de energia por conta das forçantes externas que “facilitam” a precipitação, durante o mês de outubro a precipitação só ocorre por conta da convecção local e pelo efeito das brisas, assim, os topos máximos e as refletividades máximas são maiores e as tempestades mais severas.

Os resultados deste estudo indicam também que as tempestades observadas pelo radar meteorológico de Belém-Pa durante o período chuvoso (abril) são compostas principalmente de células com topo máximo de 21 km de altura. Para o período seco (outubro) as células também apresentam maiores frequências de topos máximos que chegaram a atingir aproximadamente 26 km de altura.

Os valores de refletividade (dBz) média nos dois meses ficam entre 30 e 50 dBz com maior frequência para as células de 40 dBz. Já para os valores de refletividade máxima a predominância ainda é de 40 dBz para o mês de abril com ocorrências de 54 dBz, já para o mês de outubro embora com menores registros de células de tempestades há predominância de células com 50 dBz e ocorrências de até 65 dBz.

Foi observado também a frequência de ocorrência dos horários da chuva para a região, onde há uma predominância de chuva no mês de abril (chuvoso) no início da manhã e a partir das 14 h. No mês de outubro (seco) a predominância na ocorrência da chuva para os horários da tarde e noite.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, V.M S; SIMOES, B.N; SARAIVA, J.B. Análise de um evento severo “tromba-d’água” sobre o rio da Amazônia-Pará-Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. **A Amazônia e o clima global: anais...** Belém: SBMET, 2010. 1 CD-ROM
- BRAGA, R.H.M.; COHEN, J.C.P. Estudo temodinâmico de casos de linhas de instabilidade no leste da Amazônia caso: linhas de instabilidade marítima. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008, São Paulo. **A Meteorologia e a cidade.** São Paulo: SBMET, 2008. 1 CD-ROM.
- COHEN, J.C.P; GANDU, A.W; CHIBA, C.Y.B; BRAGA, R.H.M. Linhas de instabilidade formadas ao longo da costa atlântica e no interior do continente: estudo de casos com modelo de alta resolução. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008, São Paulo. **A Meteorologia e a cidade.** São Paulo: SBMET, 2008. 1 CD-ROM.
- COHEN, J.C.P.; DIAS, M.A.S.; NOBRE, C.A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. **Climanalise, Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, São José dos Campos, n.4, p.34-40, 1989.
- CHONG, M. et al. Tropical squall line observed during the COPT 81 experiment in West Africa. Part I: Kinematic structure inferred from dual-Doppler radar data. **Monthly Weather Review**, v.115, n.3, p.670- 694, mar. 1987.
- DIXON, M.; WEINER, G. Titan: thunderstorm identification tracking analysis and Now cast – a radar based methodology. **J Atmos Ocean Tech**, n.10, p. 785-797, 1993.
- GOMES, A. M. ; HELD, G. Identificação, rastreamento e previsão de tempestades severas parte i: evento de granizo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis – SC. **Anais...** Florianópolis - SC : SBMET, 2006.
- HELD, A. N. G. ; ESCOBEDO, J. F. Climatologia de tempestades na área central do estado de São Paulo usando radar meteorológico. **Rev. Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n.1, p.1-20. 2010.
- HOLLEMAN, I.; BEEKHUIS; H. Weather Radar Monitoring using the Sun. Technical Report, KNMI TR-272, De Bilt, Netherlands, 2004>. Disponível em: <[http://www.knmi.nl/publications/fulltexts/tr\\_suncalibration.pdf](http://www.knmi.nl/publications/fulltexts/tr_suncalibration.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2013.
- MALHEIROS, A. L.; DIAS, N. L. **Determinação prática da altura da camada-limite atmosférica para aplicação em modelos de dispersão de poluentes.** Disponível em: <[www.cbmet2008/anais/artigos](http://www.cbmet2008/anais/artigos)>. Acesso em: 12 fev. 2014.
- PEREIRA, C.S., LOPES, M.N.; SIMÕES NETO, B. **Metodologia para monitoração do estado de calibração do radar meteorológico de Belém.** Disponível em: <<http://www.cbmet2010/anais/artigos>>. Acesso em: 04 maio 2014.

Refletividade (dBz) do mês de abril de 2010: imagem de radar. Belém: Sistema de Proteção da Amazônia, 2010. 1 fotografia aérea. Escala 1: 100.

Refletividade (dBz) do mês de outubro de 2010: imagem de radar. Belém: Sistema de Proteção da Amazônia, 2010. 1 fotografia aérea. Escala 1: 100.

VISSER, P. The Storm-Structure-Severity method for the identification of convective storm characteristics with conventional weather radar. **Meteorological Applications**, v. 8, n. 1, p. 1-10, dez. 2006. Disponível em: <  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1017/S1350482701001013/pdf>>. Acesso em: 06 maio 2014.