



**Universidade Federal do Pará**



**Faculdade de Meteorologia**



**Instituto de Geociências**

## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**GABRIELLE MATOS BOUÇÃO**

# **CALIBRAÇÃO DA EQUAÇÃO DO RADAR PARA ESTIMAR A PRECIPITAÇÃO EM BELÉM – PA**

**Nº328**

**BELÉM – PARÁ**

**ABRIL – 2014**

**GABRIELLE MATOS BOUÇÃO**

**CALIBRAÇÃO DA EQUAÇÃO DO RADAR PARA ESTIMAR A PRECIPITAÇÃO  
EM BELÉM – PA**

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: Prof. MSc. José Danilo da Costa Souza Filho.

Belém

2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

---

- B752c Boução, Gabrielle Matos  
Calibração da equação do radar para estimar a precipitação em Belém  
– PA / Gabrielle Matos Boução – 2014  
22 f. : il  
Orientador: José Danilo da Costa Souza Filho  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em meteorologia) –  
Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade  
Federal do Pará, Belém, 2014.
1. Precipitação (Meteorologia) - Estimativas - Belém (Pa). 2.  
Meteorologia por radar. 3. Precipitação convectiva. I. Título.  
CDD 22. ed.: 551.577098115
-

**GABRIELLE MATOS BOUÇÃO**

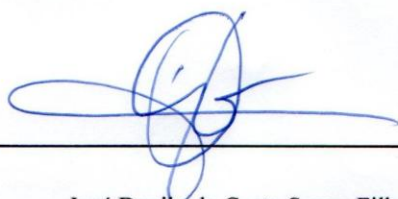
**CALIBRAÇÃO DA EQUAÇÃO DO RADAR PARA ESTIMAR A PRECIPITAÇÃO  
EM BELÉM – PA**

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: 24/09/2014

Conceito: BOM

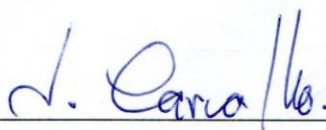
Banca examinadora:



José Danilo da Costa Souza Filho – Orientador

Mestre em Agronomia

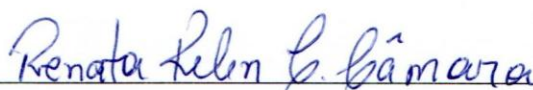
Universidade Federal do Pará



José Carvalho de Moraes

Mestre em Meteorologia

Universidade Federal do Pará



Renata Kelen Cardoso Câmara

Mestre em Ciências Ambientais

Universidade Federal do Pará

A minha formação como profissional não poderia ter sido concretizada sem a ajuda de meus amáveis e eternos pais Luiz Miguel e Elma, que, no decorrer da minha vida, proporcionaram-me, além de extenso carinho e amor, os conhecimentos da integridade, da perseverança e de procurar sempre em Deus à força maior para o meu desenvolvimento como ser humano. Por essa razão, gostaria de dedicar e reconhecer a vocês, minha imensa gratidão e sempre amor.

A Deus dedico o meu agradecimento maior, porque têm sido tudo em minha vida.

Dedico a meu querido maninho Fabricio, que permaneceu sempre a meu lado, nos bons e maus momentos; ao meu querido noivo Marcos Rogerio Pereira de Almeida, ajudou-me, durante todo o percurso de minha vida acadêmica, compreendendo-me e ensinando-me para que eu conquistasse um lugar ao sol; às minhas maravilhosas avós Hilda e Tarcila, que sempre me deram atenção, carinho e preciosos conselhos, a meus familiares que sempre me incentivaram e acreditaram em meu potencial, aos meus amigos que entenderam meu afastamento para a realização desse sonho, e a todos aqueles que direta ou indiretamente, contribuíram para esta imensa felicidade que estou sentindo nesse momento.

A todos vocês, meu muito obrigado.

## **AGRADECIMENTOS**

### **A Deus**

Pela dádiva da vida, e por ter ajudado a manter a fé nos momentos mais difíceis.

### **Aos meus Pais**

Que foram e são verdadeiros amigos, companheiros e confidentes, que hoje sorriem orgulhosos ou choram emocionados, que muitas vezes, na tentativa de acertar, cometeram falhas, mas que inúmeras vezes foram vitoriosos, que se doaram inteiros e renunciaram aos seus sonhos, para que, muitas vezes, eu pudesse realizar o meu sonho. A vocês que compartilharam o meu ideal e os alimentaram, incentivando a prosseguir na jornada, mostrando que o nosso caminho deveria ser seguido sem medo, fossem quais fossem os obstáculos. Minha eterna gratidão vai além de meus sentimentos, pois a vocês foi cumprido o dom divino. O dom de ser Pai, o dom de ser Mãe.

### **Ao professor, Jose Carvalho de Moraes.**

Que dedicou seu tempo e compartilhou sua experiência para que minha formação fosse também um aprendizado de vida, meu carinho e meu agradecimento. Os seus olhares críticos e construtivos me ajudaram a superar os desafios desta monografia, serei eternamente grata.

### **Ao Marcio Nirlando Gomes Lopes e ao SIPAM.**

Que me deram oportunidade de fazer parte dessa Instituição (SIPAM), no qual pude aprender não só na questão profissional, mas também na vida. Meu supervisor que foi um verdadeiro mestre, obrigada pela paciência e dedicação.

**Aos meus queridos amigos Nathalia, Laiza, Verena, Jéssica, Nayanne, Professor Danilo, Professor Paulo Souza, Jaci Saraiva, Nilzele, Rodrigo, David, Aquino, Vanessa, Terezinha, Renon, Robson e aos demais.**

Que compartilharam todos os momentos que passei, que me incentivaram, deram apoio e força quando as dificuldades quiseram me vencer. Que mais fizeram parte de minha vida do que qualquer outra.

### **Ao diretor da faculdade**

Pela dedicação e paciência para com nossa turma.

## **A todos**

Que ouviram os meus desabaços; que presenciaram e respeitaram o meu silêncio; que compartilharam este longo passar de anos, de páginas, de livros e cadernos; que tantas vezes machucamos; que fez meu mundo um mundo melhor; que me acompanharam, choraram, riram, sentiram, participaram, aconselharam, dividiram; as suas companhias, os seus sorrisos, as suas palavras e mesmo as ausências foram expressões de amor profundo. As alegrias de hoje também são suas, pois seus amores, estímulos e carinhos foram armas para essa minha vitória.

Á todos vocês, o nosso muito obrigado.

“Não há como começar para  
ver como é árduo concluir”

Victor Hugo

## RESUMO

A precipitação pluviométrica é um dos parâmetros meteorológicos mais importantes nas regiões tropicais, uma vez que possui grande variação espacial, temporal e sazonal o que afeta muitas atividades humanas tais como: nos transportes, na economia, na cultura, no lazer, na geração de energia etc. Seu monitoramento pode ser feito através de pluviômetros ou pluviógrafos, satélites meteorológicos e radares meteorológicos. Ultimamente o uso de radares meteorológicos tem se tornado muito comum uma vez que faz a estimativa de precipitação sobre uma área e em tempo real, apesar de possuir algumas restrições por ser um método indireto baseado na interação entre a radiação eletromagnética no canal de microondas com as gotas de nuvens em função das características da gota com: Distribuição; Tamanho; Forma e estado físico. O objetivo deste trabalho é ajustar a equação da estimativa de precipitação do radar,  $Z = aR^b$ , com as características meteorológicas regionais, principalmente com as características da precipitação, que no caso é predominantemente convectiva, utilizando o método das tentativas e variando os coeficientes **a** e **b** em busca da melhor correlação. Depois, fazer várias correlações entre a precipitação medidas por pluviômetros, na área de abrangência do radar, e as estimadas por radar, concluímos que para nossa região, área metropolitana de Belém e arredores (Breves, Cametá, Tracuateua e Soure) a relação Z-R que melhor correlacionou as observações foi  $Z=10.R^{1,6}$  com coeficiente de correlação  $c=0,95$ .

**Palavras-Chave:** Estimativa de precipitação. Meteorologia por radar. Precipitação convectiva.

## ABSTRACT

Rainfall is one of the most essential weather parameters in tropical regions, since it has great spatial, temporal and seasonal variation which affects many human activities such as: In transportation, the economy, culture, at leisure, in power generation etc. Your monitoring can be done by rain gauges or rain gauge, weather satellites and weather radar. Lately the use of weather radar has become very common since it makes the estimation of rainfall over an area, real-time, although some restrictions have to be an indirect method based on the interaction between the electromagnetic radiations in the microwave channel with cloud droplets depending on the characteristics of gout with: Distribution, Size, shape and physical condition. The objective of this work is to set the equation of radar rainfall estimation,  $Z = aR^b$ , with regional meteorological characteristics, especially with the rainfall characteristics, which in this case is predominantly convective, using the method of trial and varying the coefficients and b in search for the best correlation. After making several correlations between rainfall measured by rain gauges in the area covered by the radar , and the estimated radar , we conclude that for our region, metropolitan area of Belém area (Breves, Cameta , Tracuateua and Soure) Z-R relationship that best the observation was correlated  $Z = 10.R^{1.6}$  with a correlation coefficient  $c = 0,95$ .

**Key words:** Estimation of precipitation. Radar meteorology. Convective precipitation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Satélite Meteorológico Satélite Geoestacionário Operacional Ambiental – GOES 12 (NOAA).....	02
Figura 02 – Pluviômetro da Estação Meteorológica do IAG – USP.....	03
Figura 03 – Visualização da precipitação pelo radar.....	05
Figura 04 – Rede de radares meteorológicos do Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM.....	08
Figura 05 – Imagem da localização da Cidade de Belém – PA no mapa destacando que é uma cidade tropical.....	12
Figura 06 – Área de cobertura do Radar meteorológico do SIPAM de Belém.....	15
Figura 07 – A – Radar Meteorológico do SIPAM. B – Imagem da Precipitação de 25 de Fevereiro de 2012.....	16
Figura 08 – Relação das equações para cada tipo de precipitação com 5 estações.....	18
Figura 09 – Variação de R e Z em função do coeficiente linear <b>a</b> para valores de 100 a 600.....	19
Figura 10 – Variação de R e Z em função do coeficiente exponencial <b>b</b> para valores de 1 a 2.....	20
Figura 11 – Relação entre Pluviômetro e Radar, com correlação em torno de 0,95.....	21

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Classificação dos radares meteorológicos por Banda e Função.....	04
Tabela 02 – Banco de Dados do dia 25 de fevereiro de 2012.....	13
Tabela 03 – Características do SBBE.....	13
Tabela 04 – Localização, Latitude e Longitude dos pluviômetros na cidade de Belém.....	15
Tabela 05 – Expressões típicas para tipos de precipitação.....	17
Tabela 06 – Relação das equações para cada tipo de precipitação com cinco estações.....	18

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

Comp. – Comprimento

Freq. – Frequência

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

SIPAM – Sistema de Proteção da Amazônia

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
<b>1.1. OBJETIVO.....</b>	<b>09</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....</b>	<b>10</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>16</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>22</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Nas regiões tropicais o parâmetro meteorológico mais importante é a precipitação, pois é o que apresenta maior variação em termos de mudanças sazonais. A precipitação adquire uma importância fundamental no ciclo hidrológico da Amazônia, em função da quantidade de energia solar recebida na área e a evaporação que ocorre nessa situação. Por isso, a precipitação é vital, na manutenção do equilíbrio do meio ambiente.

Em Belém, grande parte das precipitações se concentra no final da tarde e início de noite, acompanhadas de vento forte e de forma inclinada, segundo Nechet (1993) a mais comum é a Precipitação Convectiva, que é aquela causada pelo aquecimento diferencial da superfície, onde a parte mais aquecida ocorre o movimento vertical ascendente e a menos aquecida movimento vertical descendente, o que caracteriza a célula convectiva, a precipitação convectiva possui as seguintes características: Intensidade forte a moderada, abrangendo pequenas áreas, curta duração, isoietas concêntricas, e às vezes acompanhadas de ventos fortes e trovões. Precipitações típicas de regiões tropicais são associadas com nuvens do tipo cúmulos e cumulonimbus.

Convém mencionar que a chuva é um dos parâmetros meteorológicos de difícil medição, devido ocorrer sobre uma área, e ter grande variabilidade tanto espacial como temporal. Pode ser medida e avaliada através de três métodos:

- Através de Satélites meteorológicos que são plataformas que giram em órbita da Terra e que produzem imagens em vários canais espectrais, visível, infravermelho e microondas, que possibilitam identificar nuvens e sistemas atmosféricos que causam precipitação. Este método possui as vantagens de realizar uma estimativa sobre grande área de difícil acesso e a desvantagem de realizar uma medida indireta baseada nas características radiométricas da nuvem e observar apenas a parte superior da atmosfera na presença de nuvens altas.

O satélite cobre uma vasta região, porém tem baixa resolução espacial. Fornece informações sobre cobertura de nuvens e eventualmente precipitação de ordem convectiva. Tem imageamento do topo das nuvens, porém não fornece informações sobre o interior das nuvens e muito menos abaixo dela.

Figura 01 – Satélite Meteorológico Satélite Geoestacionário Operacional Ambiental – GOES 12(NOAA).



Fonte: IIP Digital de Estado dos EUA (2013).

- Através dos Pluviômetros (pluviógrafos), que são aparelhos destinados a medir pontualmente a precipitação, são constituídos de receptáculo de precipitação e provetas graduadas, nas quais são lidas as alturas de precipitação. Os pluviógrafos, além de medir a precipitação também registram no tempo a intensidade de precipitação. Onde sua unidade de medida é milímetro (mm), que corresponde à altura da lamina d'água acumulada na superfície, o que é válido à relação um milímetro equivale ao volume de um litro por metro quadrado de superfície (TUCCI, 2001), onde a medida de precipitação consiste em medir a altura da lâmina d'água acumulada no solo, numa superfície plana horizontal, após uma precipitação.

As principais vantagens da utilização dos pluviômetros para medirem precipitação é que eles conseguem medir diretamente a precipitação; possuem fácil manuseio, pois ele é constituído apenas de um receptáculo e uma proveta graduada em milímetro; e também possui baixo custo operacional, uma vez que está disponível no comércio especializado e qualquer pessoa pode construir facilmente um pluviômetro.

Figura 02 – Pluviômetro da Estação Meteorológica do IAG-USP.



Fonte: Blog Meteorópole (2013).

Entretanto, os pluviômetros também possuem desvantagens, como por exemplo, os pluviômetros fazem medidas pontuais, uma vez que a precipitação ocorre sobre uma área, eles também precisam ser operados manualmente e ocorrem erros inerentes ao funcionamento como a velocidade do vento, a inclinação da chuva e distribuição não uniforme dos aparelhos.

- O Radar teve seu principal desenvolvimento durante a segunda grande guerra mundial, nos anos 40, para indicar e monitorar aviões de guerra. Sob esse aspecto a chuva obscurecia os alvos e era necessário mitigar ou distinguir os sinais dos alvos meteorológicos. Em meteorologia, a caracterização e o monitoramento de tempestades, estimativa quantitativa de precipitação é o uso primário nos radares meteorológicos, sendo que diversos setores da meteorologia operacional depende de radares convencionais em diversas bandas de operação conforme o objetivo, segundo a tabela 01.

Tabela 01 – Classificação dos radares meteorológicos por Banda e Função.

RADAR METEOROLÓGICO					
Banda	Freq:(f)	(GHz)	Comp ( $\lambda$ )	(cm)	Função
<b>L</b>	0,39	1,55	76,9	19,3	<b>Precipitação Forte</b>
<b>S</b>	1,55	5,2	19,3	5,77	<b>Precipitação</b>
<b>C</b>	3,9	6,2	7,69	4,83	<b>Nuvens Convectivas</b>
<b>X</b>	5,2	10,9	5,77	2,75	<b>Precipitação Moderada</b>
<b>K</b>	10,9	36	2,75	0,83	<b>Precipitação e nuvens</b>
<b>Q</b>	36	46	0,83	0,65	<b>Precipitação e nuvens</b>
<b>V</b>	46	56	0,65	0,53	<b>Nuvens</b>

Fonte: Notas de aula de Hidrometeorologia. Modificado pela autora (2013).

O Radar Meteorológico consiste em fazer uma estimativa de precipitação sobre uma área baseado no tamanho e distribuição das gotas dentro da nuvem. Seu princípio de funcionamento consiste em enviar um pacote de ondas eletromagnéticas na direção das nuvens, que ao encontrar um alvo, as ondas, refletem de volta sendo captada pela antena do radar, o alvo pode ser avião, gotas de nuvem, gotas de precipitação, etc. e receber um sinal de volta ( $Z$ ), que por sua vez é função do tamanho e distribuição das gotas de nuvens, e em função da potência da intensidade deste sinal de volta ( $Z$ ) é feita a estimativa da precipitação através da equação:

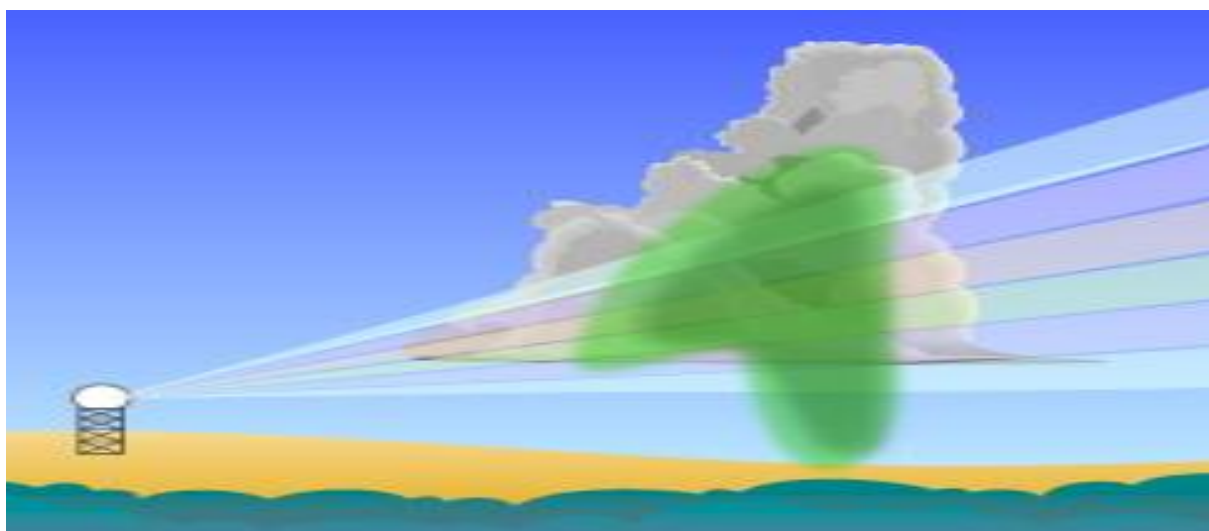
$$Z = a R^b$$

Onde  $a$  e  $b$  são constantes que dependem do fenômeno a ser medido.

$Z$  é o fator refletividade da nuvem que depende das características das gotas da nuvem.

$R$  é a intensidade de precipitação em mm/h.

Figura 03 – Visualização da precipitação pelo radar.



Fonte: Curso de Meteorologia por satélite aplicado à Hidrologia INPE/CPTEC/DSA (2013).

É importante ressaltar que tanto as medições de precipitação com a rede de pluviômetros, quanto às estimativas de chuva com o radar meteorológico possuem erros. As fontes de erro de medição de chuva com o radar meteorológico estão associadas à distribuição não uniforme de gotas dentro da nuvem, (em tamanho e quantidade) à calibração eletrônica do equipamento, (erro instrumental) à equação de transformação da refletividade efetiva em taxa de precipitação (ou relação Z-R, dbz x ppt), ao efeito da curvatura da Terra, (erro na localização da chuva) à zona de derretimento de cristais de gelo na nuvem, entre outras (BATTAN, 1959). Da mesma forma, as medidas de chuva por pluviógrafos não possuem representatividade espacial. (uma vez que a precipitação ocorre sobre uma área e o pluviógrafo mede-a num ponto).

As principais vantagens dos radares meteorológicos para estimar precipitação é que eles fazem estimativa sobre uma área, e áreas de difícil acesso:

- A área de abrangência de um radar meteorológico é a área de um círculo de aproximadamente 200 km de raio, para processamento.
- Os radares são operados automaticamente – O radar funciona automaticamente e registra os eventos de precipitação sem que precise de operador.
- A estimativa é feita em tempo real – Em cada varredura da antena do radar é feita uma estimativa de precipitação, de maneira que em qualquer momento tem-se a taxa de precipitação na área de abrangência do radar.

No entanto suas desvantagens são que um radar estima a precipitação em função da distribuição, tamanho, forma, e estado físico das gotas.

- A aquisição e operação de um radar meteorológico são de alto custo operacional.

- Abrange, relativamente, pequenas áreas – A área de abrangência para processamento de imagem de um radar é em torno da área de um círculo de raio de 200 km, mas para visualização pode chegar a um círculo de 300 km.

- Uma limitação extremamente importante prende-se com o fato de o radar meteorológico possuir um determinado alcance, o qual, podendo variar não indo além dos 200 km. À distâncias superiores, as precipitações tornam-se indetectáveis ou a sua medição processa-se com uma larga margem de erro, devendo referir-se ainda que, segundo o North Weather Radar Project (1985, apud DELRIEU et. al., 1988), o limite da utilização quantitativa das imagens radar foi estimado por um raio de 75 km.

- Outro aspecto desta técnica de teledetecção que pode colocar algumas restrições à sua utilização reside na resolução das imagens. Embora para muitas aplicações, a resolução espacial e a cadência de recepção das imagens de radar sejam francamente satisfatórias, normalmente, um eco pontual numa imagem de radar corresponde a uma célula de várias centenas de metros de lado e de altura, por vezes, alguns milhares. Algumas aplicações, esta resolução e a frequência de recepção das imagens poderão ser insuficientes, nomeadamente no domínio da Hidrologia Urbana, e quando a sua utilização tem em vista a gestão, em tempo real, das águas pluviais nas redes de saneamento (ANDRIEU; JACQUET, 1987).

- Entre as várias limitações inerentes às imagens de radar meteorológico, a margem de erro que estas possam conter é, possivelmente, o que mais preocupa os seus utilizadores. De fato, os erros que afetam a medição das precipitações pelo radar meteorológico podem ser muito importantes, chegando a desaconselhar-se, em alguns casos, uma utilização quantitativa das intensidades estimadas. Apesar dos progressos recentes realizados no domínio da correção destes erros, torna-se indispensável, ao utilizador das imagens, disporem de um registro sincrônico das precipitações observadas ao nível do solo, a partir de uma rede udógrafos densa (que fornece, ainda que pontualmente, uma maior precisão na medição direta da chuva, enquanto o radar permite a detecção da repartição espacial das precipitações e uma medição indireta da sua intensidade). As principais fontes de erros na estimação da intensidade da chuva pelo radar meteorológico prendem-se com os seguintes aspectos (SAUVAGEOT, 1982).

- A intercepção do feixe do radar por obstáculos (relevo, construções) pode determinar a medição de refletividades sem qualquer relação com as precipitações. São os chamados ecos

de solo que, por serem quase constantes e visíveis nas imagens com tempo seco, são de fácil identificação. Por outro lado, as zonas de chuva que são ocultadas por esses obstáculos não recebem senão uma parte do feixe do radar, pelo que a medição da refletividade é subestimada (efeito de ocultação);

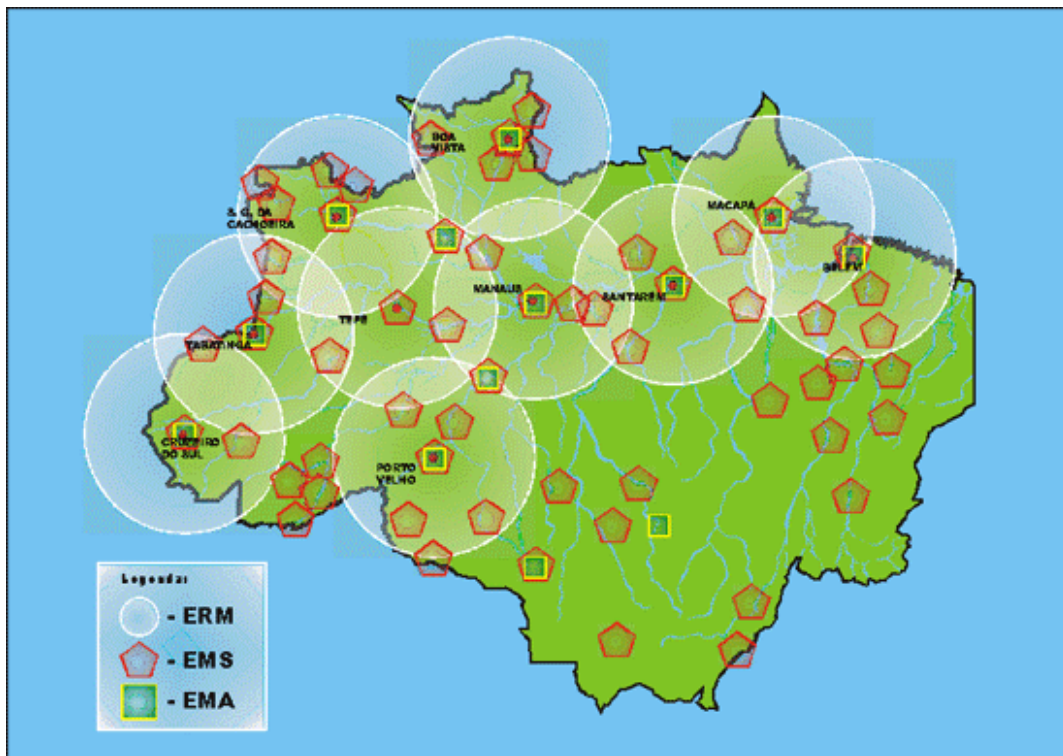
- Com o afastamento ao radar, o feixe vai-se atenuando, decrescendo o grau de rigor na estimação das intensidades. Os erros relacionados com o fenómeno de atenuação tendem a ser importantes, sobretudo nas zonas de forte intensidade de precipitação. A atenuação depende, essencialmente, do comprimento de onda da energia emitida, sendo praticamente negligenciável para radares de comprimento de onda de 5 a 10 cm, mas, pelo contrário, muito importante para um radar de 3 cm de comprimento de onda;
- Determinados erros poderão ocorrer quando o feixe do radar atinge um nível em que temperatura é de 0°C, à qual estão associados às mudanças de estado físicos gelo/água. Quando se atinge essa temperatura, as partículas de gelo modificam-se e, numa primeira fase, ficam cobertas por uma fina película de água, o que faz aumentar o seu diâmetro. Elas retornam as suas dimensões normais apenas após a passagem completa ao estado líquido. Esta mudança de estado gelo-água traduz-se nas imagens de radar por um pico de refletividade (banda brilhante), desde que as ondas incidentes atinjam a isotérmica de 0°C;
- As relações Z/R (entre refletividade radar e intensidade da precipitação) são válidas para hipóteses muito restritas quanto à homogeneidade do alvo do radar. A distribuição granulométrica das precipitações pode variar no espaço e no tempo no decurso do mesmo episódio chuvoso.
- Por todas estas razões, a interpretação quantitativa das imagens de radar constitui uma tarefa muito delicada, exigindo a realização de procedimentos de correção que permitam não só atenuar os erros atrás enunciados, mas também ultrapassar o problema dos fenómenos de advecção (depende do perfil vertical do vento, que provoca um deslocamento horizontal das gotículas em queda, condicionando também a sua evaporação parcial) que afetam a medição da intensidade da chuva. Esta complexidade leva a que muitos utilizadores das imagens de radar adaptem uma abordagem com um carácter mais qualitativo, na qual as intensidades reveladas no ecrã são interpretadas, essencialmente, em termos de ordens de grandeza.

Assim, o radar meteorológico fornece informações tridimensionais dos sistemas precipitantes como, por exemplo, a intensidade da precipitação, o volume, a composição da nuvem e vento, com grande resolução espacial e temporal. Portanto, o objetivo da rede

nacional de radares meteorológicos é fornecer informações instantâneas da precipitação sobre todo o território brasileiro.

A rede de radares meteorológicos do Brasil compreende um total de 31 radares, sendo que alguns estão em processo de instalação, a figura abaixo mostra a rede de radar do SIPAM em operação (correspondendo aos círculos brancos).

Figura 04 – Rede de radares meteorológicos do Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM.



Fonte: SIPAM (2013).

Para tanto, deve-se integrar os radares já existentes, além de uma atualização dos sistemas/componentes, e instalar novos radares para cobrir os espaços sem informações.

A correlação de ambos os métodos de Estimativa de Precipitação pode avaliar Qualitativamente e Quantitativamente tanto o Radar Meteorológico quanto os Pluviômetros, podendo provar assim a possível calibração entre os métodos melhorando a ferramenta para o Sistema de aquisição de dados, que será importante para previsão do tempo em curto prazo (Nowcasting), ou seja, para alerta de cheias e inundações urbanas.

## 1.1. OBJETIVO

Ajustar a equação tradicional do radar para as características regionais, através da correlação das estimativas de precipitação do radar meteorológico do SIPAM/BELEM com as medidas de precipitação obtidas nos pluviômetros localizados em sua área de abrangência, Belém, Breves, Cametá, Soure e Tracuateua, no sentido de melhor adaptar, calibrar a equação estimativa do radar para as características regionais, considerando as medidas dos pluviômetros como verdade terrestre.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A precipitação pluviométrica anual varia intensamente de um local para o outro (MOLION et al., 1987). Estudos observacionais mostram que a Amazônia Brasileira apresenta uma grande variabilidade de precipitação no tempo e espaço que está associada à influência de diferentes sistemas atmosféricos de meso-escala, macro escala e escala sinótica que interagem entre si (VITORINO, 2002). A precipitação abundante ocorre na estação chuvosa (úmida) de dezembro a maio e a menos chuvosa de junho a novembro (FIGUEROA; NOBRE, 1990).

Segundo Molion (1987), o clima de uma região é determinado por fatores, denominados controles climáticos, que atuam tanto na escala global como na regional. Os mais importantes são a circulação geral da atmosfera (CGA), a topografia local, a natureza da cobertura vegetal, o ciclo hidrológico e a influência de correntes oceânicas se a região for costeira. Nos trópicos, o parâmetro climatológico mais importante é a precipitação. As causas físicas de sua variabilidade interanual na Amazônia ainda não são bem conhecidas, mas certamente estão ligadas às flutuações de macroescala, principalmente as da intensidade da circulação de Hadley - Walker. Estas flutuações, por sua vez, estão relacionadas com a intensidade e a variabilidade, tanto espacial como temporal, das fontes de calor latente nas regiões equatoriais (MOLION, 1987).

Segundo Mota (1996), a cidade de Belém (PA), por situar-se na zona equatorial, há ocorrência de grande quantidade de precipitação em contraste com outras cidades da região, mas esta situação muitas vezes é alterada por influência de sistemas de meso e grande escala que penetram na região, como frente frias, ZCIT, etc., que agem acelerando os sistemas locais ou enfraquecendo-os. Essa característica faz com que o conteúdo de vapor d'água presente na atmosfera sofra variações acentuadas, que são devidos, principalmente, a atividades convectivas característica da região. Estas variações fazem com que surja o conceito de duas estações, que são: “seca” (junho a novembro) e “chuvosa” (dezembro a maio).

Paz (2009) identificou os parâmetros da equação de radar de tempo para um evento de precipitação a partir da formulação de um problema inverso, onde sugere que a informação do Radar meteorológico é usada para detectar a presença de chuva e para estimar sua intensidade a partir do eco recebido. Os distintos modelos e formas de apresentação auxiliam os meteorologistas a identificar situações de tempo particulares devido à capacidade de

estimação da intensidade de precipitação sobre extensas áreas. O Radar desempenha, assim, um importante papel no monitoramento das situações de tempo que podem resultar em sérias conseqüências resultantes de precipitações severas. O radar tem habilidade para relâmpagos a uma distância de 100 km e indicar a possibilidade de tempestade severa a 250 km ou mais, limitado, principalmente pela curvatura. Vários valores empíricos para os coeficientes  $a$  e  $b$ , da relação Z-R, isto é, a medida do radar e os valores de taxa de precipitação têm sido propostos. O radar do IPMet (Instituto de Pesquisas Meteorológicas) usa os valores determinados por Marshal-Palmer (1948),  $a = 200$  ,  $b = 1,6$  , para chuva estratiforme.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A região de estudo por estar próximo ao Oceano Atlântico possui um clima bem distinto caracterizado por ser quente e úmido dividido em dois períodos bem definidos, o período seco que vai de junho a novembro e um período chuvoso que vai de dezembro a maio, porém com registro de chuvas na região durante todo o ano.

Figura 05 – Imagem da localização (latitude e longitude) da Cidade de Belém – PA no mapa destacando que é uma cidade tropical.



Fonte: Da autora (2013).

Foram utilizados dados de precipitação do acumulado de 24 horas medido as 12 UTC das estações pluviométricas convencionais do INMET localizadas na cidade de Belém, Soure, Cametá, Tracuateua, e Breves. Utilizaram-se dados de precipitação do radar meteorológico do Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM/BELÉM cujas características técnicas estão na tabela 03, no qual através de planilhas eletrônicas – EXCEL, o radar foi pontualizado e espacializado para compararmos os pluviômetros com o radar, como mostra a tabela 02.

Tabela 02 – Banco de Dados do dia 25 de fevereiro de 2012.

Cidade	Radar	Pluviômetro
Belém	4,7	30,1
Breves	0	23,1
Cametá	11,7	78,3
Soure	1	31,5
Tracuateua	0	17,6
Correlação		0,95

Fonte: Da autora (2013).

Através da equação da precipitação estratiforme (a mais utilizada) foi possível calcular o valor de Z (dbz), através da própria equação, sendo:

$$Z = 200 * R^{1,6} \quad 1.0$$

O radar do SIPAM em Belém, SBBE (DWSR-8500S), é um radar de banda S, com os seguintes parâmetros operacionais:

Tabela 03 – Características do SBBE.

Frequência	2,75 GHz
Comprimento de onda ( $\lambda$ )	10,9 cm
Largura do feixe	0,95°
Potência	830 kW
Antena parabólica	4,2 m
Ganho	39dB
Polarização	Horizontal
Sensibilidade do receptor	-114 dBm
Resolução	125 m
Alcance Intensidade	480 km
Velocidade	240 km
PRF intensidade	250 Hz
Velocidade	623 Hz
Largura do pulso	1 $\mu$ - 2 $\mu$
Rotação da antena	0,1 – 36 graus/s

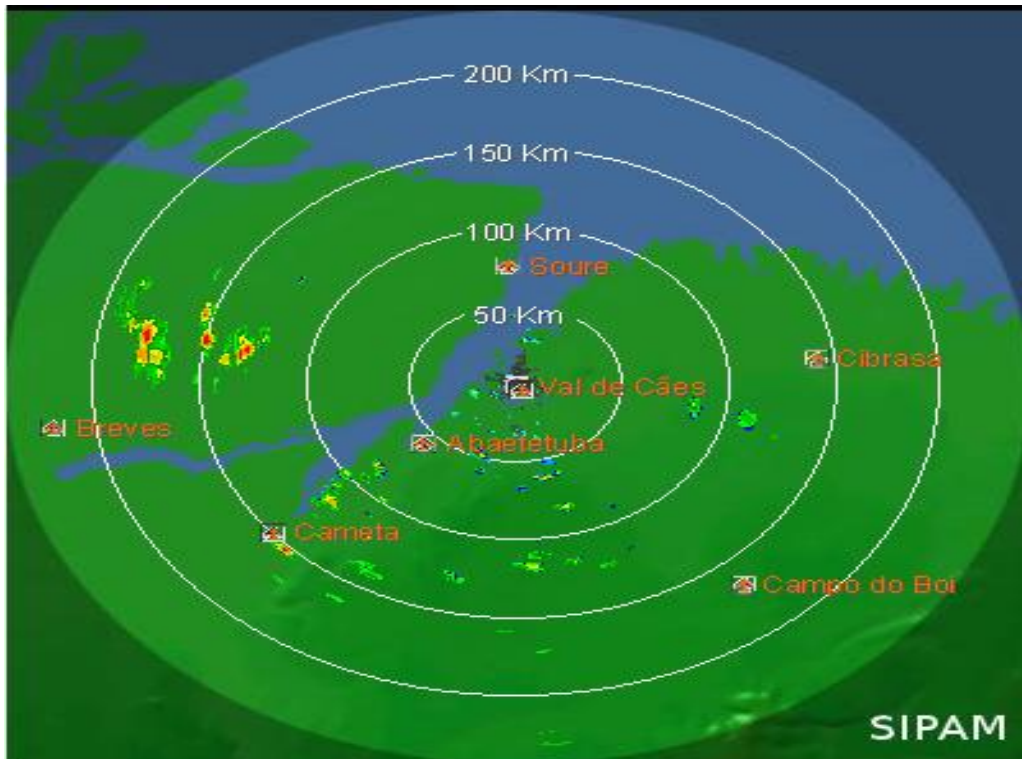
Fonte: Manual do TITAN – SIPAM (2013).

Para compatibilizar a localização do pluviômetro com o pixel do radar foi utilizado uma planilha eletrônica, (linha x coluna) onde o radar foi locado na posição central da planilha e em função da latitude e longitude de cada pluviômetro foi calculado a distancia de cada aparelho para o radar, considerando 1° de latitude ou longitude igual aproximadamente 111 km, pela proximidade do equador, e a resolução espacial do radar, pixel, 0,75 km.

Também foi utilizada a observação dos dados do radar visualmente, na imagem do radar, onde o movimento do mouse na imagem fornece a latitude x longitude e o valor da precipitação naquele pixel, assim em cada posição latitude e longitude do pluviômetro era feita a leitura da precipitação acumulada de 24 hora no horário de 12:00 UCT.

Os dados das estações pluviométricas foram retirados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Na elaboração do banco de dados foi utilizado o critério de ocorrência de precipitação comum entre todas as estações selecionadas.

Figura 06 – Área de cobertura do Radar meteorológico do SIPAM de Belém.



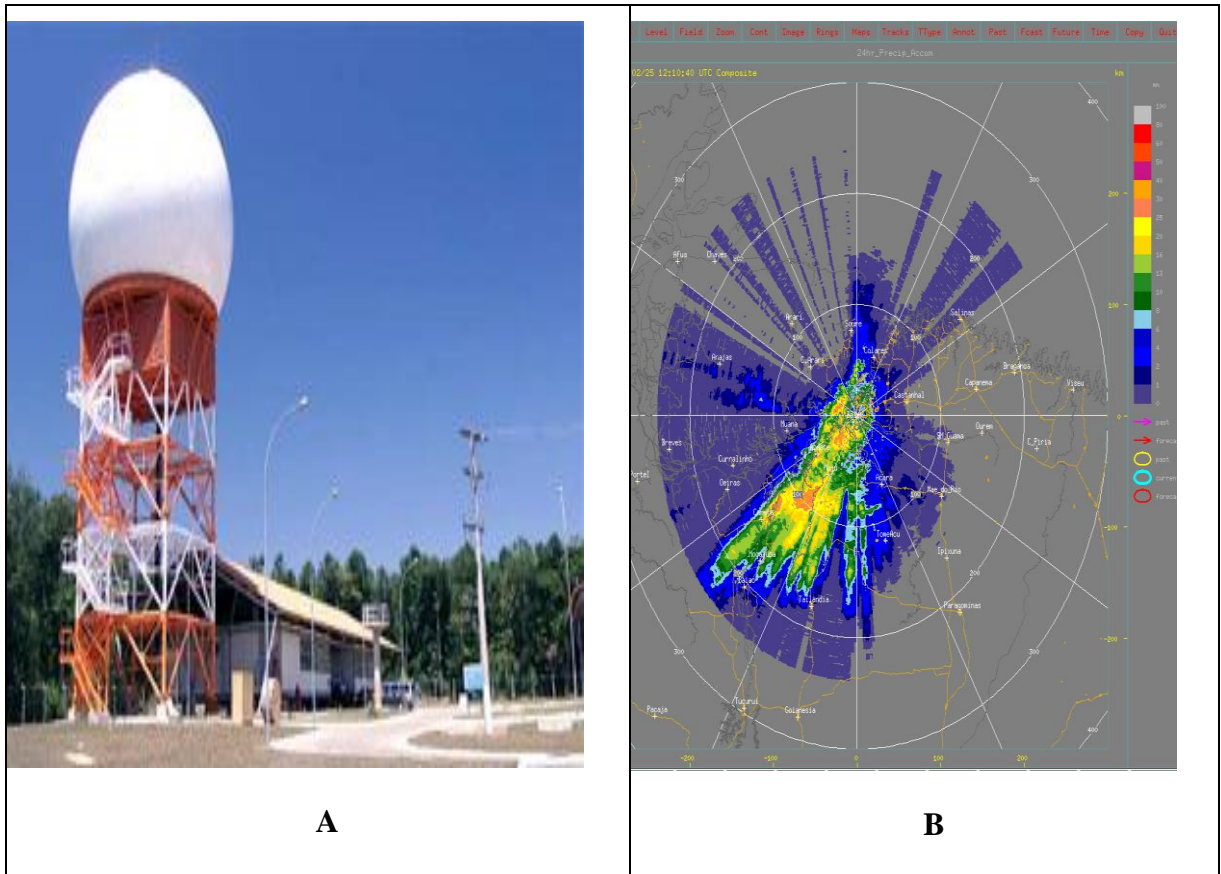
Fonte: Sistema de Proteção da Amazônia - SIPAM (2013).

Tabela 04 – Localização, Latitude e Longitude dos pluviômetros na cidade de Belém.

ESTAÇÕES PLUVIÔMETRICAS	LONGITUDE(W)	LATITUDE(S)
Belém	- 48,43	- 1,43
Breves	- 1,67	- 50,47
Cametá	- 2,24	- 49,49
Soure	- 0,72	- 48,50
Tracuateua	- 1,06	- 46,90

Fonte: Da autora (2013).

Figura 07 – A – Radar Meteorológico do SIPAM. B – Imagem da Precipitação de 25 de Fevereiro de 2012.



Fonte: Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM / CR – BELÉM (2013).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A literatura mostra que já existem algumas relações pré-determinadas da relação Z e R, segundo Marshall-Palmer, 1948, como podemos ver na Tabela 05 (PEREIRA, 2009; SAKURAGI, 2012), entretanto sabe-se que a precipitação pluviométrica é muito dependente das características regionais, por exemplo, para a região tropical o tipo de precipitação é predominantemente convectiva, de intensidade forte a moderada, localizada e abrangendo pequenas áreas.

Tabela 05 – Expressões típicas para a relação Z x R com o tipo de precipitação.

<b>Fórmula</b>	<b>Tipo de Precipitação</b>
$Z = 200R^{1,6}$	Estratiforme
$Z = 31R^{1,71}$	Orográfica
$Z = 286R^{1,37}$	Tempestade Tropical
$Z = 2000R^2$	Neve

Fonte: Manual do TITAN (2013).

Cada instalação do radar deve determinar o melhor valor dessas constantes para as características de precipitação na área de operação do radar; no momento os valores utilizados são **a=200 e b=1,6** (MARSHALL-PALMER, 1948). Na tabela abaixo temos alguns valores típicos.

Inicialmente foram utilizadas, neste trabalho as relações sugeridas na literatura, que apresentaram os seguintes resultados:

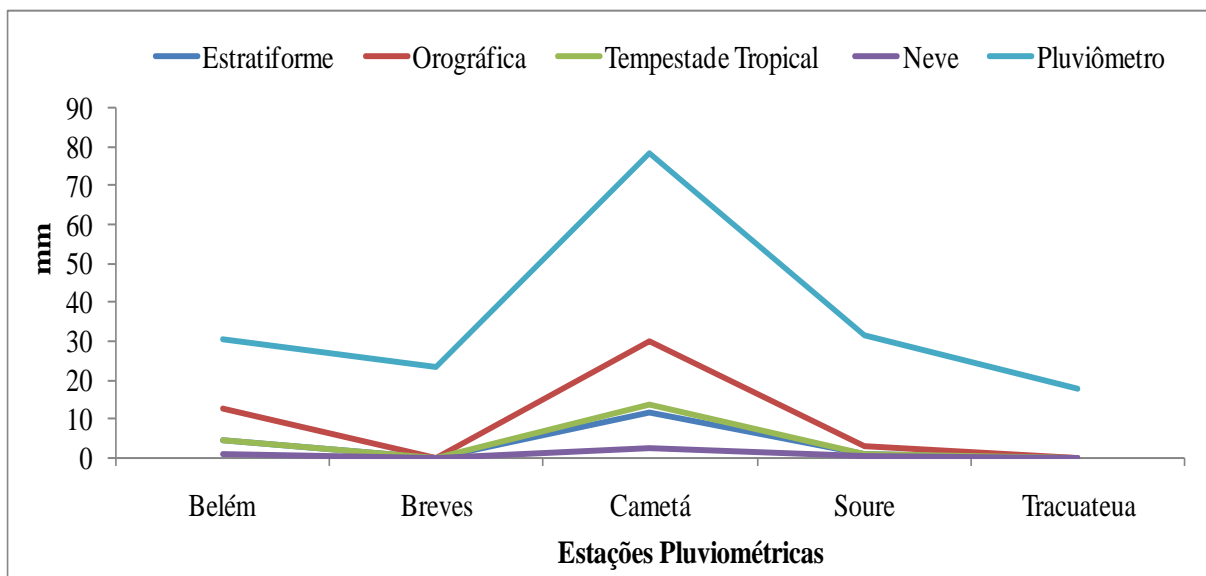
➤ **Para Cinco estações do dia 25/02/2012.**

Tabela 06 – Relação das equações para cada tipo de precipitação com cinco estações.

Tipo de Precipitação	Estratiforme	Orográfica	Tempestade Tropical	Neve
Cidade/Equação	200 / 1,6	31 / 1,71	286 / 1,37	2000 / 2
Belém	4,70	12,66	4,69	1,09
Breves	0,00	0,00	0,00	0,00
Cametá	11,70	29,71	13,62	2,26
Soure	1,00	2,98	0,77	0,32
Tracuateua	0,00	0,00	0,00	0,00
Correlação	0,95	0,95	0,96	0,94

Fonte: Da autora (2013).

Figura 08 – Relação das equações para cada tipo de precipitação com 5 estações.

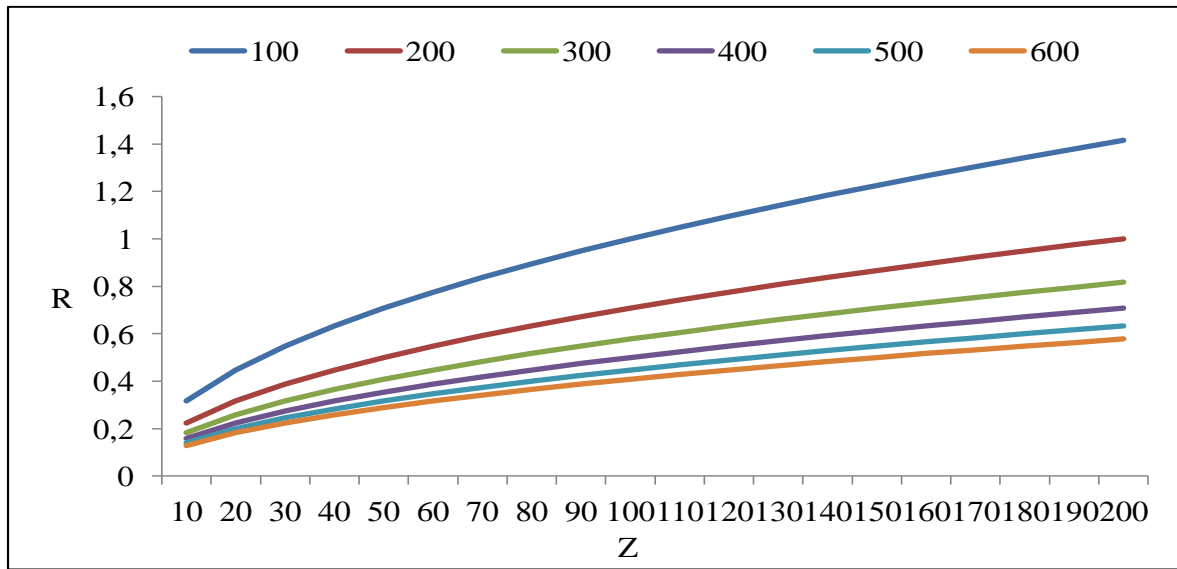


Fonte: Da autora (2013).

É possível observar que a equação da precipitação orográfica é a que mais se aproxima do pluviômetro, chegando a ter a mesma correlação (0,94). E as demais se afastam da real precipitação mostrada no radar, apesar de terem correlação.

Analisando a equação de Marshall-Palmer,  $Z=a R^b$ , pode-se observar que a variação do coeficiente linear  $a$  altera verticalmente a posição da curva  $Z \times R$ , com menores valores para maiores valores de  $a$  e divergindo para valores maiores de  $Z$ .

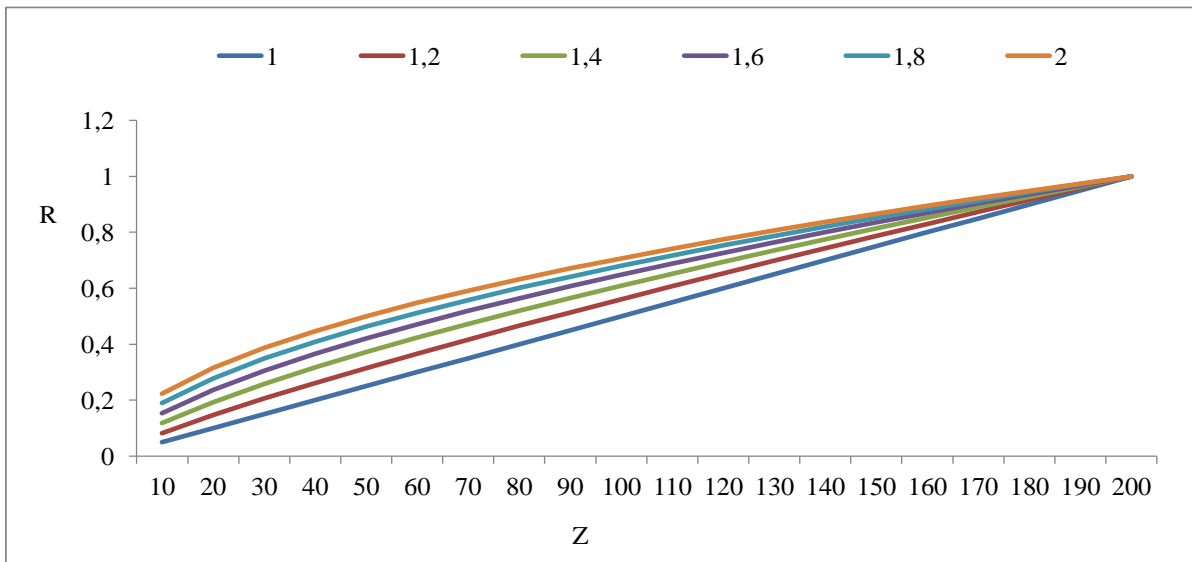
Figura 09 – Variação de R e Z em função do coeficiente linear  $a$  para valores de 100 a 600.



Fonte: Da autora (2013).

Entretanto a variação do coeficiente exponencial  $b$  provoca menor sensibilidade na curva  $Z \times R$ , alterando sua curvatura, passando de uma reta quando  $b = 1$ , para maior curvatura para maiores valores de  $b$ , chegando a uma convergência de valores para maiores valores de  $Z$ .

Figura 10 – Variação de R e Z em função do coeficiente exponencial  $b$  para valores de 1 a 2.



Fonte: Da autora (2013).

Pelo método das tentativas procurou-se ajustar os resultados da precipitação estimada pelo radar com os resultados observados pelo pluviômetro, considerando que existem várias limitações na estimativa de precipitação pelo radar.

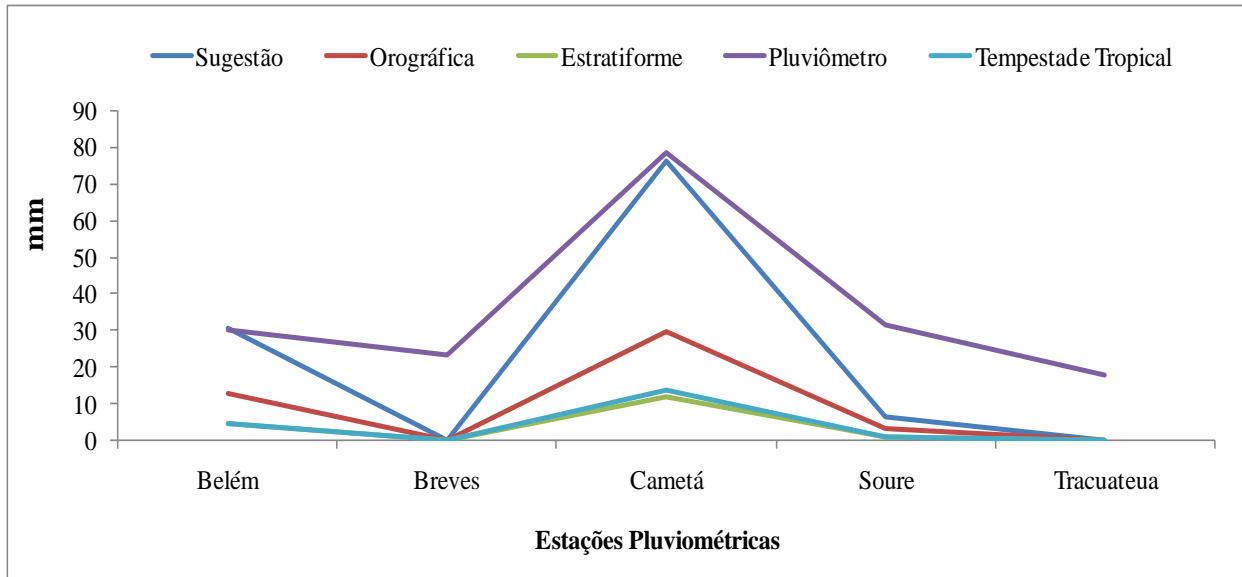
O gráfico 04 abaixo mostra os resultados obtidos comparando a precipitação observada no dia 25/02/11 em vários pontos com a estimativa do radar.

Com apenas a alteração do coeficiente **a** (linear) de 200 pra 10 obteve-se um coeficiente de correlação de 0,95, sendo a melhor relação obtida entre os demais métodos, por isso sugerimos que para a região Metropolitana de Belém a relação.

$$Z = 10R^{1,6}$$

Seja a mais conveniente.

Figura 11 – Relação entre Pluviômetro e Radar, com correlação em torno de 0,95.



Fonte: Da autora (2014).

## 5. CONCLUSÃO

Depois de várias análises pelo método das tentativas, variando os valores dos coeficientes a e b, verificamos que as melhores correlações ocorreram com os coeficientes a=10 e b=1,6, e concluímos que para Belém a melhor relação adaptada de Marshall-Palmer é:

$$Z = 10R^{1,6} \quad 2.0$$

## Sugestões

Para os próximos trabalhos sugerem-se que:

1. Que sejam utilizadas mais estações pluviométricas de superfície para que os resultados sejam mais consistentes.
2. Que outros coeficientes da equação sejam testados na busca da melhor correlação.

## REFERÊNCIAS

ANDRIEU, H.; JACQUET, G. Le radar météorologique de Trappes et l'estimation des intensités pluvieuses en Seine Saint-Denis. *La Houille Blanche*, n. 6, p. 447-457, 1987.

ANGELIS, C. F. et al. Rede de radares meteorológicos: ação conjunta DECEA - INPE/CPTEC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA- (CBMET), 14., 2006, Florianópolis, SC. *Anais...* São Jose dos Campos: INPE, 2006. CD-ROM. (INPE-14534-PRE/9565). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtcm17@80/2006/12.21.21.02>>. Acesso em: 29 jan. 2014.

Área de cobertura do Radar meteorológico do SIPAM de Belém. Disponível em: <<http://www.sipam.gov.br/content/section/7/85/>>. Acesso em: 16 nov. 2013.

BATTAN, L.J. *Radar Observation of the Atmosphere*. Chicago: The University of Chicago, 1959.

BENETI, C. A. A.; NOZU, I.; SARAIVA, E. A. Monitoramento da Precipitação e de Eventos de Tempo Severo com Radar Meteorológico no Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA - CBMET, 10., 1998, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/13-b6ba8a91d3693dec93ed5e003d63caf6.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2013.

CALHEIROS, R.V. EFEITOS LOCAIS NA RELAÇÃO INTENSIDADE DE CHUVA-FATOR DE REFLETIVIDADE DE RADAR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 3, 1984, Belo Horizonte, MG. *Anais...*, p. 415-421. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/17-38a64c4efa5874d157aba46493efa0cf.pdf>> Acesso em: 10 nov. 2013.

CAMPOS A. S. Análise da precipitação estimada por radar meteorológico no Leste da Amazônia. In CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17., 2011, Guarapari. Disponível em: <[https://www.google.com.br/url?q=http://www.sbagro.org.br/anais\\_congresso\\_2011/cba2011/trabalhos/06/cba06\\_298\\_475.pdf&sa=U&ei=qIBhU\\_efCofRsQSB3YGABg&ved=0CCCEQFjAA&usq=AFQjCNEDDjPCqoS4rXwtqW8kF6e7jwP6IQ](https://www.google.com.br/url?q=http://www.sbagro.org.br/anais_congresso_2011/cba2011/trabalhos/06/cba06_298_475.pdf&sa=U&ei=qIBhU_efCofRsQSB3YGABg&ved=0CCCEQFjAA&usq=AFQjCNEDDjPCqoS4rXwtqW8kF6e7jwP6IQ)>. Acesso em: 16 nov. 2013.

Dados das estações pluviométricas foram retirados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 10 set. 2013.

DELRIEU, G.; BELLON, A.; CREUTIN, J. Estimation des lames d'eau spatiales à l'aide de données de pluviomètres et de radar météorologique. *Journal of Hydrology*, n. 98, p. 315-344, 1988.

FIGUEROA, S.N., NOBRE, C.A. Precipitations Distribution Over Central and Western Tropical South America. *Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática* v.5, n.6, p. 36-45, 1990.

FRAGOSO M. A utilização das imagens de radar meteorológico em climatologia. *Finisterra*, v. 31 XXXI, n. 61, p 29-42, 1996.

MARSHALL, J. S.; PALMER, W. M. K., The distribution of raindrops with size. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v. 5, p. 165-166. 1948.

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

MORAES, José Carvalho de. Notas de aula de Hidrometeorologia. In: IV Curso de Especialização em Hidrometeorologia, 4., 1999, Belém.

MOTA, Mas; SOUZA, P. F. S. Influência da precipitação nas características termodinâmicas da atmosfera durante um mês seco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA (CBMET), 4, 1996, Campos do Jordão-SP.

NECHET, D. Análise da Precipitação em Belém, de 1896 a 1991. *Boletim de Geografia Teórica*, Rio Claro, v. 23, n. 45-46, p. 144-149, 1993.

SANTOS NETO, L. A.; MORAES, José Carvalho de. Identificação e Análise de Ocorrência de Tempo Severo em Porto Velho-RO: Um Estudo de Caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16, 2010, Belém-PA. Disponível em: <[http://cbmet2010.web437.uni5.net/anais/artigos/798\\_61415.pdf](http://cbmet2010.web437.uni5.net/anais/artigos/798_61415.pdf)> Acesso em: 01 dez. 2013.

PAZ R. S. Identificação de parâmetros da equação de radar de tempo para um evento de precipitação a partir da formulação de um problema inverso. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal, RN. *Anais...* INPE, p. 7385-7391. Disponível em: <<http://mar.tecnico.unicamp.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.02.39/doc/7385-7391.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2013.

PEREIRA, Carlos Simões; SIMÕES NETO, Bernardino. Uso do Software TITAN, SIPAM (Sistema de Proteção da Amazônia), Belém-Pará, Brasil, 2009.

Pluviômetro da Estação Meteorológica do IAG-USP. Disponível em: <<http://meteoropole.com.br/2011/12/o-que-e-um-pluviometro/>>. Acesso em: 20 out. de 2013.

Radar Meteorológico do SIPAM. Disponível em: <<http://www.sipam.gov.br/>>. Acesso em: 06 out. 2013.

Rede de radares meteorológicos do Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM. Disponível em: <<http://www.sipam.gov.br/content/view/3236/156/>>. Acesso em: 16 nov. 2013.

SAUVAGEOT, H. Radarmétéorologie, télédétection active de l'atmosphère. Éditions Eyrolles et CNET.ENST. Paris: s.d., 1982.

Satélite Meteorológico Satélite Geoestacionário Operacional Ambiental – GOES 12(NOAA). Disponível em: <<http://iipdigital.usembassy.gov/st/portuguese/article/2013/08/20130822281553.html>>. Acesso em: 16 out. 2013.

SILVA, D.C. Correlação Pluviógrafo x Radar para fins de calibração entre os métodos de medidas de precipitação para o município de Porto Velho - RO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 18, 2013. Belém, PA.

TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 1997. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4).

VITORINO, M.I. *Análise das Oscilações Intrasazonais sobre a América do Sul e Oceanos Adjacentes utilizando a Análise de Ondeletas*. 2002. Tese (Doutorado em Meteorologia) - INPE, São José dos Campos, 2002.