



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**FRANCISCO EDSON PINHEIRO PESSOA**

**O CICLO DIÁRIO DE PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS NO MUNICÍPIO DE  
FORTALEZA, EM INTERVALOS DE CINCO MINUTOS**

**FORTALEZA  
2015**

**FRANCISCO EDSON PINHEIRO PESSOA**

**O CICLO DIÁRIO DE PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS NO MUNICÍPIO DE  
FORTALEZA, EM INTERVALOS DE CINCO MINUTOS**

Tese submetida à Coordenação do Curso de Doutorado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. PhD José Nilson Beserra Campos.

**FORTALEZA  
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

- 
- P567c Pessoa, Francisco Edson Pinheiro.  
O Ciclo diário de precipitações pluviiais no município de Fortaleza, em intervalos de cinco minutos / Francisco Edson Pinheiro Pessoa. – 2015.  
82 f. : il. color. , enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, 2015.  
Área de Concentração: Recursos Hídricos.  
Orientação: Prof. Dr. José Nilson Beserra Campos.
1. Recursos hídricos. 2. Precipitações - Ciclo. 3. Modelagem matemática computacional. I. Título.

FRANCISCO EDSON PINHEIRO PESSOA

O CICLO DIÁRIO DE PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS NO MUNICÍPIO DE FORTALEZA, EM INTERVALOS DE CINCO MINUTOS

Tese apresentada ao Doutorado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

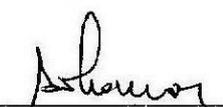
Aprovada em: 23/04/2015

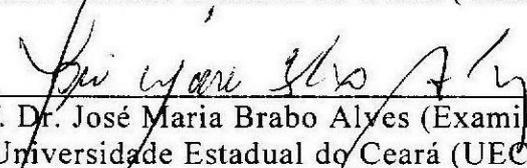
BANCA EXAMINADORA

  
Prof. PhD José Nilson Beserra Campos (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

  
Prof. Dr. Francisco Osny Enéas da Silva (Examinador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

  
Prof.ª Dr.ª Ticiania Marinho de Carvalho Studart (Examinadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

  
Prof. Dr. Antônio Clécio Fontenele Thomas (Examinador)  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

  
Prof. Dr. José Maria Brabo Alves (Examinador)  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Aos meus familiares, em especial Inez de Toledo, Gabriela Pessoa, Marcela Pessoa, Tiberio Pinheiro e Jorge Pinheiro, agradeço pela colaboração e compreensão nas horas de necessária reclusão e pelo amor nos momentos de tensão.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, pela oportunidade de hoje estar aqui, pela sua presença constante na minha vida, pela sabedoria nas minhas escolhas, pelo auxílio nas horas de dificuldade, por ter me abençoado com uma família maravilhosa.

À minha família, que proporcionaram a base de valores éticos e morais que dão direção e sentido à minha vida.

Ao meu orientador Dr. José Nilson Beserra Campos, exemplo de dedicação e de entusiasmo às causas do ensino, da pesquisa e da extensão, pela confiança e estímulo em mim depositados e pelo constante apoio, nos momentos mais difíceis, durante o decorrer deste curso. Agradeço seus ensinamentos recebidos e a especial atenção com que sempre fui tratado, fundamentais para a realização deste trabalho.

Ao Corpo Docente do Doutorado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, por seus ensinamentos e sua colaboração para que pudéssemos nos tornar profissionais responsáveis, com um conjunto enorme de conhecimentos agregados durante o curso.

Aos examinadores, que tão prontamente atenderam ao meu pedido e me proporcionaram a chance de acrescentar um pouco mais à minha formação.

A todos que, de alguma forma, colaboraram para que este trabalho se tornasse possível.

“Era menino.  
Um dia, olhei o céu: longe – as estrelas...  
E eu tive uma vontade imensa de colhê-las!  
Estava desvendado o meu destino.”

(Filgueiras Lima)

“Há quem diga que todas as noites são de sonhos.  
Mas há também quem garanta que nem todas,  
só as de verão.  
No fundo isso não tem importância.  
O que interessa mesmo  
não são as noites em si,  
são os sonhos.  
Sonhos que o homem sonha sempre.  
Em todos os lugares,  
em todas as épocas do ano,  
dormindo ou acordado.”

(Shakespeare)

## RESUMO

A pesquisa trata da distribuição infradiária de precipitações intensas no Município de Fortaleza, Estado do Ceará. Foram utilizados 30 anos de observações pluviográficas, digitalizadas, da estação climatológica da Universidade Federal do Ceará no Campus do Pici. Os estudos foram realizados com uma única série, com todos os valores para determinar o regime anual. Posteriormente, foram utilizadas as 12 séries mensais, cobrindo o período de 30 anos, para estudar a sazonalidade. Os dados anuais foram ajustados a curvas senoidais e a polinômios do terceiro grau, forçados para manter a continuidade, denominados polinômios cíclicos. Observou-se que o horário de máxima pluviosidade ocorre no início do dia e o mínimo ocorre no início da noite, Estudou-se também, nas séries mensais, o tamanho do intervalo de tempo entre o máximo e o mínimo de pluviosidade. Esse intervalo de tempo foi correlacionado com a duração do dia de insolação. Conclui-se que há uma forte correlação entre a duração do dia de insolação e o intervalo de tempo entre o pico de máxima e de mínima pluviosidade.

**Palavras-chave:** Ciclo diário de precipitações. Horossazonalidade de chuvas. Modelagem matemática computacional de chuvas. Modelos polinomiais e senoidais de chuva.

## ABSTRACT

The research deals with the daily distribution of intense rainfall in the city of Fortaleza, Ceará. Were used 30 years of pluviograph observations of the climatological station of the Federal University of Ceará, in Campus do Pici. The studies were conducted with a single series, with all the values to determine an annual basis. Later, were used 12 monthly series, covering the period from 30 years, to study the seasonality. Annual data were adjusted to sinusoidal curves and polynomials of the third degree, forced to maintain continuity, called cyclic polynomials. It was observed that the maximum rainfall occurs in the early hours of the day and the minimum rainfall occurs in the early evening. It was also studied in the monthly series the time interval size between the maximum and the minimum rainfall. This time interval was correlated with the duration of insolation. It concludes that there is a strong correlation between duration of insolation and the time interval between the maximum and the minimum rainfall.

**Keywords:** Daily cycle of precipitation. Rain's hourly seasonality rains. Mathematical modeling computational rains. Polynomial and sinusoidal models of rain.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização da área de estudo.....	21
Figura 2 -	Zona de convergência intertropical.....	22
Figura 3 -	Vórtice ciclone atuando sobre o NEB.....	24
Figura 4 -	ZCIT e ondas de leste atuando sobre o NEB.....	25
Figura 5 -	Circulação da brisa marítima à tarde sobre o Ceará. A faixa litorânea apresenta-se sem nuvens. Fortaleza é representada por uma pequena cruz. Imagens no canal visível dos satélites meteorológicos NOAA-16, 10/09/2004, 14 h local (à esquerda) e NOAA-12, mesmo dia, 16:17 h local (à direita).....	27
Figura 6 -	Linhas de nuvens no oceano, associadas à brisa terrestre. Imagens, no visual, do NOAA-17, 11/08/2005, 10:26 h local (à esquerda) e 15/08/2005, 10:35 h local (à direita). A pequena cruz representa Fortaleza.....	27
Figura 7 -	Brisa marítima e terrestre atuando de forma conjunta no Ceará. Imagem, no canal visível do NOAA-16, 14:20 h, 24/08/2005.....	28
Figura 8 -	Movimentos da Terra na eclíptica em torno do Sol.....	40
Figura 9 -	Movimento da Terra em torno do Sol.....	41
Figura 10 -	Movimento aparente do Sol entre os meses de dezembro e junho..	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Organização das precipitações observadas. Dados pluviométricos do Centro de Ciências Agrárias/UFC, período de 01/01/1970 a 31/12/1999.....	29
Tabela 2 -	Cronologia dos eventos <i>El Niño</i> (EN), <i>La Niña</i> (LN) e neutro (*), no período: 01/01/1970 a 31/12/1999.....	30
Tabela 3 -	Precipitação máxima x mínima e hora de ocorrência.....	50
Tabela 4 -	Pontos críticos do modelo polinomial cíclico.....	58
Tabela 5 -	Duração do dia x $\Delta$ h de pico.....	60
Tabela 6 -	Correlação: duração do dia x $\Delta$ h de pico.....	62
Tabela 7 -	Precipitação média x insolação média – Posto UFC.....	62
Tabela 8 -	Correlação: precipitação x insolação – Posto UFC.....	63

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1/A - Precipitação anual registrada no período: 01/01/1970 a 31/12/1999.....	29
Gráfico 1/B - Precipitação diária registrada no período de jan./1970 a dez./1999.....	30
Gráfico 2 - Precipitação mensal registrada no período: jan./1970 a dez./1999.....	31
Gráfico 3 - Precipitação média registrada no período de jan./1970 a dez./1999.....	32
Gráfico 4 - Precipitação total de 30 anos, em intervalos de 3 horas.....	32
Gráfico 5 - Precipitação total de 30 anos em intervalos de 1 hora.....	33
Gráfico 6 - Precipitação total de 30 anos, em intervalos de 5 minutos.....	33
Gráfico 7 - Polinômio acíclico do 3º grau.....	45
Gráfico 8 - Polinômio cíclico do 3º grau.....	47
Gráfico 9 - Modelo senoidal I.....	47
Gráfico 10 - Modelo senoidal II.....	48
Gráfico 11 - Modelo composto: polinômio cíclico + senoide II.....	49
Gráfico 12 - Síntese gráfica dos modelos estudados: polinomial, senoidal e composto.....	50
Gráfico 13 - Polinômio cíclico – mês de janeiro: 1970-1999.....	51
Gráfico 14 - Polinômio cíclico – mês de fevereiro: 1970-1999.....	52
Gráfico 15 - Polinômio cíclico – mês de março: 1970-1999.....	52
Gráfico 16 - Polinômio cíclico – mês de abril: 1970-1999.....	53
Gráfico 17 - Polinômio cíclico – mês de maio: 1970-1999.....	53
Gráfico 18 - Polinômio cíclico – mês de junho: 1970-1999.....	54
Gráfico 19 - Polinômio cíclico – mês de julho: 1970-1999.....	54
Gráfico 20 - Polinômio cíclico – mês de agosto: 1970-1999.....	55
Gráfico 21 - Polinômio cíclico – mês de setembro: 1970-1999.....	55
Gráfico 22 - Polinômio cíclico – mês de outubro: 1970-1999.....	56
Gráfico 23 - Polinômio cíclico – mês de novembro: 1970-1999.....	56
Gráfico 24 - Polinômio cíclico – mês de dezembro: 1970-1999.....	57
Gráfico 25 - Polinômio cíclico – anual: 1970-1999.....	57

Gráfico 26 -	Hora de ocorrência das precipitações mínimas, máximas e $\Delta h$ de pico.....	59
Gráfico 27 -	Distribuição mensal das precipitações máxima e mínima (1970 – 1999).....	59
Gráfico 28 -	Duração do dia, no início, meio e fim de cada mês.....	61
Gráfico 29 -	Insolação x precipitação.....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CE -	Ceará
CEMAGREF -	<i>National Centre of Agricultural Mechanisation, Agricultural Engineering, Waterland Forests</i>
CPTEC -	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
EL -	El Niño
ENOS -	El Niño - Oscilação Sul
FUNCEME -	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
hPa -	Hectopascal
HN -	Hemisfério Norte
HS -	Hemisfério Sul
INMET -	Instituto Nacional de Meteorologia
JFMA -	Janeiro, Fevereiro, Março e Abril
LN -	La Niña
MMQ -	Método dos Mínimos Quadrados
NEB -	Nordeste do Brasil
NNE -	Norte do Nordeste do Brasil
NOAA -	<i>The National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
POAS -	Perturbações Ondulatórias no Campo dos Ventos Alísios
RS -	Rio Grande do Sul
SHYPRE -	<i>Simulated Hydrographs for flood Probability Estimation</i>
TRMM -	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
TSM -	Temperatura da Superfície do Mar
UFC -	Universidade Federal do Ceará
UFRJ -	Universidade Federal do Rio de Janeiro
VCAN -	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCIT -	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>1.1 Objetivos</b> .....	16
<i>1.1.1 Geral</i> .....	16
<i>1.1.2 Específicos</i> .....	16
<b>1.2 Organização da Tese</b> .....	16
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	17
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	21
<b>3.1 Caracterização da área de estudo</b> .....	21
<b>3.2 Sistemas formadores de chuva na área de estudo</b> .....	22
<i>3.2.1 Zona de convergência intertropical</i> .....	22
<i>3.2.2 Vórtices ciclone de altos níveis (VCAN)</i> .....	23
<i>3.2.3 Ondas de leste</i> .....	25
<i>3.2.4 Brisa terrestre e marítima</i> .....	26
<b>3.3 Dados pluviométricos</b> .....	28
<b>3.4 Métodos</b> .....	34
<i>3.4.1 Modelo polinomial acíclico</i> .....	34
<i>3.4.2 Modelo polinomial cíclico</i> .....	35
<i>3.4.3 Modelo senoidal I</i> .....	36
<i>3.4.4 Modelo senoidal II</i> .....	38
<i>3.4.5 Modelo composto</i> .....	39
<b>3.5 Duração do dia e insolação</b> .....	40
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	45
<b>4.1 Modelo polinomial acíclico anual</b> .....	45
<b>4.2 Modelo polinomial cíclico anual</b> .....	46
<b>4.3 Modelo senoidal I anual</b> .....	47
<b>4.4 Modelo senoidal II anual</b> .....	48
<b>4.5 Modelo composto anual</b> .....	49
<b>4.6 Modelo polinomial cíclico mensal</b> .....	51
<b>4.7 Sumário de <math>\Delta h</math> de pico</b> .....	58
<b>4.8 Correlações: duração do dia x <math>\Delta h</math> de pico, precipitação x insolação</b> .....	60

<i>4.8.1 Duração do dia x <math>\Delta h</math> de pico</i> .....	60
<i>4.8.2 Precipitação x insolação</i> .....	62
<b>5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES</b> .....	65
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	67
<b>ANEXO A – Temperatura do ar, umidade relativa, precipitação e insolação média em Fortaleza</b> .....	70
<b>ANEXO B – Parâmetro do modelo polinomial acíclico com início 0-24 horas</b>	71
<b>ANEXO C – Gráfico do modelo polinomial acíclico com início às 9:00 horas e <math>\Delta h</math> igual a 5, 10, 15, 20 e 30 minutos</b> .....	72
<b>ANEXO D – Parâmetro do modelo polinomial cíclico com início 0-24 horas</b>	73
<b>ANEXO E – Comparação dos coeficientes de determinação dos modelos estudados</b> .....	74
<b>ANEXO F – Tabela de crepúsculo</b> .....	77

## 1 INTRODUÇÃO

A presente pesquisa científica refere-se a uma Tese de Doutorado desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, na área de concentração Recursos Hídricos, da Universidade Federal do Ceará, sob a orientação do professor José Nilson Beserra Campos.

O conhecimento das precipitações em intervalos de curta duração se constitui em informação de relevante interesse da Engenharia Hidrológica e, também, da sociedade de um modo geral. Uma das principais aplicações da modelagem e simulação de chuvas de curta duração está na avaliação de riscos hidrológicos ocasionados por eventos de chuvas intensas. Esse tipo de modelagem, que combina processos meteorológicos com processo hidráulicos e hidrológicos, é atual e de grande utilidade para a sociedade.

Estudos desenvolvidos por Kousky (1980) para a Região Nordeste do Brasil (NEB) mostraram que mais de 50% da precipitação registrada na área litorânea próximo a costa do Estado do Ceará, em sua quase totalidade, ocorre no período da noite e início da manhã, mais precisamente, entre 21 e 9 horas. A exceção se dá nas regiões de fronteira com o Piauí e com o Rio Grande do Norte. O estudo se refere ao período de 1961 a 1970.

Resultado semelhante foi obtido por Teixeira (2008) ao analisar a frequência da ocorrência de chuvas no município de Fortaleza, em intervalos de uma hora, nos períodos de janeiro a junho e de julho a dezembro. Para ambos os semestres, a grande maioria dos eventos de chuva acontece no período da noite até início da manhã, com maior concentração na madrugada.

O presente estudo tem como foco a ocorrência de chuvas no município de Fortaleza/CE, e pesquisa funções para modelar o ciclo diário da precipitação pluvial, em acumulados de cinco minutos, por meio do ajustamento de curvas periódicas ao ciclo diário. Para tanto, faz-se uso da análise de regressão não linear.

A importância do estudo reside na utilização de curvas contínuas para descrever a propagação da chuva ao longo das 24 horas do dia, possibilitando a visualização gráfica da intensidade e sazonalidade do evento chuva em Fortaleza.

A sazonalidade mensal também é estudada, ao se examinar a variabilidade dos parâmetros mensais ao longo do ano.

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Geral***

Estudar o padrão de variação diária de chuvas em intervalos de cinco minutos no município de Fortaleza/Ceará.

### ***1.1.2 Específicos***

- Ajustar um padrão de chuvas de cinco minutos, utilizando a população anual composta por 30 anos de observações, tendo por base os registros pluviográficos da estação meteorológica da Universidade Federal do Ceará, situada no Campus do Pici, no período que se estende de 1º de janeiro de 1970 a 31 de dezembro de 1999;
- Ajustar um padrão de chuvas de cinco minutos, utilizando a população anual em escala mensal, para cada mês do ano;
- Identificar parâmetros característicos da curva infradiária das precipitações mensais;
- Verificar como os parâmetros mensais estabelecidos variam ao longo do ano;
- Verificar se há correlação entre os parâmetros mensais e a duração do dia, isto é, o tempo transcorrido entre o nascer e o pôr do sol.

## **1.2 Organização da Tese**

A presente Tese está estruturada em cinco capítulos: 1 – Introdução; 2 – Revisão da Literatura; 3 – Materiais e Métodos; 4 – Resultados e Discussão; 5 – Conclusão e Recomendações.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

As precipitações pluviais estão relacionadas com a convecção local, caracterizada como o movimento ascendente de ar úmido, decorrente de baixa pressão atmosférica junto à superfície da terra, e a convecção tropical, controlada pela circulação geral da atmosfera, fenômenos de escala global que resultam da interação entre a superfície do planeta e o fornecimento da energia solar, topografia e cobertura vegetal.

A variabilidade da distribuição das chuvas sobre o Nordeste do Brasil, tanto em escala espacial como temporal, está relacionada com as mudanças nas configurações de circulação atmosférica de grande escala e com a interação oceano-atmosfera nos Oceanos Pacífico e Atlântico.

Como fenômenos de grande escala destacam-se a penetração dos sistemas frontais, ou frentes frias, entre as latitudes 5°S e 18°S, como importante para a produção de chuva na região Sul do Nordeste (SN) e Este do Nordeste (ENE), e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principal mecanismo responsável pelas chuvas no Norte do Nordeste (NNE), no período de fevereiro e maio. Os fenômenos de grande escala são responsáveis por até 80% da precipitação observada, a depender da localidade. Os 20% restante são devidos aos fenômenos de mesoescala, como as Perturbações Ondulatórias no Campo dos Ventos Alísios (POAS), complexos convectivos e as brisas marítima e terrestre, complementado por fenômenos de micro escala, como circulações orográficas e pequenas células convectivas (MOLION; BERNARDO, 2002).

Pequenas flutuações, associadas às condições climáticas, provocam significativos impactos sociais e econômicos sobre a região. Desta forma, identificar padrões de variação e/ou sinais de mudanças climáticas é de relevante importância, já que impacta os recursos hídricos, a agricultura e outras áreas (SOUZA FILHO; MOURA, 2006).

Uma das principais aplicações da modelagem e simulação de chuvas de curta duração está na avaliação de riscos hidrológicos ocasionados, por exemplo, por evento de chuvas intensas (ARNAUD; FINE; LAVABRE, 2007).

O grupo de pesquisa do *National Centre of Agricultural Mechanisation, Agricultural Engineering, Waterland Forests (CEMAGREF)*, na França, desenvolveu um programa denominado *Simulated Hydrographs for flood Probability Estimation (SHYPRE)*, o qual trata a precipitação pluvial em intervalos de uma hora, como um processo estocástico, isto é, que estuda a evolução temporal da ocorrência de chuvas. Esse tipo de modelagem, que combina processos meteorológicos com processos hidráulicos e hidrológicos, é atual e de grande utilidade para a sociedade.

Bernardara, De Michele e Rosso (2007) estudaram a distribuição de chuva em intervalos de uma hora. Segundo os autores, a maioria dos modelos de chuva encontrados na literatura é do tipo de fluxo, isto é, são modelos que representam a variabilidade da intensidade e da quantidade de chuva em um determinado local, em certo período. Os autores desenvolveram um modelo estocástico que permite gerar séries sintéticas de chuvas em intervalos de uma hora.

O objeto de pesquisa de Salvadori e De Michelle (2006) foi a caracterização estatística da estrutura das tempestades, em intervalos menores de um ano. Um evento de chuva, tempestade, é caracterizado por um período úmido (W) seguido de um período seco (D). O período úmido é representado por um pulso retangular de chuva de intensidade I. O estudo permitiu caracterizar as funções de probabilidade dos episódios de uma hora. Contudo, o modelo pode ser aplicado a intervalos de cinco minutos.

Chen *et al.* (1999) estudaram o ciclo de precipitações na ilha de Taiwan. Os autores utilizaram medições de estações automáticas, na escala de uma hora, no período de 1993-1996. Eles encontraram que o pico de precipitações ocorre entre 16:00h e 17:00h, cerca de duas a três horas após a ocorrência do pico de fluxo de massas ocasionados pela brisa.

Kousky (1980) estudou a variação diurna da chuva em toda a região do Nordeste do Brasil. Os dados de chuva diária foram registrados as 09h00min, 15h00min e 21h00min, com os valores da precipitação correspondente ao acumulado nos períodos 21:00-09:00, 09:00-15:00 e 15:00-21:00 horas, respectivamente. No que se referem ao Estado do Ceará, os resultados mostraram que a precipitação máxima ocorre no período entre 21 e 9 horas, tanto ao longo do litoral, com exceção de uma faixa ao leste, na fronteira com o Rio Grande do Norte, e outra, ao oeste, na fronteira com o Piauí, quanto no Sul do Estado. Já na região continental, distante 150 a 300

km do litoral, a máxima precipitação acontece entre 15 e 21 horas.

Teixeira (2008) analisou a frequência de ocorrência de chuvas em Fortaleza, em intervalos de uma hora, nos períodos de janeiro a junho e de julho a dezembro, e constatou que, para ambos os semestres, a grande maioria dos eventos de chuva acontece no período da noite até início da manhã, com maior concentração na madrugada. No período da tarde ocorre uma expressiva redução das chuvas, com gradual elevação no início da noite. Os resultados foram validados com a série de 13 anos (1974-1987) coletada na estação meteorológica convencional da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

Com o auxílio de imagens de satélite, o autor explica como o fenômeno das brisas se relaciona com a ocorrência de chuvas em Fortaleza. Para ele, a brisa terrestre, associada à forma geométrica côncava do litoral entre Fortaleza e o norte do Rio Grande do Norte e aos ventos alísios, parece favorecer a ocorrência de chuvas em Fortaleza no período da madrugada e início da manhã. Quanto à brisa marinha, esta favorece a ocorrência de chuva mais no interior do continente e explica a baixa ocorrência de chuva em Fortaleza no período da tarde (TEIXEIRA, 2008).

Uma pesquisa no tema deve-se a Silva (2013), que estudou o ciclo diário e semidiário de precipitação na região costeira do Norte do Brasil. O autor utilizou 13 anos de dados ininterruptos de precipitação, estimados por meio do algoritmo 3B42-V6 da missão *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) e o método de análise harmônica para estudar o ciclo quadrimestral de precipitações diárias. O estudo determinou a amplitude, a fase e a variância explicada pelo harmônico diário. O quadrimestre janeiro, fevereiro, março e abril (JFMA) foi o que apresentou maior amplitude, ocorrendo no Nordeste do Pará. A amplitude diminui na direção do interior do continente. A precipitação máxima ocorre à noite sobre o oceano. Nas localidades situadas até 100 km da linha da costa, verifica-se a predominância de chuva máxima no período da noite. Para áreas entre 100 e 350 km de distância da costa, o máximo de precipitação ocorre entre 14 e 17 horas. Em algumas regiões entre 350 e 450 km, a máxima precipitação ocorre no início da manhã, como a parte central do Pará.

Assis e Padilha (2002) estudaram o ciclo anual, em escala mensal, da pluviosidade na cidade de Pelotas/RS. A precipitação média mensal foi decomposta em ondas harmônicas, chegando-se à conclusão de que as ondas semestral,

quadrimestral e bimestral, juntas, explicam 98% das precipitações que ocorrem em Pelotas.

No Brasil, a modelagem para previsão de tempo obteve grandes conquistas, em decorrência da introdução da análise numérica para o tempo, por meio dos computadores de alto desempenho do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).

No entanto, para Diniz, Fonseca e Campelo Júnior (2008, p. 41) “tanto o CPTEC como outros centros, utilizam-se de modelos estatísticos para previsões climáticas, porém com dificuldade no que se refere à regionalização e falha em condições não típicas.” Os autores estudaram o regime de chuva diário com avaliação da sazonalidade em escala mensal.

O primeiro estudo de horossazonalidade em Fortaleza foi desenvolvido para eventos relacionados a anos de contrastes climáticos, *La Niña* e *El Niño*. Os trabalhos apresentaram curvas empíricas para diversas situações, porém não avançaram para a análise de regressão não linear, como abordada na presente pesquisa (LIMA, 2005; LIMA; CAMPOS; ALVES, 2006).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

O município de Fortaleza, capital do Estado do Ceará, se situa no Norte do Nordeste do Brasil (NNE), região que além do Ceará engloba partes do Rio Grande do Norte, Piauí, Maranhão e o oeste da Paraíba e de Pernambuco. De frente para o mar do Atlântico, a  $3^{\circ}47'25''\text{S}$  de latitude e  $38^{\circ}30'29,9''\text{W}$  de longitude, Fortaleza tem 34 km de litoral, altitude média de 21 metros e área de 313,8 km<sup>2</sup>. A umidade relativa média do ar é 78%

A temperatura média anual de Fortaleza é de 27°C, sendo dezembro e janeiro os meses mais quentes e julho o mais frio. As chuvas se concentram entre fevereiro e maio, com média pluviométrica anual de 1.600 mm, sendo o mês de abril o mais chuvoso e novembro o mais seco. A insolação anual é da ordem de 2.800 hora/mês (Anexo A).

São duas as estações bem definidas no ano: a época chuvosa, localmente chamada de inverno, que se estende de janeiro a julho, e a época seca, de agosto a dezembro, chamada de verão.

**Figura 1– Localização da área de estudo.**



Fonte: Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Brazil\\_location\\_map.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Brazil_location_map.svg)> Acesso em: 02 nov. 2014.

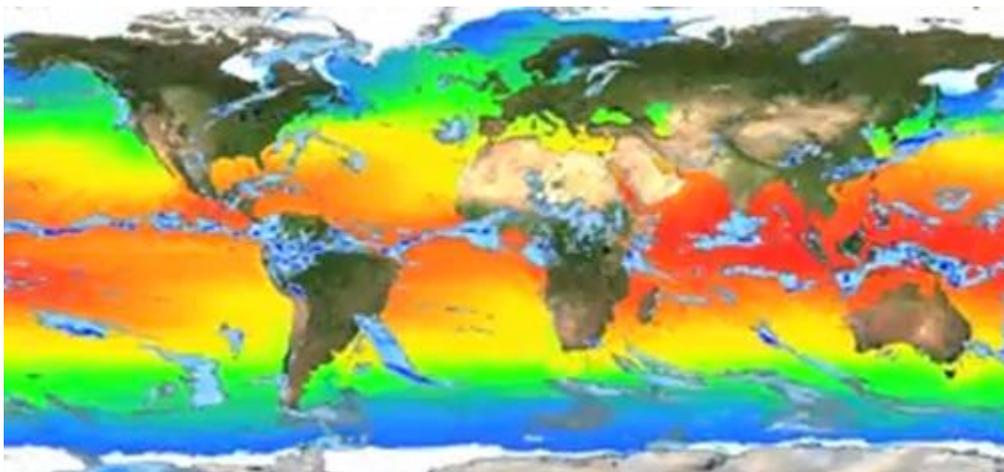
### 3.2 Sistemas formadores de chuva na área de estudo

Dentre os principais sistemas formadores de chuvas que atuam sobre o Nordeste do Brasil, aqueles que mais influenciam as precipitações no município de Fortaleza, são: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), as Ondas de Leste, provocadas por perturbações ondulatórias no campo dos ventos Alísios, e as Brisas Marítima e Terrestre (MOLION; BERNARDO, 2002).

#### 3.2.1 Zona de convergência intertropical

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é formada pela junção dos ventos alísios de Nordeste e alísios de Sudeste, que tem como resultante um movimento ascendente de ar com alto teor de vapor d'água. Ao subir, o ar se resfria, dando origem à formação de nuvens. A ZCIT é visualizada como uma faixa de nuvens que circunda a terra, próximo ao equador (Figura 2). O comportamento climatológico da ZCIT é reconhecido como o principal produtor de chuvas na Região do Nordeste do Brasil (NEB) durante os meses de março-abril.

**Figura 2 - Zona de convergência intertropical.**



Fonte: Disponível em: <<http://www2.cesm.ucar.edu>> Acesso em: 12 abr. 2015.

A posição e a intensidade da ZCIT são fatores determinantes da qualidade da estação chuvosa no semiárido do Nordeste do Brasil. Essas, por sua vez, são moduladas pelas condições oceânicas e atmosféricas.

Sobre o Oceano Atlântico, a ZCIT se encontra em sua posição mais ao Norte (14°N), nos meses de agosto/setembro. Em novembro/dezembro a ZCIT inicia seu deslocamento em direção ao Hemisfério Sul (HS).

Próximo ao litoral do Nordeste, a posição mais ao sul atingido pela ZCIT é de 4°S, e ocorre nos meses de março e abril. Isso explica porque esses são os meses que apresentam maior pluviosidade sobre Fortaleza. Em anos secos, na NEB, as águas no norte estão mais aquecidas, enquanto no sul estão mais frias (MELO *et al.*, 2002).

São vários os estudos que indicam a existência de uma relação entre o posicionamento da ZCIT e a anomalia de chuvas sobre o Nordeste. Em períodos de seca, a ZCIT fica bloqueada ao norte do Nordeste, provocando o estabelecimento de área de subsidência sobre o Nordeste, e conseqüentemente inibindo a precipitação na região (MOLION; BERNARDO, 2002).

De forma contrária, o deslocamento da ZCIT para até 5° graus ao sul é responsável pelo aumento da precipitação na região do NNE. Esse comportamento parece ser unanimidade entre os pesquisadores do tema.

### **3.2.2 Vórtices ciclone de altos níveis (VCAN)**

O Vórtice Ciclone de Altos Níveis (VCAN) é o sistema meteorológico que provoca as mais drásticas alterações no tempo da Região Nordeste do Brasil. O VCAN tem sua origem sobre o Oceano Atlântico, na área delimitada pelas coordenadas 20°W - 45°W e 0° - 28°S. Quando penetra no continente, na costa leste do Brasil, produz tempo bom na região sul e central do Nordeste e chuvas no setor norte do Nordeste (GAN; KOUSKY, 1986).

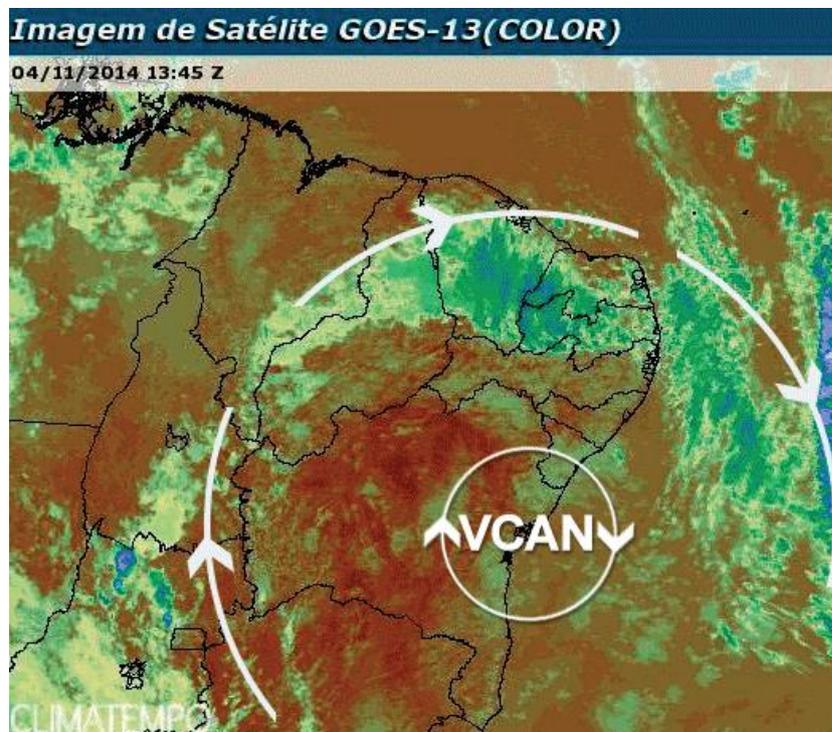
Os vórtices ciclônicos que atuam na Região Nordeste são de origem tropical. Tais vórtices se caracterizam por apresentar núcleo relativamente frio em relação a sua periferia, com subsidência que inibe a nebulosidade no seu centro. O tempo de vida dos ciclones tropicais frios varia consideravelmente, de algumas horas a semanas (FRANK, 1970).

Os VCANs são mais comuns entre os meses de novembro a fevereiro, e tanto produz chuvas intensas como estiagem. As chuvas são provenientes da banda da nebulosidade que se forma na periferia do vórtice, enquanto a estiagem ocorre na

área sob o centro do vórtice, devido ao movimento de ar subsidente que inibe a formação de nuvens (Figura 3).

Os VCANs se deslocam lentamente do oceano para o continente e vice-versa, seguindo trajetória irregular, porém com tendência para ser anticiclônica, iniciando o círculo sobre o Oceano Atlântico Sul, nas latitudes subtropicais. A formação destes sistemas ciclônicos coincide com a época do ano onde o escoamento em altos níveis (200 hPa) apresenta-se meridional, de sul para norte sobre o Brasil (GAN; KOUSKY 1986).

**Figura 3 – Vórtice ciclone atuando sobre o NEB.**



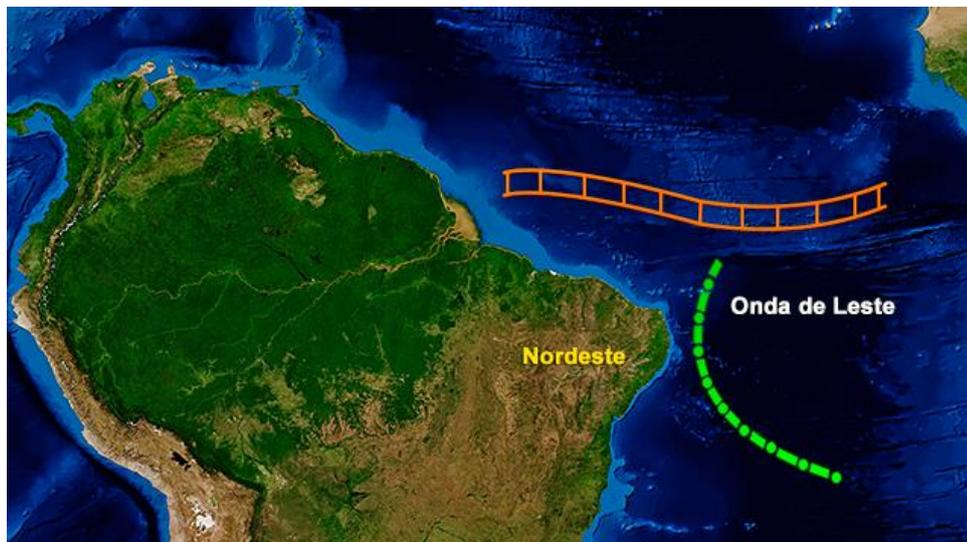
Fonte: Disponível em: <<http://www.climatempo.com.br>> Acesso em: 02 nov. 2014.

A Figura 3 mostra a imagem de um VCAN captada em 01/11/2014 pelo satélite Goes. Nela se observa o núcleo seco do VCAN, com grande nebulosidade nas suas bordas. Vê-se também, aglomerados de cumulonimbus na costa norte do Nordeste, associados ao vórtice, os quais provocam chuvas intensas nessa região; próximo ao centro existem cumulonimbus devido ao efeito da variação diurna. Ao sudeste existe uma frente fria com posicionamento quase norte-sul, a qual provoca chuvas ao longo da zona frontal e tempo bom à sua retaguarda.

### 3.2.3 Ondas de leste

As Ondas de Leste são sistemas que atuam na costa leste do Nordeste, com deslocamento para oeste, até atingir o Continente (Figura 4). Sua origem está na convergência dos ventos sul, associados aos sistemas frontais, com os ventos de leste, provocando perturbações ondulatórias nos Alísios que se propagam de oeste para leste, imersas nos campos dos Alísios. Sua intensidade depende da temperatura da superfície do mar (TSM), do cisalhamento do vento e dos efeitos da orografia e da circulação da brisa marítima e terrestre, de forma que intensificam ou dissipam o sistema (MOLION; BERNARDO, 2002).

**Figura 4 - ZCIT e ondas de leste atuando sobre o NEB.**



Disponível em: <<http://www.climatempo.com.br/destaques/tag/zona-de-convergencia-intertropical>>  
Acesso em: 15 abr. 2015.

Um estudo sobre o assunto foi realizado na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), que utilizando imagens de satélite selecionou 13 variáveis relacionadas às ondas de leste. Dentre estas a temperatura do ar, o ponto de orvalho, a pressão ao nível do mar, a velocidade vertical e meridional do vento, a umidade específica e relativa, a água precipitável e a radiação de ondas longas emitidas para o espaço (VAZ, 2011).

A análise de um conjunto de ocorrências de ondas de leste identificou cinco áreas distintas como sendo a origem dos distúrbios. O resultado do estudo de caso revelou que os distúrbios próximos a costa, devido à interação com os ventos alísios, efeito brisa e convecção local representam 34% do total das ocorrências. Já os que

têm origem na costa da África totalizam 31% dos casos. Juntos eles são responsáveis por 65% dos casos. Aquele induzido pela ZCIT, junto com os originados por VCAN apresentam uniformidade mensal, sendo os de origem no VCAN em menor número.

#### **3.2.4 Brisa terrestre e marítima**

As brisas são sistemas de ventos locais, decorrentes das diferenças térmicas entre as superfícies da terra e do mar, que induz diferenças de pressão do ar em baixos níveis, sobre as referidas superfícies (VIANELLO; ALVES, 2002).

As brisas são de dois tipos: de mar e de terra. A diferença de temperatura entre a terra aquecida e o oceano mais frio aumenta ao longo do dia. Isso faz com que os ventos superficiais soprem do mar para a terra, intensificando a circulação da brisa, adentrando ao continente.

À tarde, quando o contraste térmico entre as superfícies da terra e do oceano é máximo, a brisa alcança a sua maior intensidade. Por outro lado, quando o continente começa a esfriar, no final do dia, ocorre um momento em que o contraste térmico desaparece e a brisa marítima também.

À noite a diferença de pressão tende a ser revertida, dando origem à brisa terrestre. No geral, ocorre um momento de calma. Pela madrugada, quando a temperatura da superfície do litoral já se encontra mais baixa que a temperatura da superfície do mar os ventos superficiais sopram do continente para o oceano, dando origem à formação de brisa terrestre.

As brisas terrestres e marítimas estão presentes em toda a costa do Nordeste do Brasil. Especificamente, na área deste estudo, o município de Fortaleza, tanto a brisa terrestre como a marítima exercem influência sobre a ocorrência de chuvas.

É fato que, ao longo do ano, a maior ocorrência de chuvas em Fortaleza se dá no período noturno do dia, principalmente, durante a madrugada, até o início da manhã, enquanto que a menor ocorrência acontece no período da tarde.

Utilizando imagens de satélite, Teixeira (2008) mostrou que a passagem da porção ocidental da frente de brisa terrestre pela área de Fortaleza, em convergência com os ventos alísios de sudeste, facilita a ocorrência de chuvas rápidas e pouco intensas entre a madrugada e início da manhã. Já a brisa marítima contribui para a

menor ocorrência de chuvas em Fortaleza no período da tarde.

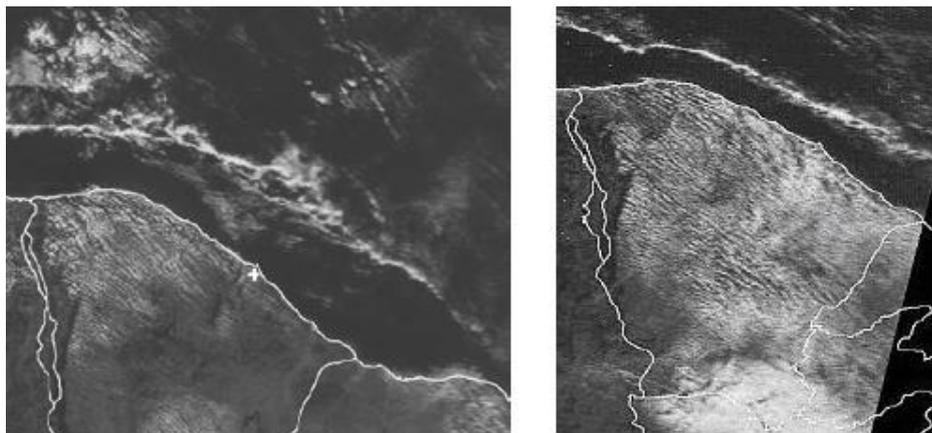
As figuras 5 e 6 ilustram a influência das brisas no posicionamento da banda de nuvens sobre a costa do município de Fortaleza.

**Figura 5 – Circulação da brisa marítima à tarde sobre o Ceará. A faixa litorânea apresenta-se sem nuvens. Fortaleza é representada por uma pequena cruz. Imagens no canal visível dos satélites meteorológicos NOAA-16, 10/09/2004, 14 h local (à esquerda) e NOAA-12, mesmo dia, 16:17 h local (à direita).**



Fonte: Teixeira (2008).

**Figura 6 – Linhas de nuvens no oceano, associadas à brisa terrestre. Imagens, no visual, do NOAA-17, 11/08/2005, 10:26 h local (à esquerda) e 15/08/2005, 10:35 h local (à direita). A pequena cruz representa Fortaleza.**



Fonte: Teixeira (2008).

A figura 7 mostra a atuação conjunta das brisas marítima e terrestre, o que faz com que a região de Fortaleza fique sob área sem nebulosidade. Este é um horário de poucas chuvas sobre o município de Fortaleza (TEIXEIRA, 2008).

**Figura 7 – Brisa marítima e terrestre atuando de forma conjunta no Ceará. Imagem, no canal visível do NOAA-16, 14:20 h, 24/08/2005.**



Fonte: Teixeira (2008).

### **3.3 Dados pluviométricos**

Os dados utilizados nesse estudo consistem da chuva registrada no posto pluviométrico da estação meteorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, no Campus do Pici, no município de Fortaleza/CE, durante 30 anos (1970 -1999), em intervalos de cinco minutos. A série de dados foi estruturada em 288 classes, com início às 09h00min e término às 09h00min do dia seguinte. A chuva observada durante os 5 minutos de uma classe, com início em h:min e término em h:min+5, foi registrada no limite superior da classe, ou seja, em h:min+5, conforme se observa na Tabela 1.

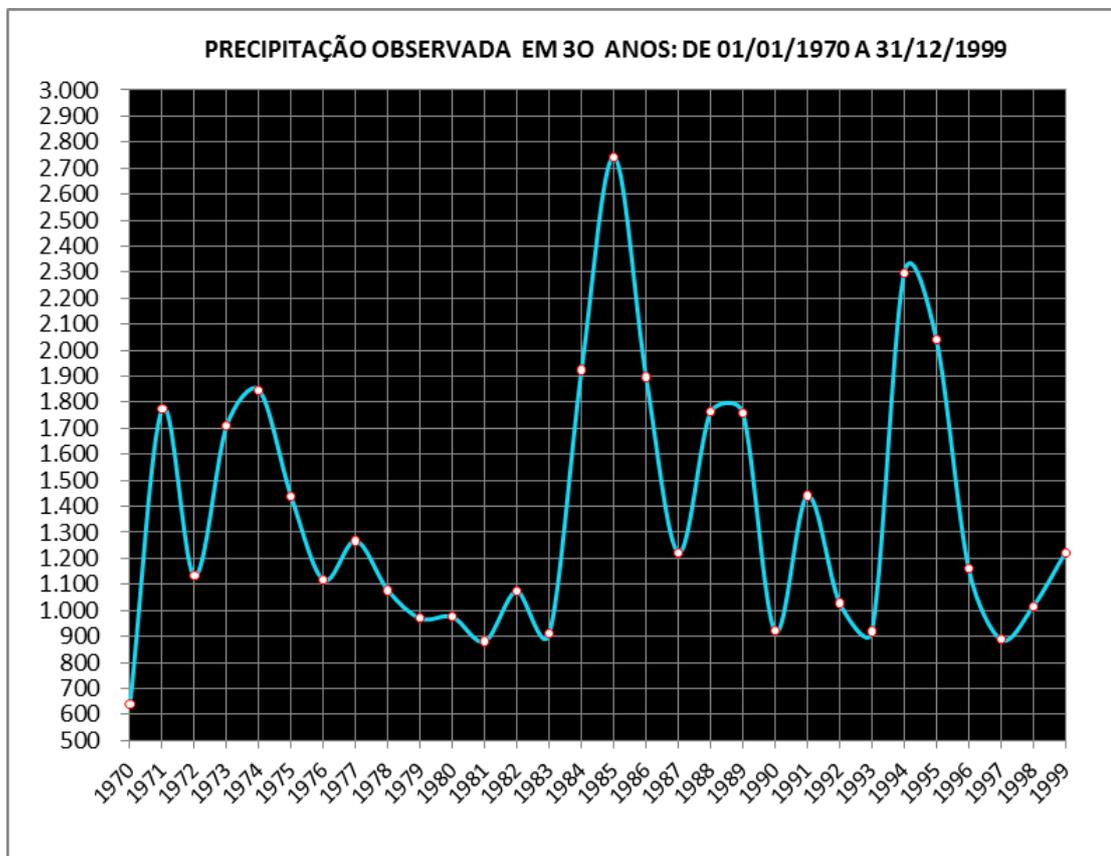
**Tabela 1 – Organização das precipitações observadas. Dados pluviométricos do Centro de Ciências Agrárias/UFC, no período de 01/01/1970 a 31/12/1999.**

Classe	Intervalo: ( $h_i$ , $h_{i+5min}$ ]	Precipitação Registrada (mm)		
		Hora de Registro	Total 30 Anos	Média Anual
1	(09h00min, 09h05min]	09h05min	243,70	8,12
2	(09h05min, 09h10min]	09h10min	249,90	8,33
3	(09h10min, 09h15min]	09h15min	184,00	6,13
4	(09h15min, 09h20min]	09h20min	259,50	8,33
5	(09h20min, 09h25min]	09h25min	246,30	6,13
.....	.....	.....	.....	.....
286	(08h45min, 08h50min]	08h50min	162,40	5,41
287	(08h50min, 08h55min]	08h55min	134,60	4,49
288	(08h55min, 09h00min]	09h00min	125,30	4,18

Fonte: Elaborada pelo autor.

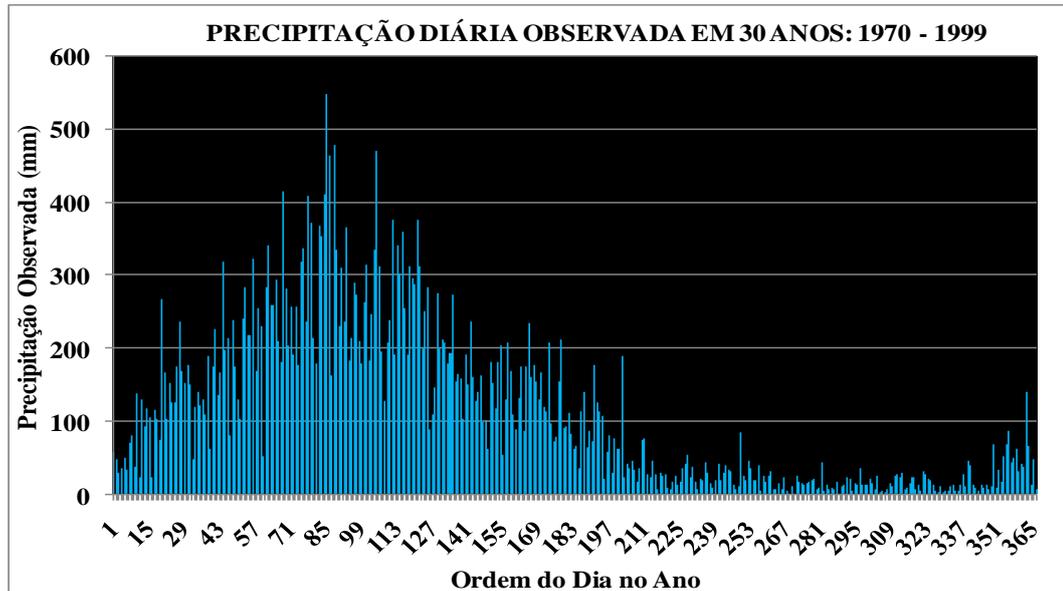
Os gráficos 1A e 1B mostram, respectivamente, a variabilidade anual e diária das precipitações registradas no período de estudo (1970 – 1999).

**Gráfico 1A - Precipitação anual registrada no período de jan./1970 – dez./1999.**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 1B - Precipitação diária registrada no período de jan./1970 – dez./1999.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao longo do período de estudo (01/01/1970 – 31/12/1999) observou-se várias ocorrências dos eventos *El Niño* (EL) e *La Niña* (LN), conforme indicado na Tabela 2, construída a partir de Xavier, Xavier e Alves (2007).

**Tabela 2 – Cronologia de eventos *El Niño* (EN), *La Niña* (LN) e neutro (\*), no período de 01/01/1970 a 31/12/1999.**

ANO (i-1)/i	ENOS	EXTENSÃO: 2ºSemestre/1ºSemestre
1970/1971	LN	70/71
1971/1972	LN	71/*
1972/1973	EN	72/73
1973/1974	LN	73/74
1975/1976	LN	<75/76
1976/1977	EN	76/*
1982/1983	EN	<82/83
1986/1987	EN	86/87
1987/1988	EN	87/*
1988/1989	LN	88/89
1991/1992	EN	91/92
1992/1993	EN	*/93
1994/1995	EN	94/*
1997/1998	EN	<97/98
1998/1999	LN	98/99

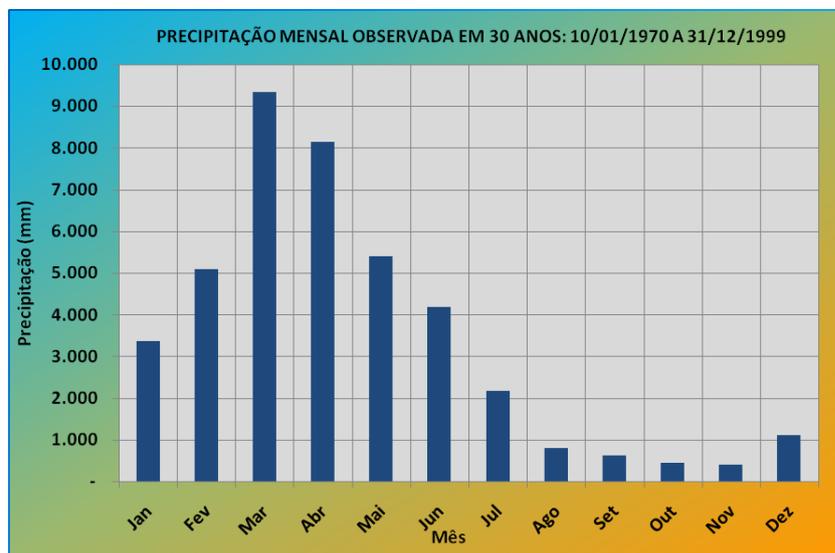
Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Tabela 2 ocorrência de um evento *El Niño/La Niña* é feito por meio da notação  $i-1/i$ , indicando que o evento tem início no 2º semestre do ano  $i-1$  e fim no 1º semestre do ano  $i$ . A não ocorrência do evento é indicada por \*, de modo que  $i-1/*$  indica um evento *El Niño* - Oscilação Sul (ENOS) que não prosperou, isto é, ele se dissipou no final do ano  $i-1$  ou no início do ano  $i$ . Já  $*/i$  indica o contrário do caso anterior, isto é, o evento não ocorreu no 2º semestre do ano  $i-1$ , mas ocorreu no 1º semestre do ano corrente. A notação  $<i-1/i$  indica o evento ENOS que começa mais cedo que o usual.

A partir dos dados de chuva estruturados conforme a Tabela 1 estudou-se a variabilidade diária e mensal da chuva no município de Fortaleza, correspondente aos 30 anos do período considerado, 1970 – 1999, com o objetivo de se desenvolver modelos matemáticos que descrevam as respectivas sazonalidades.

O Gráfico 3 mostra a variabilidade das precipitações registradas em intervalos de cinco minutos, durante o período de 30 anos, acumulada em períodos mensais.

**Gráfico 2 - Precipitação mensal registrada no período de jan./1970 – dez./1999.**



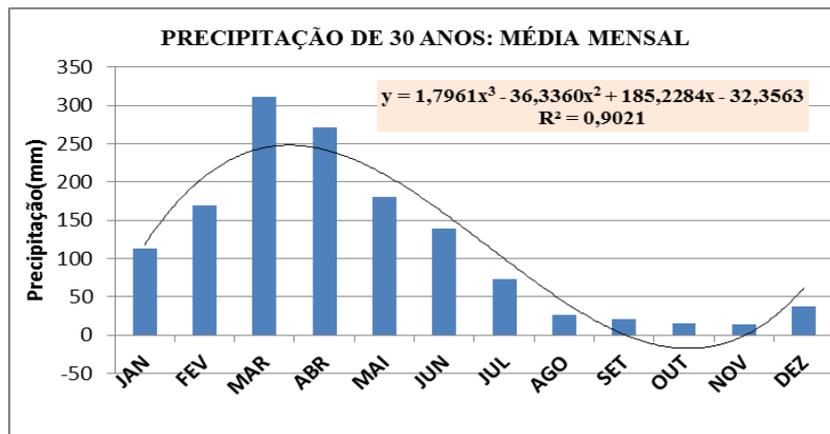
Fonte: Elaborado pelo autor.

Como se observa no Gráfico 2, março é o mês mais chuvoso, enquanto outubro e novembro se constituem os meses menos chuvosos.

Convêm lembrar que os dados utilizados nessa pesquisa são oriundos de observações pluviográficas, digitalizadas.

Os Gráficos 3, 4 e 5 mostram a variabilidade das precipitações correspondente ao período de 30 anos, em médias mensais e em intervalos de 3 e 1 hora. Em cada um dos gráficos foi adicionada a linha de tendência Polinomial do 3º Grau, com o intuito meramente ilustrativo. O alto grau de aderência do Polinômio de 3º Grau aos dados, medido pelo valor de  $r^2$  (coeficiente de determinação), se constituiu na motivação primeira dessa pesquisa.

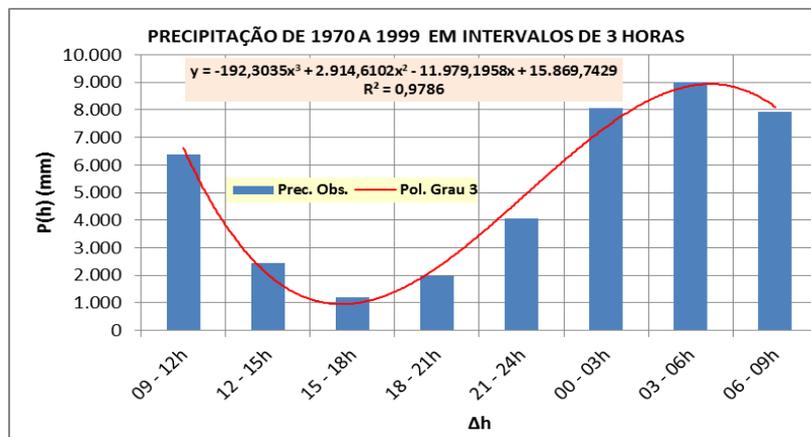
**Gráfico 3 - Precipitação média registrada no período de jan./1970 – dez./1999.**



Fonte: Elaborado pelo autor.

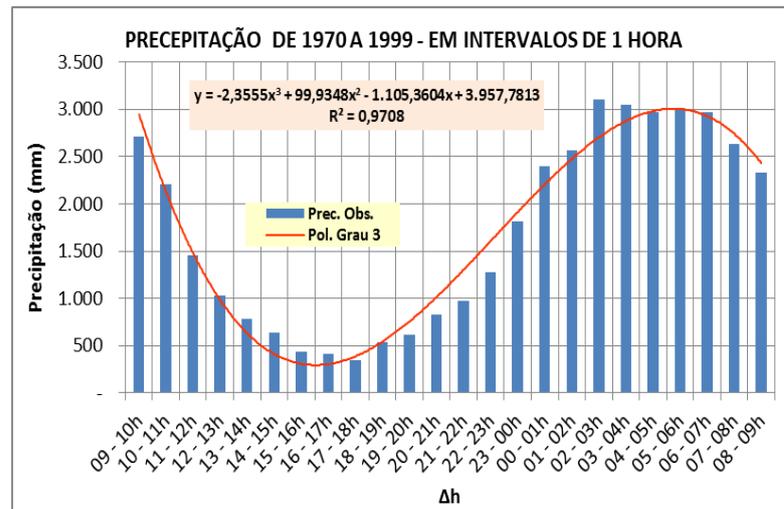
Como já mencionado, o mês de março é o que apresenta a maior média mensal, enquanto novembro a menor. A chuva observada mostra um crescimento no período que vai de janeiro a março, seguido de um decréscimo no período de abril a julho. Em seguida, tem-se o período tradicionalmente seco, que se estende de agosto a novembro, seguido das chuvas da pré-estação, em dezembro.

**Gráfico 4 – Precipitação total de 30 anos, em intervalos de 3 horas.**



Fonte: Elaborado pelo autor.

**Gráfico 5 – Precipitação total de 30 anos em intervalos de 1 hora.**

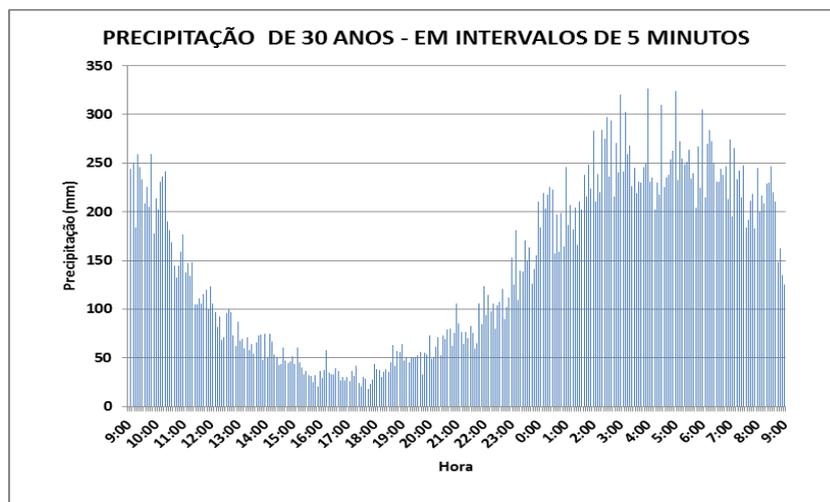


Fonte: Elaborado pelo autor.

As linhas de tendência Polinomial do 3º Grau aplicadas aos dados observados apresentam excelentes coeficientes de determinação, com valores de  $r^2$  iguais a 0,9021, 0,9786, 0,9708 para os dados observados acumulados em intervalos mensais, 3 horas, 1 hora, respectivamente (Gráficos 3, 4 e 5).

O Gráfico 6 exibe a variabilidade das precipitações diárias, acumulada em 30 anos, de 1970 a 1999, a cada 5 minutos, e revela um comportamento tendenciosamente cíclico para a chuva diária no Município de Fortaleza. Este é o foco da pesquisa.

**Gráfico 6 – Precipitação total de 30 anos, em intervalos de 5 minutos.**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Examinando-se atentamente o Gráfico 6 é possível se concluir que no final da tarde, entre 17 e 18 horas, ocorrem as mínimas precipitações no município de Fortaleza. A partir desse horário, as precipitações se tornam crescentes até atingir o máximo, em torno das 4 horas da manhã. Na sequência, a precipitação começa a decrescer, voltando ao ponto mínimo, entre 17 e 18 horas.

O que se pesquisa nesse trabalho são modelos matemáticos que descrevam de forma o mais fiel possível, o comportamento explicitado para a ocorrência de chuvas no município de Fortaleza.

### 3.4 Métodos

#### 3.4.1 Modelo polinomial acíclico

Com esse modelo, busca-se um polinômio do 3º grau,  $P(h)$ , que ajuste o total das precipitações diária, acumuladas em intervalos de cinco minutos, durante um período de 30 anos (1970-1999).

Seja o polinômio:  $P(h) = Ah^3 + Bh^2 + Ch + D$ .

Os coeficientes  $A$ ,  $B$ ,  $C$  e  $D$  de  $P(h)$ , são determinados pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) (PRESS *et al.*, 1989; STORCH; ZWIERS, 2000).

O método consiste basicamente em se minimizar a soma dos quadrados dos erros, sendo este definido como a diferença entre o valor estimado  $P(h_i)$  e o valor observado  $P_i$ :

Erro:  $\varepsilon_i = P(h_i) - P_i$

Erro ao quadrado:  $\varepsilon^2 = (P(h_i) - P_i)^2$

Seja  $Z = \sum_1^n \varepsilon_i^2 = \sum_1^n (Ah_i^3 + Bh_i^2 + Ch_i + D - P_i)^2$

Para que  $Z$  seja mínimo é necessário que as derivadas parciais de  $Z$  com relação aos coeficientes  $A$ ,  $B$ ,  $C$  e  $D$  sejam todas iguais a zero, isto é:

$$\frac{\partial Z}{\partial A} = \frac{\partial Z}{\partial B} = \frac{\partial Z}{\partial C} = \frac{\partial Z}{\partial D} = 0$$

A imposição dessas condições conduz ao seguinte sistema de equações:

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n h^3 & \sum_{i=1}^n h^2 & \sum_{i=1}^n h & n \\ \sum_{i=1}^n h^4 & \sum_{i=1}^n h^3 & \sum_{i=1}^n h^2 & \sum_{i=1}^n h \\ \sum_{i=1}^n h^5 & \sum_{i=1}^n h^4 & \sum_{i=1}^n h^3 & \sum_{i=1}^n h^2 \\ \sum_{i=1}^n h^6 & \sum_{i=1}^n h^5 & \sum_{i=1}^n h^4 & \sum_{i=1}^n h^3 \end{pmatrix} x \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n P(h) \\ \sum_{i=1}^n P(h).h \\ \sum_{i=1}^n P(h).h^2 \\ \sum_{i=1}^n P(h).h^3 \end{pmatrix}$$

$P(h)$  é um polinômio comum. O termo acíclico aqui utilizado visa tão somente diferenciar os polinômios considerados nessa seção daqueles da próxima seção, os quais são obtidos ao se impor ao polinômio do terceiro grau uma condição que o torna cíclico, no sentido de que seus valores se igualam nos pontos extremos do intervalo de um dia.

### 3.4.2 Modelo polinomial cíclico

O Modelo Polinomial Cíclico apresenta o inconveniente de estimar valores diferentes nos extremos do intervalo de um dia, isto é,  $P(h_1) \neq P(h_1+24h)$ . Essa descontinuidade contraria a constatação da natureza cíclica do fenômeno estudado. Para contornar esse problema, é inserido no polinômio do 3º grau (1) a condição  $P(h_1) = P(h_1+24h)$ , impondo, desse modo, a continuidade do fenômeno no intervalo de um dia. O polinômio assim obtido, conforme mostrado a seguir, é referenciado por Polinômio Cíclico.

Será considerada, portanto, uma função polinomial do 3º grau,  $P(h)$ , sujeita à condição  $P(h_2) = P(h_1)$ , com  $h_2 = h_1 + 24h$ .

$$\text{Seja: } P(h) = Ah^3 + Bh^2 + Ch + D \quad (1)$$

Assim,

$$P(h_1) = Ah_1^3 + Bh_1^2 + Ch_1 + D$$

$$P(h_2) = Ah_2^3 + Bh_2^2 + Ch_2 + D$$

Sob a condição  $P(h_2) = P(h_1)$ , tem-se:

$$Ah_2^3 + Bh_2^2 + Ch_2 + D = Ah_1^3 + Bh_1^2 + Ch_1 + D$$

$$A[h_2^3 - h_1^3] + B[h_2^2 - h_1^2] = C[h_1 - h_2]$$

$$\text{Portanto, } C = \frac{A[h_2^3 - h_1^3]}{[h_1 - h_2]} + \frac{B[h_2^2 - h_1^2]}{[h_1 - h_2]}$$

$$\text{Fazendo } \alpha = \frac{[h_2^3 - h_1^3]}{[h_1 - h_2]} \text{ e } \beta = \frac{[h_2^2 - h_1^2]}{[h_1 - h_2]}, \text{ tem-se: } C = \alpha A + \beta B$$

$$\text{Inserindo } C \text{ em (1), obtém-se: } P(h) = Ah^3 + Bh^2 + (\alpha A + \beta B)h + D$$

$$\text{Portanto, o polinômio cíclico é dado por: } P(h) = A[h^3 + \alpha h] + B[h^2 + \beta h] + D$$

$$\text{Fazendo } x = (h^3 + \alpha h) \text{ e } y = (h^2 + \beta h), \text{ tem-se: } P(h) = Ax + By + D \quad (2)$$

A aplicação do MMQ a função (2) define o sistema a seguir, que permite determinar as constantes A, B e D que minimizam a soma dos quadrados dos erros.

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n y_i & n \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i y_i & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i & \sum_{i=1}^n y_i^2 & \sum_{i=1}^n y_i \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} A \\ B \\ D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n P(h_i) \\ \sum_{i=1}^n P(h_i) x_i \\ \sum_{i=1}^n P(h_i) y_i \end{pmatrix} \quad (3)$$

Uma vez conhecidos A, B e D, determina-se a constante  $C = \alpha A + \beta B$  e desse modo, o Polinômio Cíclico do 3º Grau:  $P(h) = Ah^3 + Bh^2 + Ch + D$ .

### 3.4.3 Modelo senoidal I

Dados n pares  $(X_i, Y_i)$  de valores, sendo X a hora e Y a precipitação observada, deseja-se ajustar uma função simples, da forma:

$$S(X_i) = A \cdot \text{sen}(b\pi X_i) + C,$$

com A e C constantes a serem determinadas e b uma constante dada.

Assim, o valor estimado de  $S_i$ , correspondente a  $X_i$ , é dado por:

$$S(X_i) = A \cdot \text{sen}(b\pi X_i) + C, \text{ com erro } \varepsilon_i = (Y_i - S_i) = Y_i - A \cdot \text{sen}(b\pi X_i) - C.$$

Seja Z a soma dos quadrados dos erros:

$$Z = \sum_1^n \varepsilon_i^2 = \sum_1^n [Y_i - A.\text{sen}(b\pi X_i) - C]^2$$

Pelo MMQ, as constantes A e C são determinadas ao se impor a condição de que a soma dos quadrados dos erros seja mínima, isto é:  $\frac{\partial Z}{\partial C} = \frac{\partial Z}{\partial A} = 0$

$$\frac{\partial Z}{\partial C} = \sum_1^n 2[Y_i - A.\text{sen}(b\pi X_i) - C](-1) = 0 \quad (4)$$

Assim,

$$\sum_{i=1}^n [Y_i - A\text{sen}(bX_i) - C] = 0$$

$$\sum_{i=1}^n [Y_i - A\text{sen}(bX_i)] = nC$$

Dividindo por n, tem-se:

$$C = \bar{Y}_i - \overline{A\text{sen}(bX_i)} \quad (5)$$

Notação:  $\bar{Y}_i$  indica a média de Y, enquanto  $\overline{\text{sen}(bX_i)}$  a média de  $\text{sen}(bX_i)$ .

$$\frac{\partial Z}{\partial A} = \sum_1^n 2[Y_i - A.\text{sen}(b\pi X_i) - C].[-\text{sen}(b\pi X_i)] = 0 \quad (6)$$

Desse modo,

$$\sum_{i=1}^n [Y_i - A\text{sen}(bX_i) - C] * \text{sen}(bX_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n [Y_i \text{sen}(bX_i) - A\text{sen}(bX_i) * \text{sen}(bX_i) - C\text{sen}(bX_i)] = 0$$

Substituindo C pelo valor obtido em (5), tem-se:

$$\sum_{i=1}^n [Y_i * \text{sen}(bX_i) - A\text{sen}(bX_i) * \text{sen}(bX_i) - [\bar{Y}_i - \overline{A\text{sen}(bX_i)}] * \text{sen}(bX_i)] = 0$$

$$\sum_{i=1}^n [Y_i * \text{sen}(bX_i) - A\text{sen}^2(bX_i) - \bar{Y}_i * \text{sen}(bX_i) + \overline{A\text{sen}(bX_i)} * \text{sen}(bX_i)] = 0$$

Dividindo por n, tem-se:

$$\overline{Y_i * \text{sen}(bX_i)} - \overline{A \text{sen}^2(bX_i)} - \overline{Y_i * \text{sen}(bX_i)} + A[\overline{\text{sen}(bX_i)}]^2 = 0$$

$$\overline{Y_i * \text{sen}(bX_i)} - \overline{Y_i * \text{sen}(bX_i)} + A[(\overline{\text{sen}(bX_i)})^2 - \overline{\text{sen}^2(bX_i)}] = 0$$

$$\overline{Y_i * \text{sen}(bX_i)} - \overline{Y_i * \text{sen}(bX_i)} = -A[(\overline{\text{sen}(bX)})^2 + \overline{\text{sen}^2(bX_i)}]$$

$$A(\overline{\text{sen}^2(bX_i)} - A[(\overline{\text{sen}(bX_i)})^2] = \overline{Y_i \cdot \text{sen}(bX_i)} - \overline{Y_i \cdot \text{sen}(bX_i)}$$

Portanto, 
$$A = \frac{\overline{Y_i \cdot \text{sen}(X_i)} - \overline{Y_i \cdot \text{sen}(bX_i)}}{\overline{\text{sen}^2(bX_i)} - [(\overline{\text{sen}(bX_i)})^2]}$$
 e

$$C = \overline{Y_i} - \overline{A \text{sen}(bX_i)}$$

Por fim, fazendo  $b=2\pi$ , os coeficientes A e C do modelo Senoidal I são determinados:

A solução analítica para o sistema formado pela Eq.4 e Eq.6, é dada por (7) e (8).

$$A = \frac{\overline{Y_i \cdot \text{sen}(2\pi X_i)} - \overline{Y_i \cdot \text{sen}(2\pi X_i)}}{\overline{\text{sen}^2(2\pi X_i)} - (\overline{\text{sen}(2\pi X_i)})^2} \quad (7)$$

$$C = \overline{Y_i} - \overline{A \text{sen}(2\pi X_i)} \quad (8)$$

(Observação: a notação  $\overline{W}$  indica a média dos valores de W).

### 3.4.4 Modelo senoidal II

Como alternativa ao modelo senoidal I, buscou-se uma função formada pela combinação de senos e cossenos, da forma  $S(h) = A \cdot \text{sen}(2\pi h) + B \cdot \text{cos}(2\pi h) + C$ .

Uma vez conhecidos n pares  $(X_i, Y_i)$  de valores (X=hora e Y=precipitação), quer-se ajustar aos dados uma função  $S(X_i) = A \cdot \text{sen}(2\pi X_i) + B \cdot \text{cos}(2\pi X_i) + C$ , sendo A, B e C constantes a serem determinadas.

O valor estimado ( $S_i$ ), o erro ( $\varepsilon_i$ ) e a soma dos quadrados dos erros (Z) são dados por:

$$S_i = A \cdot \text{sen}(2\pi X_i) + B \cdot \text{cos}(2\pi X_i) + C$$

$$\varepsilon_i = (Y_i - S_i) = Y_i - A \cdot \text{sen}(2\pi X_i) - B \cdot \text{cos}(2\pi X_i) - C$$

$$Z = \sum_1^n \varepsilon_i^2 = \sum_1^n [Y_i - A \cdot \text{sen}(2\pi X_i) - B \cdot \text{cos}(2\pi X_i) - C]^2$$

As constantes A, B e C são determinadas pelo MMQ, com a solução do sistema Eq.11, formado a partir de Eq.8, Eq.9 e Eq.10.

$$\frac{\partial Z}{\partial C} = \sum_{i=1}^n 2[Y_i - A \cdot \text{sen}(2\pi X_i) - B \cdot \text{cos}(2\pi X_i) - C](-1) = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial B} = \sum_{i=1}^n 2[Y_i - A \cdot \text{sen}(2\pi X_i) - B \cdot \text{cos}(2\pi X_i) - C](-\text{cos}(2\pi X_i)) = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial A} = \sum_{i=1}^n 2[Y_i - A \cdot \text{sen}(2\pi X_i) - B \cdot \text{cos}(2\pi X_i) - C](-\text{sen}(2\pi X_i)) = 0 \quad (11)$$

Desse modo, A, B e C são determinadas ao se resolver o seguinte sistema:

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n \text{sen}(2\pi X_i) & \sum_{i=1}^n \text{cos}(2\pi X_i) & n \\ \sum_{i=1}^n \text{sen}(2\pi X_i) \text{cos}(2\pi X_i) & \sum_{i=1}^n \text{cos}(2\pi X_i) \text{cos}(2\pi X_i) & \sum_{i=1}^n \text{cos}(2\pi X_i) \\ \sum_{i=1}^n \text{sen}(2\pi X_i) \text{sen}(2\pi X_i) & \sum_{i=1}^n \text{cos}(2\pi X_i) \text{sen}(2\pi X_i) & \sum_{i=1}^n \text{sen}(2\pi X_i) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n Y_i \\ \sum_{i=1}^n Y_i \text{cos}(2\pi X_i) \\ \sum_{i=1}^n Y_i \text{sen}(2\pi X_i) \end{pmatrix} \quad (12)$$

### 3.4.5 Modelo composto

Por fim, pesquisou-se um modelo composto de polinômio e senoide. No caso foi considerado a seguinte função F(h) formada pela soma do Polinômio Cíclico com a Senoide II:

$$F(h) = A_1[h^3 + \alpha h] + B_1[h^2 + \beta h] + A_2 \text{sen}(2\pi h) + B_2 \text{cos}(2\pi h) + E$$

Os coeficientes A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub> e E da função são determinados ao se resolver o sistema a seguir, onde x=h<sup>3</sup>- αh, y=h<sup>2</sup>- βh, z=sen(2πh) e w=cos(2πh):

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n y_i & \sum_{i=1}^n z_i & \sum_{i=1}^n w_i & n \\ \sum_{i=1}^n x_i \cdot x_i & \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i & \sum_{i=1}^n x_i \cdot z_i & \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n y_i \cdot x_i & \sum_{i=1}^n y_i \cdot y_i & \sum_{i=1}^n y_i \cdot z_i & \sum_{i=1}^n y_i \cdot w_i & \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n z_i \cdot x_i & \sum_{i=1}^n z_i \cdot y_i & \sum_{i=1}^n z_i \cdot z_i & \sum_{i=1}^n z_i \cdot w_i & \sum_{i=1}^n z_i \\ \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i & \sum_{i=1}^n w_i \cdot y_i & \sum_{i=1}^n w_i \cdot z_i & \sum_{i=1}^n w_i \cdot w_i & \sum_{i=1}^n w_i \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} A_1 \\ B_1 \\ A_2 \\ B_2 \\ E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n P(h_i) \\ \sum_{i=1}^n P(h_i) \cdot x_i \\ \sum_{i=1}^n P(h_i) \cdot y_i \\ \sum_{i=1}^n P(h_i) \cdot z_i \\ \sum_{i=1}^n P(h_i) \cdot w_i \end{pmatrix}$$

### 3.5 Duração do dia e insolação

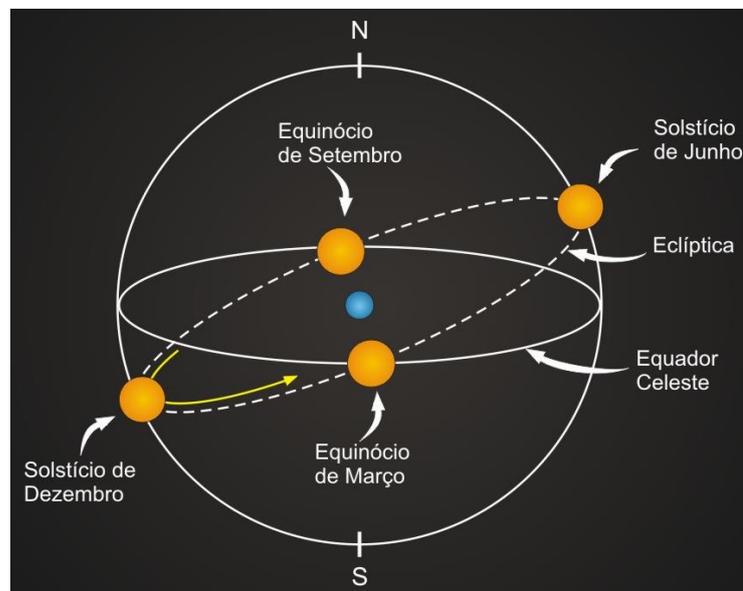
A energia proveniente do Sol é uma das principais variáveis que interfere na regulação do ciclo hidrológico, e, como consequência, da vida no Planeta Terra.

Na meteorologia os movimentos absolutos da Terra são praticamente de pouca importância, quando comparado com o seu movimento relativo em torno do Sol.

O Sol permanece parado no equador celestial, enquanto a Terra realiza um movimento helicoidal em torno do Sol e ao mesmo tempo um movimento rotacional em torno do seu próprio eixo. O Sol e a Terra são os focos de uma elipse que definem a órbita terrestre, tornando-a bidimensional no plano da eclíptica (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A figura 8 ilustra os movimentos da Terra em torno do Sol. Nela se observa dois planos, um horizontal, que indica o equador celestial, onde o Sol permanece imóvel, e o outro, inclinado, o plano da eclíptica, no qual a Terra executa seu movimento de translação em torno do Sol. O ângulo formado por esses dois planos é de  $23^{\circ}27'$ .

**Figura 8 - Movimentos da Terra na Eclíptica em torno do Sol.**



Fonte: Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br>> Acesso em: 12 abr. 2015.

Concomitante ao movimento de translação, a Terra gira em torno do próprio eixo. Em seu movimento de rotação, a Terra executa uma volta completa a cada 24h 3min 56,5555s.

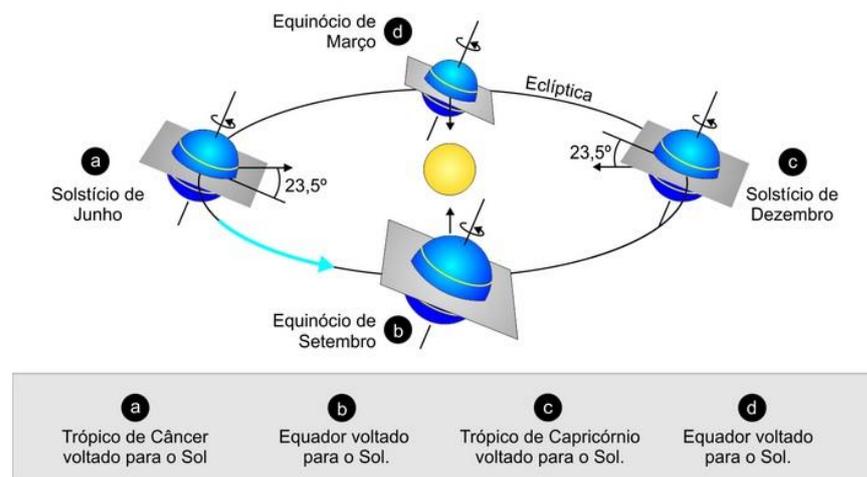
A inclinação entre os planos da eclíptica e o equador celeste faz com que um observador situado na Terra veja o movimento aparente do Sol na abóbada celeste.

Uma vez que o ângulo de inclinação do eixo da Terra é igual ao ângulo entre os planos da eclíptica e o equador celeste, um observador no centro da Terra e movendo-se junto com ela, a cada dia, na mesma hora, observaria o Sol em uma posição diferente, ou seja, a declinação do Sol muda a cada instante, em decorrência da trajetória helicoidal da Terra em torno do Sol.

A declinação do Sol varia desde  $-23^{\circ}27'$ , em 21 de dezembro, até  $+23^{\circ}27'$ , em 22 de junho. A partir deste ponto a declinação começa a diminuir, retornando ao ponto inicial  $-23^{\circ}27'$ . Esse movimento em gangorra se repete a cada 365,2422 dias solares médios (Anexo B).

Durante a trajetória da Terra em torno do Sol, quatro momentos se destacam: os Solstícios de dezembro e junho, e os Equinócios de março e setembro (figura 9).

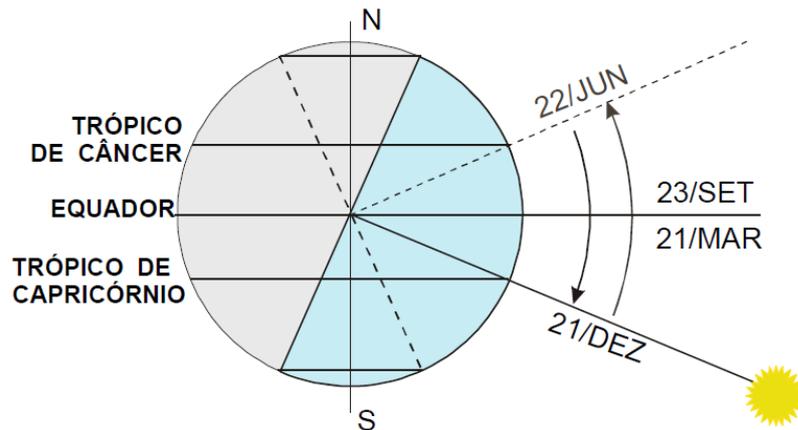
**Figura 9 - Movimento da Terra em torno Sol.**



Fonte: Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br>> Acesso em: 12 abr. 2015.

A Figura 10 ilustra o movimento aparente do Sol entre os meses de dezembro/junho e junho/dezembro.

**Figura 10 - Movimento aparente do Sol entre os meses de dezembro e junho.**



Fonte: Varejão-Silva (2006).

Na sua trajetória aparente em relação à Terra, o Sol parte de um ponto no Hemisfério Sul (HS) em direção ao Hemisfério Norte (HN), entre 21 de dezembro e 22 de junho. Nessas datas, conhecidas como Solstícios de dezembro e de junho, os raios solares incidem perpendicularmente sobre os trópicos de Câncer ou Capricórnio, e determinam um desequilíbrio entre a duração dos dias e das noites nos hemisférios Norte e Sul.

No percurso de ida, o Sol cruza o Equador em direção ao Hemisfério Norte no dia 21 de março, e no retorno, em direção ao Hemisfério Sul, em 23 de setembro. Nessas datas, conhecidas como Equinócios, os raios solares incidem perpendicularmente na linha do equador, indicando haver uma igualdade entre a duração do dia e da noite nos dois hemisférios.

As datas 21 de março e 23 de setembro estabelecem, respectivamente, o fim da primavera no HN e o início do outono no HS. Em 27 de setembro o fim do outono no HN e da primavera no HS.

A duração do dia é o intervalo de tempo transcorrido entre o nascer e o ocaso do Sol. Para se obter a duração de um determinado dia, calcula-se o instante do ocaso e o de nascer do Sol, e subtrai-se um do outro. O resultado é o tempo máximo em que o Sol pode aparecer visível no céu, naquele dia.

Quanto à insolação em uma dada localidade, esta é o tempo em que o Sol, do nascer ao ocaso, permanece visível no céu, para um observador situado na superfície da terra, isto é, o número de horas em que o disco solar não esteve oculto por nuvens

ou fenômenos atmosféricos de qualquer natureza (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Em muitas aplicações, o conhecimento do valor da insolação é suficiente, abstraindo-se da energia total incidente em decorrência desta.

O cálculo da duração do dia pode ser feito de forma simples, desprezando-se a presença da atmosfera, ou de forma real, levando-se em consideração a atmosfera.

Usando-se a relação entre a altura de um astro e o ângulo horário tem-se:

$$\text{sen}(h) = \text{sen}(\varphi) * \text{sen}(\delta) + \text{cos}(\varphi) * \text{cos}(\delta) * \text{cos}(H)$$

Sendo:

$\phi \rightarrow$  a latitude do local;

$\delta \rightarrow$  a declinação do Sol; e

$H \rightarrow$  o ângulo horário.

Desprezando-se a atmosfera, a insolação máxima é obtida ao se fazer  $h = 0$  (MOREIRA, 2012):

$$\Delta H = 2 \arccos(-\tan(\varphi) * \tan(\delta))$$

Levando-se em conta a atmosfera e tendo em vista que estamos interessados no Nascer/Ocaso do Sol, por efeito de refração, deve-se considera  $h = -50'$  (dg - dip na língua inglesa).

Dessa forma:

$$\Delta H = 2 \arccos\left(\frac{\text{sen}(d_g) - \text{sen}(\varphi) * \text{sen}(\delta)}{\text{cos}(\varphi) * \text{cos}(\delta)}\right)$$

Considerando o dia a dia, deve-se obter  $\delta$ , a variação diária da declinação do Sol:

$$\delta = \arcseno(\text{sen}(\varepsilon) * \text{sen}(l))$$

O valor de  $\varepsilon$ , a obliquidade da eclíptica é  $23^{\circ}26'$ . O valor de  $l$ , a longitude na eclíptica do Sol, em graus, varia diariamente, a contar do equinócio da primavera, onde  $l = 0.9856D$ , com  $D = 0$  quando estamos no equinócio, e  $D=365,25$  quando a ele voltamos.

Sumarizando, a insolação máxima ou duração do dia a dia em um local de latitude  $\phi$  e dada por:

$$\Delta H(\phi, D) = 2 \arccos \left( \frac{\sin(d_g) - \sin(\phi) * \sin(\varepsilon) + \sin(0,9856D)}{\cos(\phi) * \sqrt{1 - \sin^2(\varepsilon) + \sin^2(0,9856D)}} \right)$$

Quando se trata de uma localidade situada acima do nível do mar é necessário se fazer uma correção no valor do dip ( $d_g$ ), ao qual se deve acrescentar a parcela  $d_A$  correspondente ao efeito da altitude:

$$d_A = \sqrt{\frac{2h}{\frac{R_{\oplus}}{(1-k)}}}$$

Onde:

$h \rightarrow$  é a altitude do local em km;

$R_{\oplus} \rightarrow$  o raio da terra; e

$k \rightarrow$  um número que depende das condições meteorológicas do local.

No geral adota-se  $k = 0.13$  e o raio padrão da terra (6378km).

Os dados de duração do dia utilizados nesta pesquisa, para o município de Fortaleza, foram calculados a partir da tabela de crepúsculos obtida junto ao Anuário Interativo do Observatório Nacional em de 2014 (Anexo E).

Como a duração do dia, ou o fotoperíodo, é o número de horas transcorrido desde o nascer ao ocaso do Sol, pode-se dizer que este é o tempo máximo que o Sol pode aparecer visível para um observador na Terra, durante o período de um dia.

Na Tabela 5 tem-se a duração do dia no início (dia 1), meio (dia 15) e fim de cada mês, os quais indicam a insolação máxima possível nos dias referenciados. Estes valores são correlacionados com o  $\Delta h$  de pico dos modelos polinomiais cíclico mensais.

Também foi examinada a correlação entre a precipitação observada e insolação registrada no posto do Campus do Pici. Optou-se pelos registros do último dia do mês, de modo a estar de acordo com o total da precipitação mensal observada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando-se os dados de precipitação registrados no posto pluviométrico da estação meteorológica da Universidade Federal do Ceará, situada no Campus do Pici, no município de Fortaleza, Ceará, em intervalos de cinco minutos, e totalizados no período de 30 anos, foram determinadas curvas que modelam o ciclo diário da precipitação ao longo do ano, no município de Fortaleza.

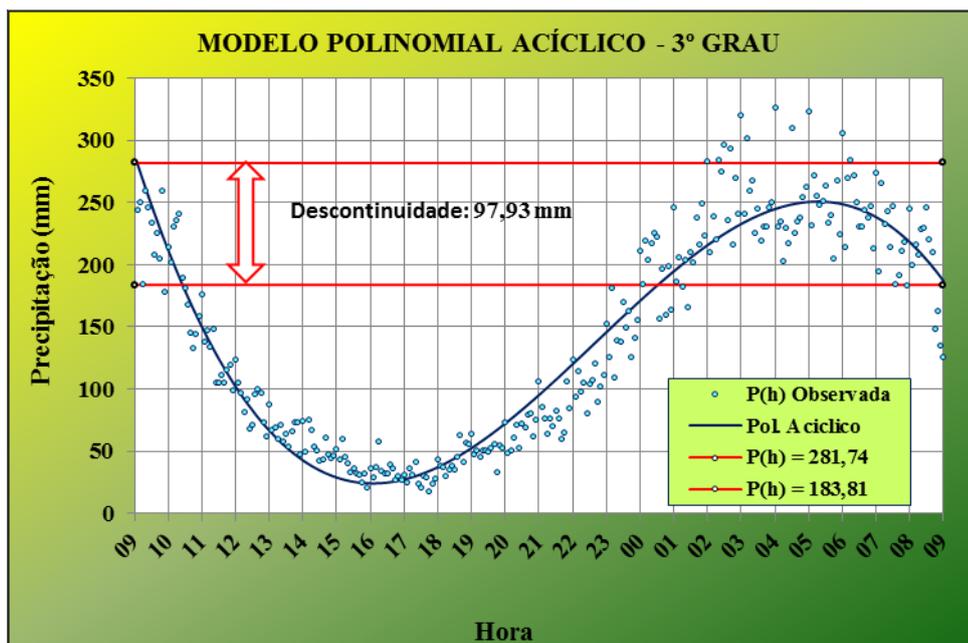
### 4.1 Modelo polinomial acíclico

Para esse modelo, o ajustamento dos dados pelo MMQ determina o polinômio do 3º grau a seguir, o qual tem coeficiente de determinação  $r^2=0,9118$ :

$$P(h) = -2718,7703h^3 + 7707,3141h^2 - 6665,2231h + 1847,7283$$

Os coeficientes do polinômio foram obtidos diretamente a partir dos dados de precipitação registrados, por meio do uso da opção Adicionar Linha de Tendência do *Microsoft Office Home and Student 2007*.

Gráfico 7 – Polinômio acíclico do 3º grau



$$P(h) = -2718,7703h^3 + 7707,3141h^2 - 6665,2231h + 1847,7283 \quad (r^2=0,9118)$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de pico mínimo e máximo (pontos com derivadas  $P'(h) = 0$ ) da precipitação estimada por  $P(h)$ , ocorrem às 16h05 (24,14mm) e 5h15 (250,84mm), respectivamente, com intervalo de 13 horas e 10 minutos entre as ocorrências. Nos extremos do intervalo de 24 horas, observa-se uma descontinuidade:  $P(09:05)=260\text{mm}$  e  $P(09:05+24\text{h})=183,81\text{mm}$ , conforme ilustrado no gráfico 7.

Como é possível observar, apesar do excelente coeficiente de determinação, o polinômio em questão tem o inconveniente de estimar o valor da precipitação em  $h_1=09\text{h}05$  muito diferente daquele estimado para  $h_2=h_1+24\text{horas}$ , qual seja, 09h05 do dia seguinte, evidenciando a descontinuidade dos valores estimados nos pontos extremos do intervalo de um dia:

$$P(h_1) = 281,74\text{mm} \quad P(h_2) = P(h_1 + 24\text{h}) = 183,81\text{mm}$$

$$P(h_1) - P(h_2) = 97,93 \text{ mm (descontinuidade)}$$

## 4.2 Modelo polinomial cíclico

A aplicação da metodologia descrita em 3.4.2 possibilita a obtenção do polinômio cíclico que ajusta os dados das precipitações observadas.

Assim:  $h_1 = 9:05 \text{ h}$  e  $h_2 = h_1 + 24 \text{ h}$ ,

$$\alpha = -2,5651403$$

$$\beta = -1,7569444,$$

$$x = (h^3 - 2,5651403h)$$

$$y = (h^2 - 1,7569444h).$$

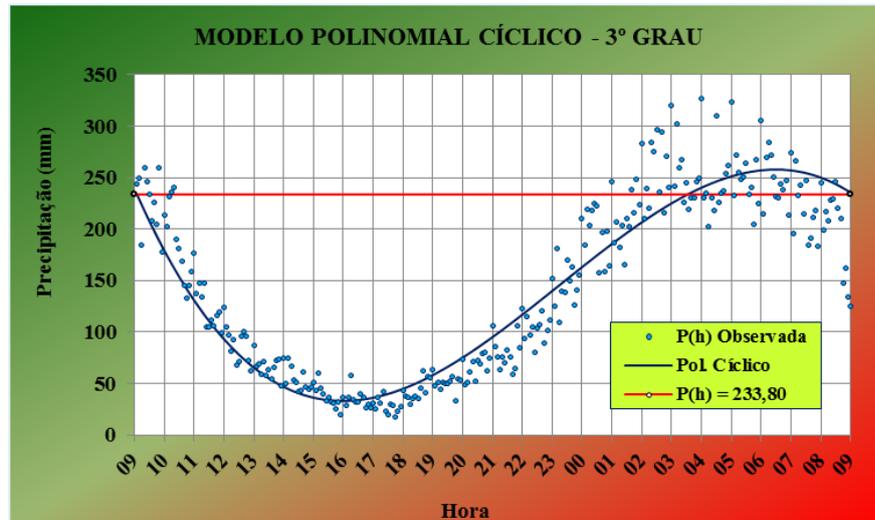
$$C = -2,5651403*A - 1,7569444*B = 5160,6963.$$

$$P(h) = A[h^3 - 2,5651403h] + B[h^2 - 1,7569444h] + D$$

Os coeficientes  $A = -2033,3162$ ,  $B = 5905,9567$  e  $D = 1451,2310$ , são obtidos a partir de Eq.3. Assim,  $C = -2,5651403*A - 1,7569444*B = -5160,6963$ .

O Polinômio pesquisado tem  $r^2 = 0,8798$  e  $P(h_1) = P(h_2)$ . Os pico de mínima e máxima precipitação estimados por  $P(h)$  ocorrem às 16h00 (33,17mm) e 6h30m (257,85mm), respectivamente, com um intervalo de 14 horas e 30 minutos entre as ocorrências (Gráfico 8).

Gráfico 8 – Polinômio cíclico do 3º grau.



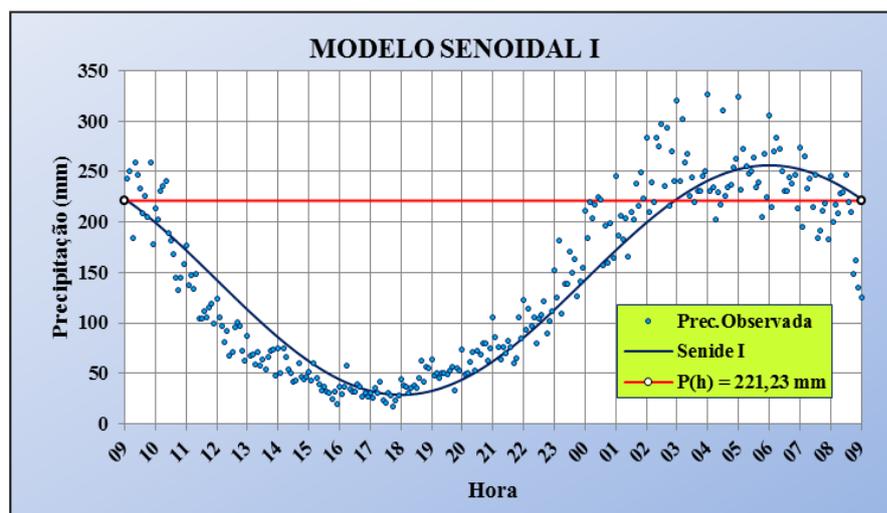
$$P(h) = -2033,3162h^3 + 5905,9567h^2 - 5160,6963h + 1451,2310 \quad (r^2=0,8798)$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.3 Modelo senoidal I

Os coeficientes do Modelo Senoidal I são diretamente obtidos da Eq.6 e Eq.7. A senoide determinada, com  $r^2=0,8641$  é a seguinte (Gráfico 9):

Gráfico 9 – Modelo senoidal I.



$$S(h) = 113,7423 * \text{sen}(2\pi h) + 142,5764 \quad (r^2 = 0,8641)$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

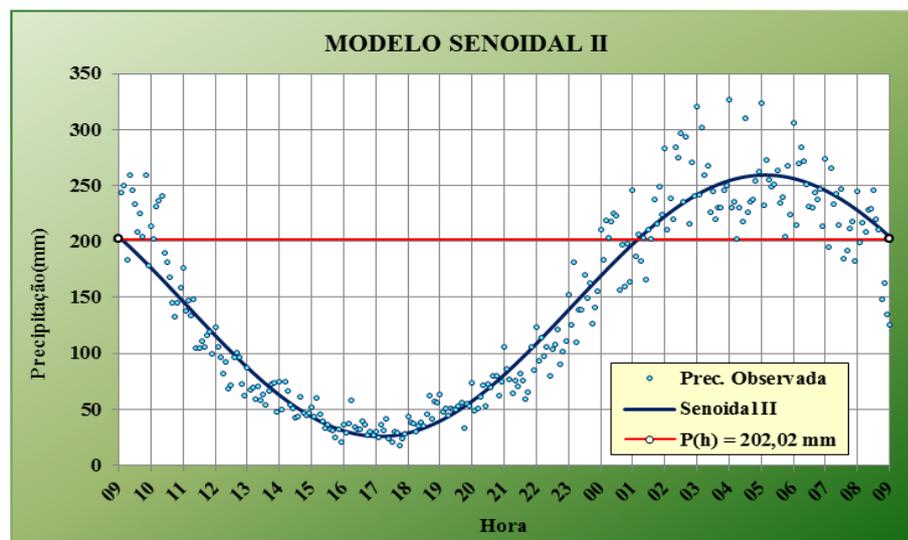
Os valores de pico máximo e mínimo da precipitação estimada por  $S(h)$  ocorrem às 06h00min (256,32mm) e 18h00min (28,83 mm), respectivamente, com intervalo de 12horas entre os picos de mínimo e máximo.

A função  $S(h)$  tem o predicado de ser muito simples, além da vantagem de reproduzir naturalmente a característica cíclica do fenômeno estudado, conforme pode ser visto na figura 4. Sua desvantagem, em relação aos modelos polinomiais, está no fato do coeficiente de determinação ( $r^2=0,8641$ ) ser inferior ao dos modelos polinomial cíclico e acíclico.

#### 4.4 Modelo senoidal II

Os coeficientes do modelo senoidal II, determinados a partir da Equação 11, são:  $A = 113,7422$ ,  $B = 26,5895$  e  $C = 142,5764$ , com  $r^2=0,9113$ . O Gráfico 10 mostra a senoide obtida:

Gráfico 10 – Modelo senoidal II.



$$S(h) = 113,7422 * \text{sen}(2\pi h) + 26,5895 \cos(2\pi h) + 142,5764$$

$$(r^2 = 0,9113)$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

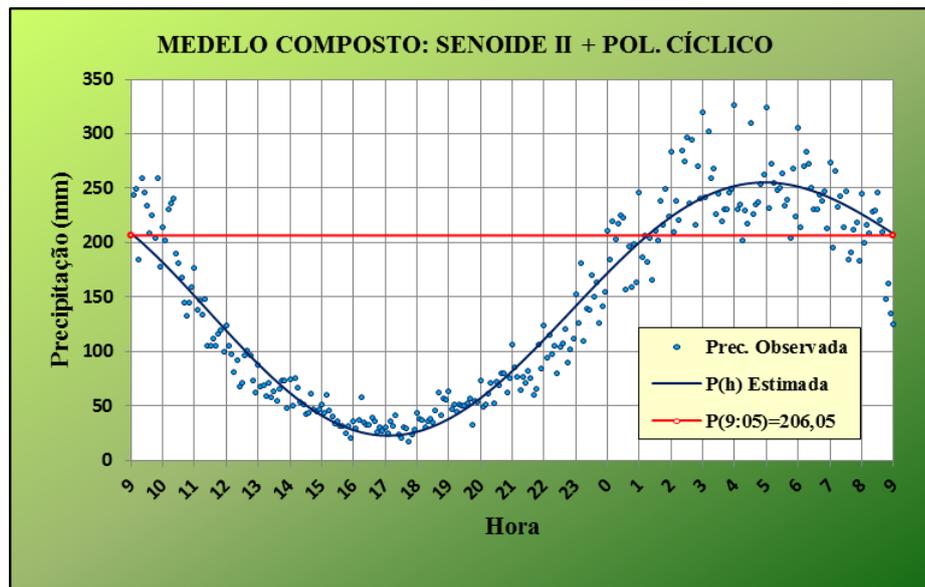
Os valores do pico máximo e mínimo da precipitação estimada por  $S(h)$  ocorrem às 05h05min (259,38 mm) e 17h05mm (25,77mm), respectivamente, com um intervalo de 12h00min entre as ocorrências.

O modelo Senoidal II reproduz a característica cíclica do fenômeno estudado, tem o coeficiente de determinação ( $r^2=0,9113$ ) superior ao dos modelos Senoidal I ( $r^2=0,8641$ ) e Polinomial Cíclico ( $r^2=0,8798$ ), e praticamente igual ao  $r^2$  do modelo Polinomial Acíclico ( $r^2=0,9118$ ).

#### 4.5 Modelo composto

O modelo obtido da soma do Polinômio Cíclico com a Senoidal II mantém a pretendida característica cíclica do modelo pesquisado. Os coeficientes do modelo foram obtidos pelo MMQ. O modelo apresenta um excelente coeficiente de determinação,  $r^2=0,9125$ , e tem gráfico conforme o Gráfico 11.

Gráfico 11 – Modelo composto: polinômio cíclico + senoide II.



$$F(h) = 569,5570h^3 - 1431,7199h^2 + 1054,4586h + 128,7903\text{sen}(2\pi h) + 50,7155\text{cos}(2\pi h) - 70,7530$$

$$(r^2 = 0,9125)$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de pico máximo e mínimo da precipitação estimada por  $F(h)$  ocorrem às 04h55min (255,35mm) e 17h:05min. (22,67mm), respectivamente, com intervalo de 11h:50min entre os picos mínimo e máximo.

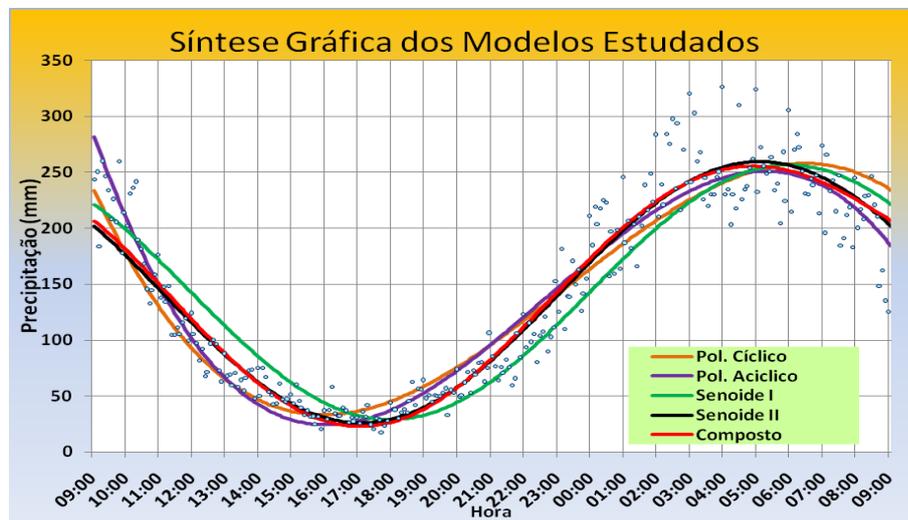
A Tabela 3 a seguir sumariza as precipitações máximas e mínimas estimadas pelos modelos, a hora de ocorrência e o intervalo entre os picos mínimo e máximo:  $P(h)_{\max} - P(h)_{\min}$ .

Tabela 3 - Precipitação máxima x mínima e hora de ocorrência.

MODELO	Precipitação Mínima		Precipitação Máxima		$\Delta h$ de Pico P(h)max – P(h)min
	Hora	P(h)	Hora	P(h)	
	Polinômio Acíclico	16:05	24,14	05:15	250,84
Polinômio Cíclico	16:00	33,17	06:30	257,85	14:30
Senoidal I	18:00	28,83	06:00	256,32	12:00
Senoidal II	17:05	25,77	05:05	259,38	12:00
Polinômio Cíclico+ Senoidal II	17:05	22,67	04:55	255,35	11:50

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 12 – Síntese gráfica dos modelos estudados: polinomial, senoidal e composto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Gráfico 12 sintetiza a variabilidade todos os modelos estudados: polinomial cíclico e acíclico, senoidal I e II e o modelo composto de polinômio e senoide. O gráfico mostra que as precipitações mínima ocorre entre 16h00min e 18h00min, enquanto a máxima entre 04h55min e 06h30min horas.

Considerando que para os modelos estritamente senoidais o valor  $\Delta h$  de Pico não é variável, utilizou-se o modelo polinomial cíclico para se estudar a possível correlação existente entre o  $\Delta h$  de Pico e a duração do dia.

#### 4.6 Modelos polinomial cíclico mensal

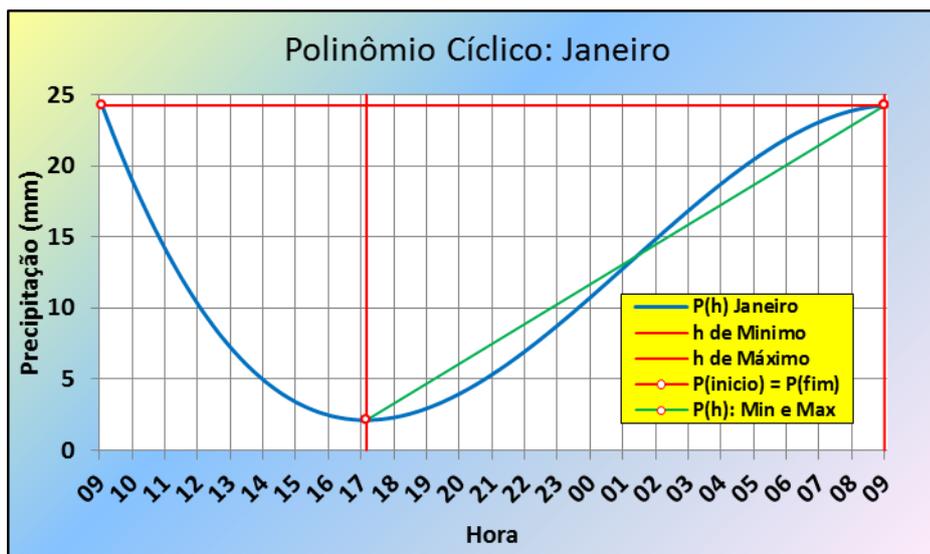
Os Gráficos de 13 a 24 mostram os modelos mensais, correspondente aos doze meses do ano, enquanto o Gráfico 25, o modelo anual. Os gráficos foram elaborados com a precipitação referente a 30 anos de observação, em intervalos de 5 minutos.

Nos gráficos são destacados os pontos de início e fim do período de 24 horas (09h00min às 09h00min do dia seguinte), assim como os pontos críticos, ou seja, os pontos de precipitação mínima e máxima, bem como  $\Delta h$  de Pico, o intervalo de tempo decorrido entre as precipitações mínimas e máximas.

Nesses gráficos pode-se observar que a exceção dos meses de janeiro, novembro e dezembro, os demais meses apresentam pontos de precipitação mínima e máxima com derivada igual a zero, dentro do intervalo de 24 horas, tendo início as 09h00min de um dia e fim as 09h00min do dia seguinte.

Os meses de novembro, dezembro e janeiro, período correspondente a pré-estação, os valores de mínimo tem derivadas iguais a zero, enquanto os valores de máximos ocorrem no limite do período de 24 horas, qual seja, as 09h00min do dia seguinte.

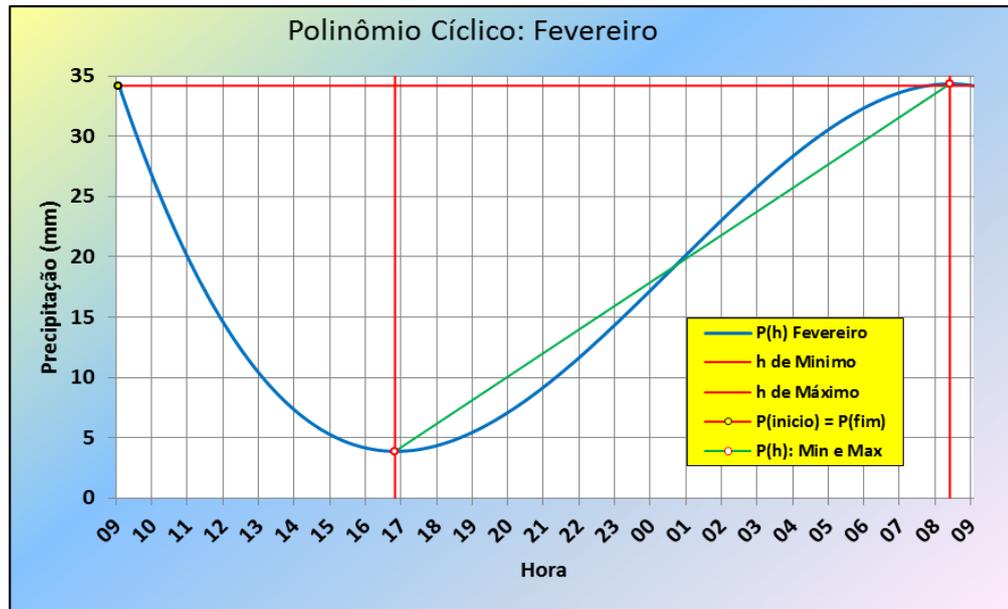
Gráfico 13 - Polinômio cíclico – mês de janeiro: 1970-1999.



$$P(h) = -146,1360 \cdot h^3 + 460,3456 \cdot h^2 - 433,9422 \cdot h + 130,4665 \quad (r^2 = 0,6396)$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

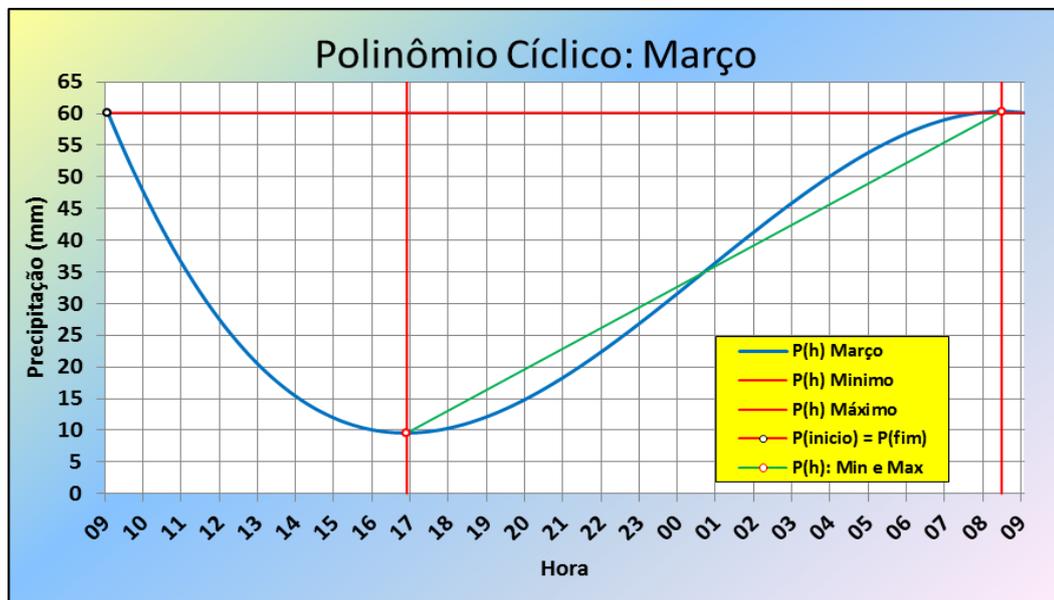
Gráfico 14 - Polinômio cíclico – mês de fevereiro: 1970-1999.



$$P(h) = -222,5518 \cdot h^3 + 685,7689 \cdot h^2 - 633,9814 \cdot h + 187,9697 \quad (r^2 = 0,6838)$$

Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 15 - Polinômio cíclico – mês de março: 1970-1999.



$$P(h) = -368,0841 \cdot h^3 + 1.136,1743 \cdot h^2 + 1.052,0076h + 315,5051 \quad (r^2 = 0,8151)$$

Fonte: Elaborado pelo autor

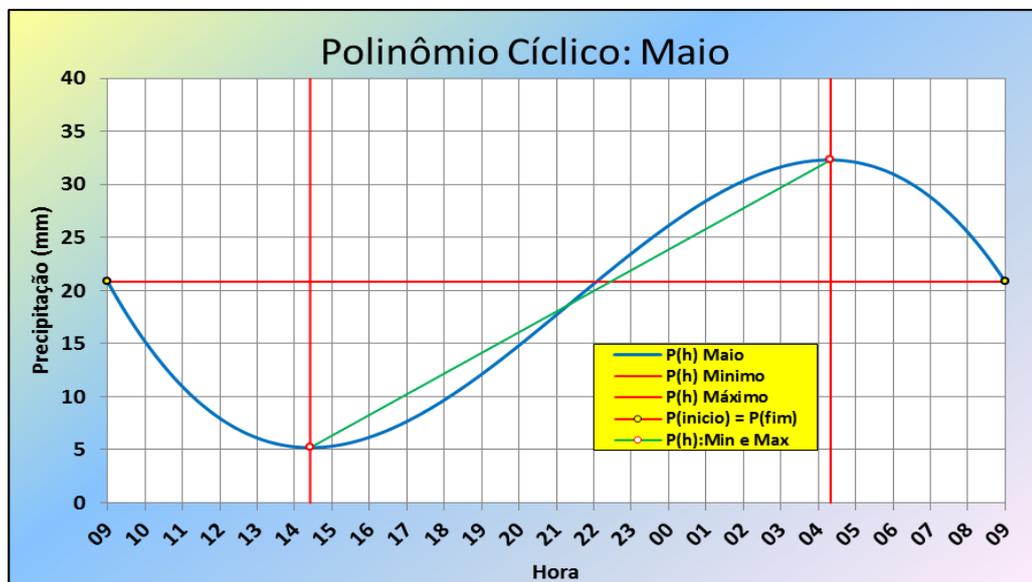
Gráfico 16 - Polinômio cíclico – mês de abril: 1970-1999.



$$P(h) = -337,6431 \cdot h^3 + 983,0724 \cdot h^2 - 861,1016 \cdot h + 247,2108 \quad (r^2 = 0,6320)$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

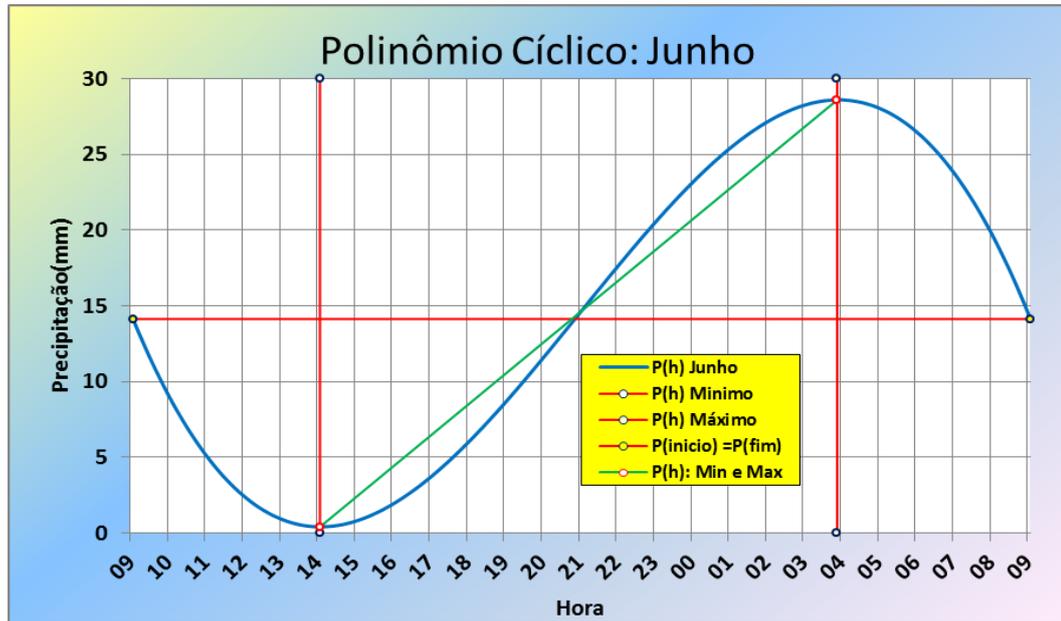
Gráfico 17 - Polinômio cíclico – mês de maio: 1970-1999.



$$P(h) = -280,7678 \cdot h^3 + 752,4357 \cdot h^2 - 601,7789 \cdot h + 156,0382 \quad (r^2 = 0,5866)$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

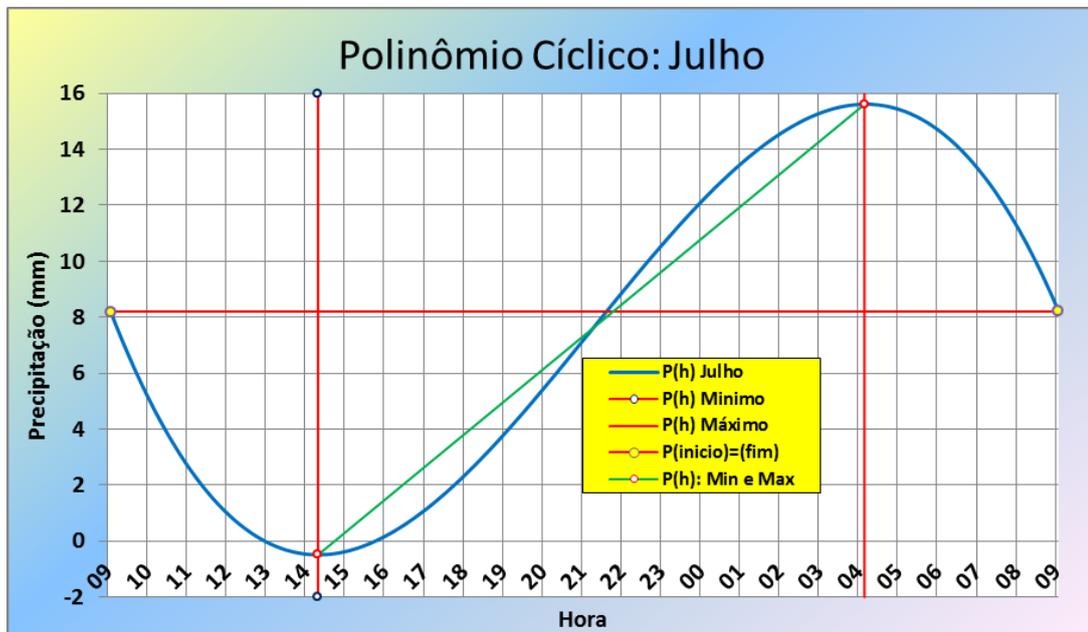
Gráfico 18 Polinômio cíclico – mês de junho: 1970-1999.



$$P(h) = -293,0842 \cdot h^3 + 770,1689 \cdot h^2 - 601,3419h + 147,2968 \quad (r^2 = 0,6993)$$

Fonte: Elaborado pelo autor

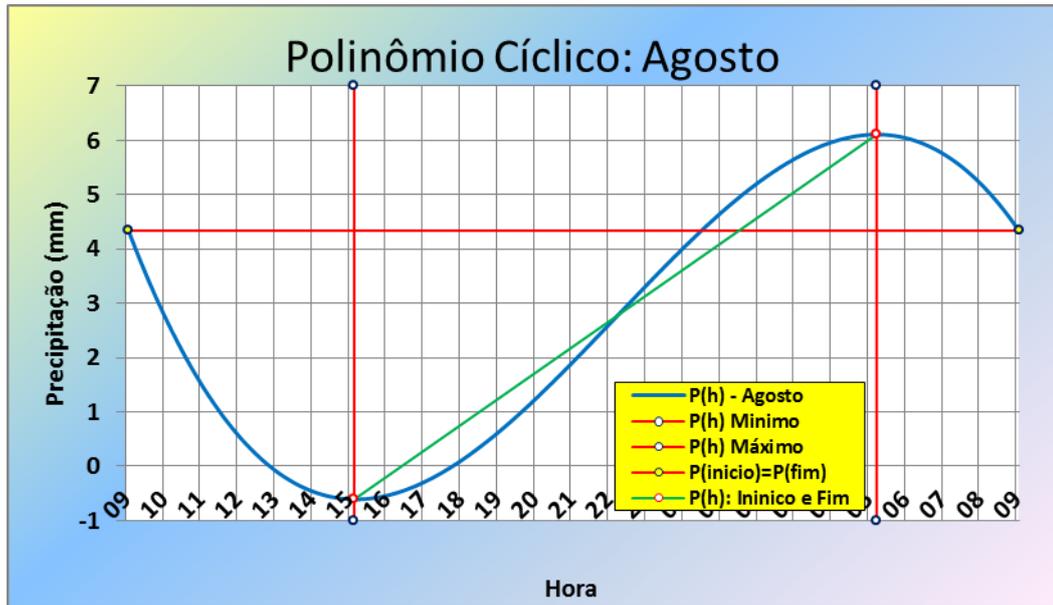
Gráfico 19 - Polinômio cíclico – mês de julho: 1970-1999.



$$P(h) = -167,1588 \cdot h^3 + 444,3603 \cdot h^2 + 86,8076 \cdot h - 351,9303 + 0,6263 \quad (r^2 = 0,6263)$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

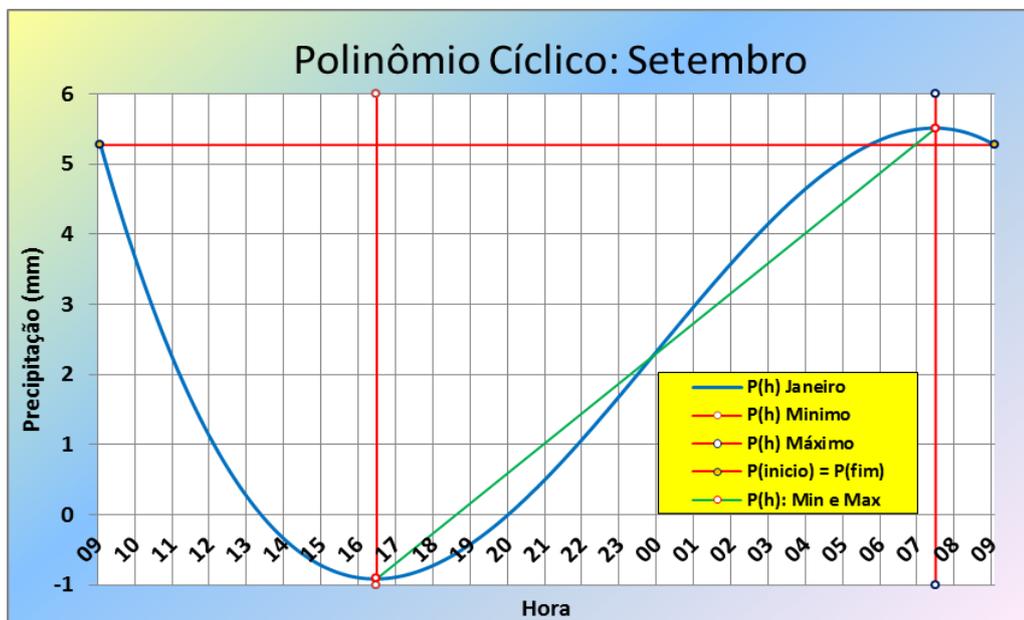
Gráfico 20 - Polinômio cíclico – mês de agosto: 1970-1999.



$$P(h) = -67,0547 \cdot h^3 + 186,3314 \cdot h^2 - 155,3692 \cdot h + 40,0866 \quad (r^2 = 0,5210)$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

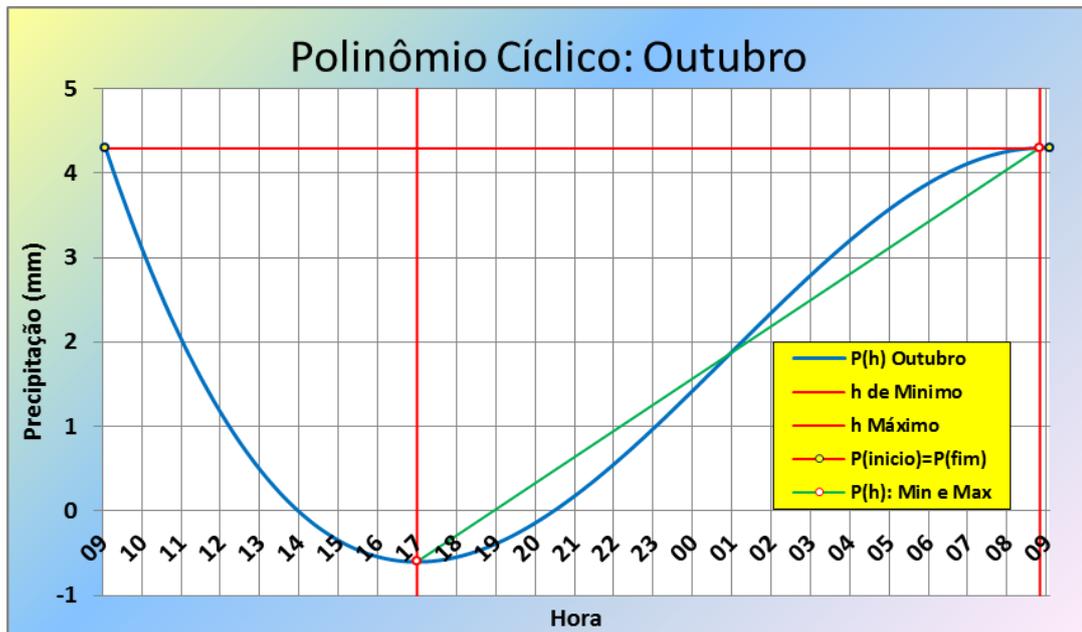
Gráfico 21 - Polinômio cíclico – mês de setembro: 1970-1999.



$$P(h) = -52,6072 \cdot h^3 + 157,5604 \cdot h^2 - 141,8800h + 39,2512 \quad (r^2 = 0,5661)$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

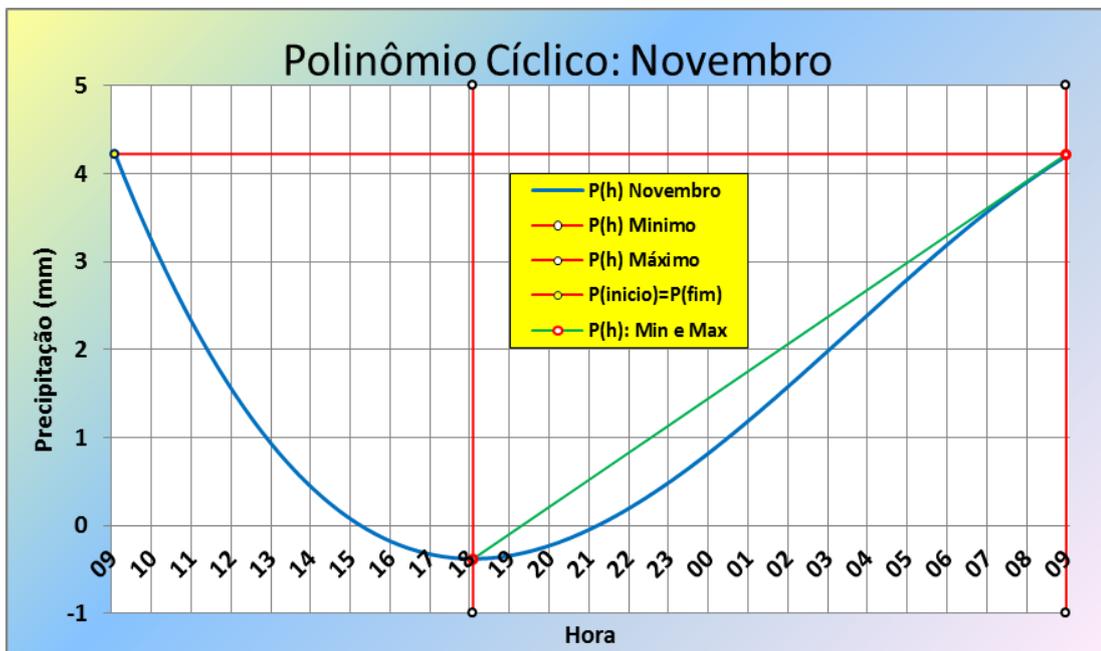
Gráfico 22 - Polinômio cíclico – mês de outubro: 1970-1999



$$P(h) = -34,0576 \cdot h^3 + 106,1029 \cdot h^2 - 99,0544 \cdot h + 28,4292 \quad (r^2 = 0,4906)$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

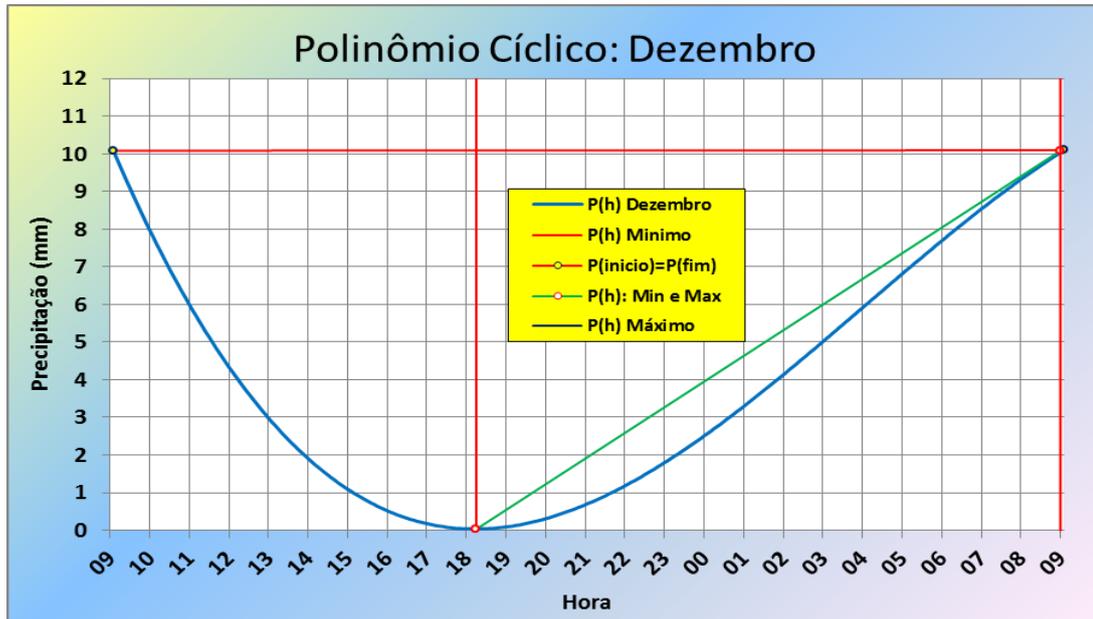
Gráfico 23 - Polinômio cíclico – mês de novembro: 1970-1999.



$$P(h) = -20,9558 \cdot h^3 + 72,2307 \cdot h^2 - 73,1507 \cdot h + 22,6958 \quad (r^2 = 0,5086)$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

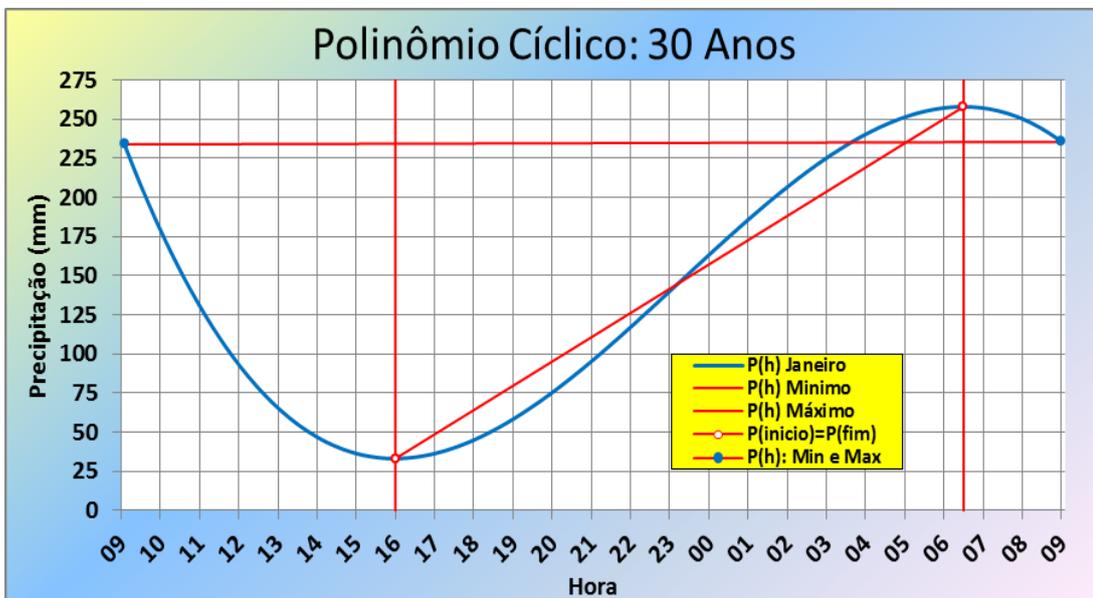
Gráfico 24 – Polinômio cíclico – mês de dezembro: 1970-1999.



$$P(h) = -43,2149 \cdot h^3 + 151,4052 \cdot h^2 - 155,1581 \cdot h + 49,4733 \quad (r^2 = 0,4850)$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 25 - Polinômio cíclico – anual: 1970-1999.



$$P(h) = -2,033,3162 \cdot h^3 + 5,905,9567 \cdot h^2 - 5,160,6963 \cdot h + 1,451,2310 \quad (r^2 = 0,8798)$$

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.7 Sumário do $\Delta h$ de pico

A Tabela 4 sumariza a hora de ocorrência, bem como os totais das precipitações mínimas e máximas registradas em milímetros, no período dos 30 anos de estudo (1970 a 1999). O intervalo de tempo entre a precipitação mínima e máxima, expresso em hora e minutos, é denotado pela variável  $\Delta h$  de Pico.

Deve-se observar que a variável  $\Delta h$  de Pico se refere ao tempo decorrido entre as precipitações mínimas e máximas estimadas pelos modelos Polinomiais Cíclico, para cada um dos doze meses do ano.

A série de registros das precipitações diárias utilizadas na pesquisa tem início as 09h00min do dia 1º de janeiro de 1970 e término as 09h00min do dia 31 de dezembro de 1999. Foram utilizadas 12 séries mensais de 30 anos, em intervalos de 5 minutos, uma para cada mês.

Nos pontos críticos, a hora de ocorrência das precipitações mínima e máxima das série mensais estão indicados na Tabela 4.

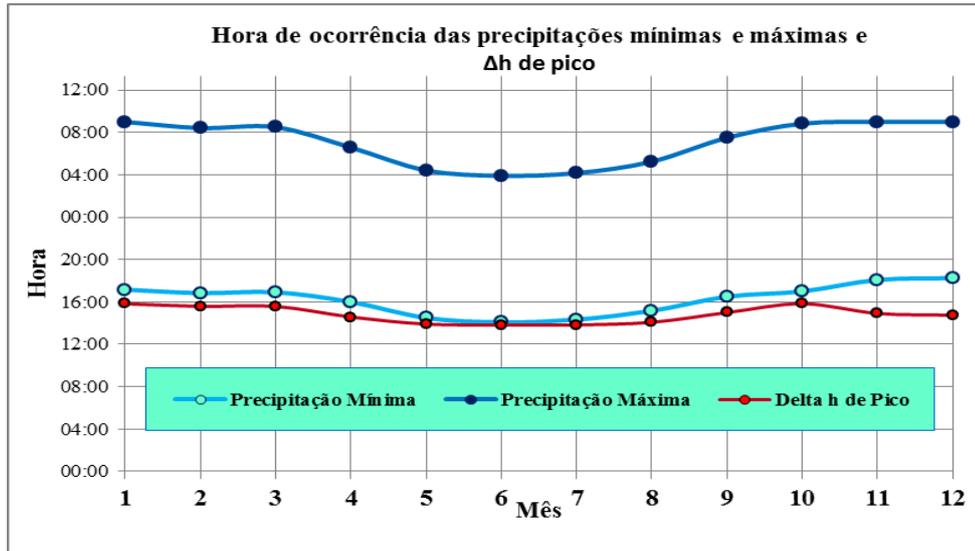
**Tabela 4 – Pontos críticos do modelo polinomial cíclico.**

Mês	$h_{\min}$	$P(h)_{\min}$	$h_{\max}$	$P(h)_{\max}$	$\Delta h$ de Pico	$\Delta P(h)$
Janeiro	17:10	2,12	09:00	24,24	15:50	22,14
Fevereiro	16:50	3,87	08:25	34,35	15:35	30,48
Março	16:55	9,57	08:30	60,35	15:35	50,78
Abril	16:00	10,02	06:35	47,59	14:35	37,57
Maió	14:30	5,20	04:25	32,32	13:55	27,12
Junho	14:05	0,41	03:55	28,61	13:50	28,20
Julho	14:20	0,00	04:10	15,61	13:50	16,10
Agosto	15:10	0,00	05:15	6,11	14:05	6,72
Setembro	16:30	0,00	07:30	5,51	15:00	6,42
Outubro	17:00	0,00	08:50	4,30	15:50	4,90
Novembro	18:05	0,00	09:00	4,81	14:55	5,19
Dezembro	18:15	0,03	09:00	11,84	14:45	11,81
<b>Anual</b>	<b>16:00</b>	<b>33,17</b>	<b>06:30</b>	<b>257,85</b>	<b>14:30</b>	<b>224,68</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Gráfico 26 mostra que no município de Fortaleza as menores chuvas ocorrem no período vespertino, entre as 14 horas e 18 horas. Já as maiores acontecem no período da madrugada e início da manhã, entre as 4 horas e 9 horas.

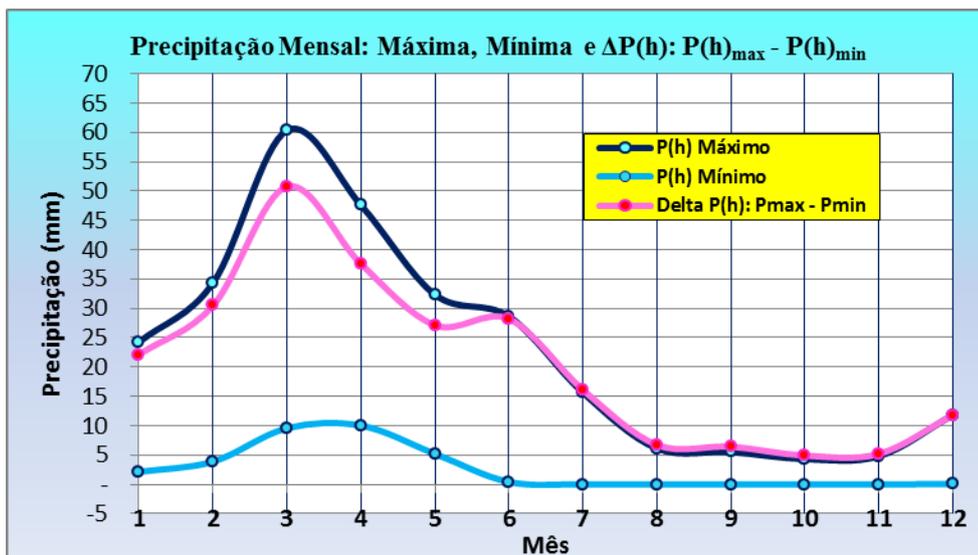
Gráfico 26– Hora de ocorrência das precipitações mínimas, máximas e Δh de pico.



Fonte: Elaborado pelo autor

O Gráfico 27 mostra a distribuição mensal das precipitações máximas e mínimas, acumuladas nos 30 anos estudados. Observa-se que 86% da precipitação se concentra nos seis primeiros meses do ano, com máximo no mês de março e mínimo nos meses de outubro e novembro.

Gráfico 27 - Distribuição mensal das precipitações máxima e mínima (1970 – 1999).



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.8 Correlação: duração do dia x $\Delta h$ de pico e precipitação x insolação

A duração do dia corresponde ao número de horas decorrido desde o nascer ao pôr do sol. Ao longo do ano, esse valor varia diariamente.

O  $\Delta h$  de Pico é o intervalo de tempo decorrido entre os picos de precipitação mínima e máxima, dos modelos polinomiais cíclicos, para cada um dos meses do ano, conforme explicitado na Tabela 4.

A insolação é o tempo em que o disco solar, do nascer ao ocaso, não está oculto por nuvens ou fenômenos atmosféricos de qualquer natureza. Em dias de céu absolutamente limpo, a insolação é a máxima possível, e seu valor corresponde à duração do dia (VAREJÃO-SILVA, 2006).

##### 4.8.1 Duração do dia x $\Delta h$ de pico

Os dados relativos a duração do dia no município de Fortaleza foram obtidos a partir da Tabela de Crepúsculo do Anuário Interativo do Observatório Nacional, referente ao ano de 2014 (Anexo E).

A Tabela 5 mostra a duração do dia em Fortaleza no início, meio e fim de cada mês. A coluna Média se refere a média aritmética dos três instantes. Já o  $\Delta h$  de pico é o intervalo de tempo entre os picos de máxima e mínima precipitação dos polinômios cíclicos mensais, conforme consta da Tabela 4.

**Tabela 5 – Duração do dia x  $\Delta h$  de pico.**

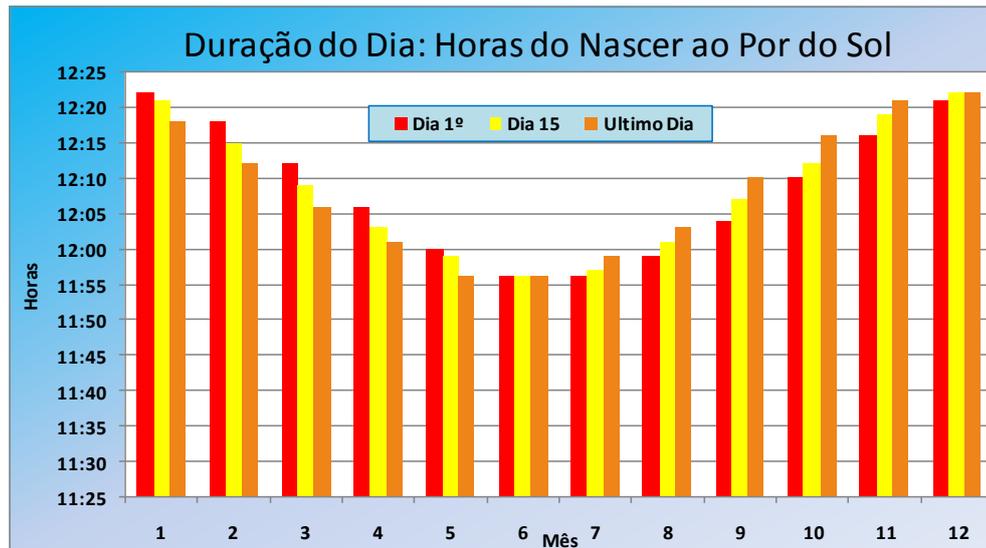
Mês	Dia 1º	Dia 15	Último dia	Média	$\Delta h$ de Pico
Janeiro	12:22	12:21	12:18	12:20	15:50
Fevereiro	12:18	12:15	12:12	12:15	15:35
Março	12:12	12:09	12:06	12:09	15:35
Abril	12:06	12:03	12:01	12:03	14:35
Mai	12:00	11:59	11:56	11:58	13:55
Junho	11:56	11:56	11:56	11:56	13:50
Julho	11:56	11:57	11:59	11:57	13:50
Agosto	11:59	12:01	12:03	12:01	14:05
Setembro	12:04	12:07	12:10	12:07	15:00
Outubro	12:10	12:12	12:16	12:12	15:50
Novembro	12:16	12:19	12:21	12:18	14:55
Dezembro	12:21	12:22	12:22	12:21	14:45

Fonte: Elaborada pelo autor

O Gráfico 28 mostra a variabilidade da duração do dia, em horas, para cada mês do ano, no início (dia 1º), meio (dia 15) e fim de cada mês (dia 28, 30 ou 31).

Como pode se observar, a duração do dia diminui de março a junho e cresce de junho a dezembro.

**Gráfico 28 – Duração do dia, no início, meio e fim de cada mês.**



Fonte: Elaborado pelo autor

Para se determinar a correlação entre a duração do dia e o  $\Delta h$  de pico dos polinômios cíclicos mensais, utilizou-se a média aritmética das durações do dia nos três instantes: início, meio e fim do mês.

A Tabela 6 apresenta um sumário da correlação entre a duração do dia e o  $\Delta h$  de Pico, em vários períodos indicados. Como pode-se observar, existe uma alta correlação (0,9524) entre a duração do dia e o  $\Delta h$  de Pico no primeiro semestre do ano, período que concentra 86% das precipitações que ocorrem em Fortaleza.

No período de 9 meses, em que exclui os meses de novembro, dezembro e janeiro a correlação é de 0,9681.

No período de um ano a correlação é de 0,7657. Observa-se, assim, que os meses de novembro, dezembro e janeiro contribuem para reduzir acentuadamente a correlação entre o  $\Delta h$  de pico e a duração do dia. Estes são exatamente os meses em que o ponto de máximo do polinômio cíclico, sujeito a condição clássica de derivada igual a zero, extrapolam o período de 24 horas.

**Tabela 6 – Correlação: duração do dia x  $\Delta h$  de pico.**

Período	Dia 1º	Dia 15	Último Dia	Média
Anual	0,7870	0,7535	0,7062	0,7657
1º Semestre	0,9655	0,9446	0,9353	0,9524
2º Semestre	0,5584	0,5905	0,6856	0,6130
Jan. - Out.	0,9148	0,9415	0,9181	0,9516
Fev. - Out	0,9152	0,9633	0,9048	0,9681

Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.8.2 Precipitação x insolação

Os dados de insolação utilizados na presente pesquisa consistem da média histórica mensal da estação meteorológica da Universidade Federal do Ceará, referente ao período 1966 - 2001 (AGUIAR *et al.*, 2002). (Anexo A).

Deve-se ressaltar que o período de 30 anos (1970-1999) de precipitação diária observada, em intervalos de cinco minutos, objeto da presente pesquisa, está contido no período 1966-2001. De modo que é razoável adotar-se a média da insolação do período estudado nesta pesquisa, como sendo a média do período 1970 a 1999.

**Tabela 7 – Precipitação média x insolação média – Posto UFC.**

Mês	Precipitação (mm)	Insolação (h/mê)
Janeiro	112,5	222,0
Fevereiro	169,4	176,6
Março	311,6	154,3
Abril	271,5	152,1
Maio	180,1	209,5
Junho	139,3	236,1
Julho	72,6	263,2
Agosto	26,3	289,3
Setembro	20,3	275,1
Outubro	15,0	285,6
Novembro	13,3	280,7
Dezembro	36,9	264,6

Fonte: Elaborada pelo autor.

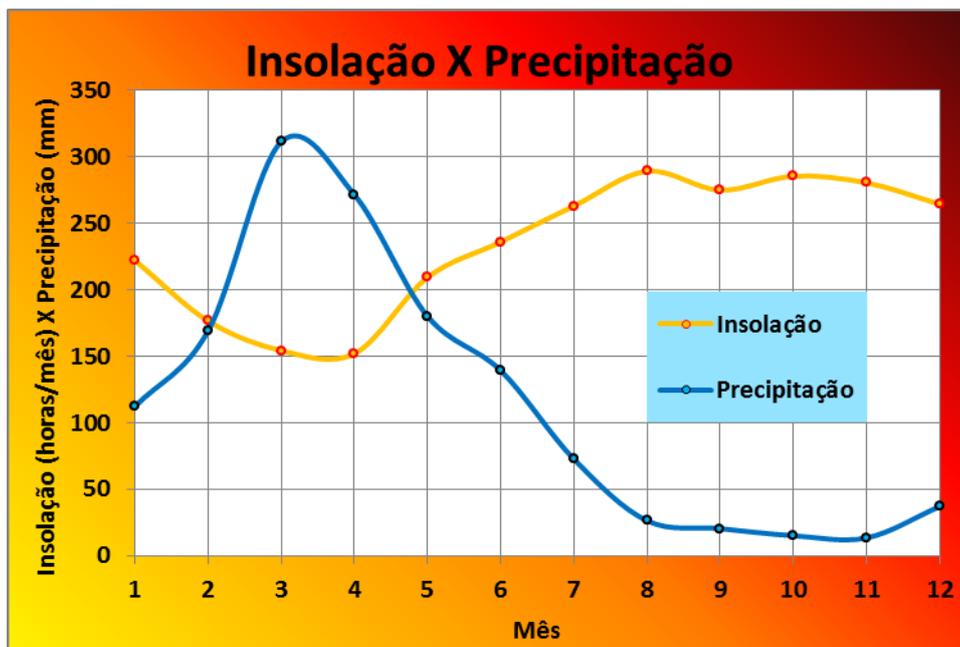
**Tabela 8 – Correlação: precipitação x insolação – Posto UFC.**

Período	Correlação
Anual	-0,9648
1º Semestre	-0,8805
2º Semestre	-0,7394
Jan. - Out.	-0,9606
Fev. - Out.	-0,9650

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como mostra a Tabela 8, verifica-se que existe uma forte correlação negativa entre a insolação e a precipitação no município de Fortaleza. Nos 30 anos abordado pela presente pesquisa, o coeficiente de correlação anual é -0,9648.

**Gráfico 29 – Insolação x precipitação.**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como exibe o gráfico 29, a insolação é decrescente de janeiro a abril e crescente de abril a agosto. Permanece mais ou menos constante entre agosto e outubro, e levemente decrescente de outubro a dezembro.

Quanto a precipitação, esta varia no sentido contrário: cresce nos meses de janeiro a março e decrescente nos meses abril a julho. Se mantém mais ou menos constante entre agosto e novembro, com um leve crescimento no mês de dezembro.

A baixa insolação está associada à presença de nebulosidade, que favorece a ocorrência de precipitações. Já a alta insolação, como frequentemente se verifica em Fortaleza, durante o 2º semestre, implica na ausência de nebulosidade, e como consequência a baixa ou nenhuma ocorrência de chuva.

## 5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Pelos estudos realizados, pode-se concluir que o modelo polinomial acíclico, apesar de apresentar um expressivo coeficiente de determinação ( $r^2=0,9118$ ), tem o inconveniente de ser descontínuo nos extremos do intervalo de um dia. Tal descontinuidade pode ser resolvida com o polinômio cíclico, porém ao custo de redução no coeficiente de determinação ( $r^2=0,8798$ ).

Os modelos senoidais apresentam a vantagem de serem naturalmente cíclicos. O modelo senoidal I é extremamente simples, porém, dentre os modelos estudados, é aquele que apresenta menor coeficiente de determinação ( $r^2=0,8641$ ). Quanto ao modelo Senoidal II, o coeficiente de determinação ( $r^2=0,9113$ ) é muito próximo daquele do modelo polinomial acíclico, sendo igual até a terceira casa decimal.

O modelo composto por Polinômio Cíclico + Senoide II é o que apresenta maior coeficiente de determinação ( $r^2=0,9125$ ), sendo este, porém, apenas 0,13% superior ao da Senoide II. Além disso, esse modelo tem seis parâmetros, enquanto que o modelo senoidal II tem somente três parâmetros.

Desse modo, pelo princípio da parcimônia dos parâmetros, recomenda-se o modelo da Senoide II como o mais adequado para representar as chuvas em Fortaleza, em intervalos de cinco minutos (CAMPOS, 2009).

Estudos anteriores sobre a distribuição infradiária de chuvas no Nordeste do Brasil, e em especial sobre o Ceará, concluíram que os eventos de chuvas acontecem de forma crescente durante a noite, madrugada e início da manhã. No decorrer do dia as chuvas se tornam mais escassas, com mínimo no final da tarde e início da noite (KOUSKY, 1980; TEIXEIRA 2008).

Os modelos estudados nesta pesquisa validam os resultados referidos, e utilizam formulações matemáticas para se obter o ciclo diário da precipitação e determinar a hora de ocorrência do máximo e do mínimo. Obteve-se, com o modelo senoidal II, a ocorrência do máximo às 5h05m e o mínimo às 17h05m.

Essa forma de variação, máximo pela madrugada e mínimo pelo final da tarde, foi explicada como decorrência dos efeitos das brisas marítimas e terrestres que atuam no litoral de Fortaleza, durante todo o ano (TEIXEIRA, 2008).

A correlação existente entre a precipitação e a insolação em Fortaleza é negativa. No período abordado pela presente pesquisa, o coeficiente de correlação determinado é de - 0,9648 para o período anual, 0,8805 para o primeiro semestre e - 0,9650 para o período que vai de fevereiro a outubro.

Constatou-se também, a existência de uma forte correlação entre a duração do dia e o  $\Delta h$  de pico dos polinômios cíclicos mensais, de modo que pode-se concluir que o intervalo de tempo entre os picos de mínima e máxima precipitação se correlaciona positivamente com o tempo decorrido entre o nascer e o pôr do sol ou seja, a duração do dia, para um observador situado na Terra.

Considerando a duração média do dia, a correlação entre esta e o  $\Delta h$  de pico é 0,7657 para o período anual, 0,9524 para o primeiro semestre e 0,9681 para o período que vai de fevereiro a outubro.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. de J. N.; VIANA, T. V. de A; AGUIAR, J. V. de; LIMA, J. V. de; AQUINO, F. C. de; CISOSTOMO JUNIOR, R. R.; CARNEIRO, F. de A; BARRETO, J. N. C. Dados climatológicos: Estação de Fortaleza, 2001: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 19 p. (Embrapa Agroindústria Tropical; Documentos 61).
- ARNAUD, Patrick; FINE, J. A.; LAVABRE, Jacques. An hourly rainfall generation model applicable to all types of climate. **Atmospheric Research**, v. 85, n.2, p. 230-242, ago. 2007.
- ASSIS, Simone Vieira de; PADILHA, Carina Klug. Periodicidade da precipitação de Pelotas, RS explicada pela análise harmônica. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...** Foz de Iguaçu: SUBMET, 2002. p 1-7.
- BERNARDARA, Pietro; DE MICHELE , Carlo; ROSSO, Renzo. A simple model of rain in time: an alternating renewal process of wet and dry states with fractional (non-Gaussian) rain intensity. **Atmospheric Research**, v.84, n.4, p. 291-301, jun. 2007.
- CAMPOS, José Nilson Beserra. **Lições em modelos e simulação hidrológica**. Fortaleza: ASTEF/Expressão Gráfica, 2009.
- CHEN, Tsing-Chang; YEN, Minh-Chrnh; HSIEH, Jung-Chieh; ARRIT, Raymond W. Diurnal and seasonal variations of the rainfall measured by the automatic rainfall and meteorological telemetry system in Taiwan. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 80, n.11, p.2299-2312, 1999.
- FRANK, Ney L. On the energetics of the cold lows. In: **Symposium on Tropical Meteorology**. University of Hawai Honolulu. Proceedings Boston MA: American Meteorological Society, p. EIV 1-EIV 6, 1970.
- GAN, Manoel Alonso; KOUSKY, Vernon Edgar. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.1, p.19-28, jan. 1986.
- KOUSKY, Vernon E. Diurnal rainfall variation in the Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, Boston, v.108, n.4, p. 488-498, abr. 1980.
- LIMA, Vicente de P. M.; CAMPOS, José Nilson Beserra; ALVES, José Maria Brabo. Variabilidade horo-sazonal da precipitação em Fortaleza/CE em anos de contraste climático. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...** Florianópolis: SBMET, 2006. p. 1-6.

LIMA, Vicente P. M. **Variabilidade horo-sazonal da precipitação em Fortaleza-CE, em anos de contrastes climáticos**. 2005. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

MELO, Anna Bárbara Coutinho de; NOBRE, Paulo; MENDES, David; BOTTINO, Marcus Jorge. A zona de convergência intertropical sobre o Oceano Atlântico: climatologia. In: **Anais...** XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, SBMET, Foz do Iguaçu/PR, 2002.

MOLION, Luiz Carlos Baldicero; BERNARDO, Sergio de Oliveira. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira Meteorologia**, Brasília, v.17, n.1, p.1-10, 2002.

MOREIRA, João Luiz Kohl. **Insolação média anual para uma latitude**. mar. 2012. Disponível em: <<http://staff.on.br/jlkm/InsolacaoMedia/index.html>> Acesso em: 12 abr. 2015.

PRESS, William H.; FLANNERY, Brian P.; TEUKOLSKY, Saul A.; VETTERLING, William T. **Numerical recipes in Fortran 77**. New York: Cambridge University Press, 1989.

SALVADORI, Gianfausto; DE MICHELE, Carlo. Statistical characterization of temporal structure of storms. **Advances in Water Resources**, v.29, n.6, p.827-842. 2006.

SILVA, Cláudio Moisés Santos. Ciclo diário e semidiário de precipitação na costa norte do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.1, 34-42, mar. 2013.

SOUZA FILHO, Francisco de Assis; MOURA, Antônio Divino. Memórias do Seminário Natureza e Sociedade nos Semi-Áridos. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil; Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2006. 332p.

STORCH, H. von; ZWIERS, F. W. Statistical analysis in climate research. **International Journal of Climatology**, New York: Cambridge University Press, v.20, n.7, p.811-812, 2000.

TEIXEIRA, Raul Fritz Bechtel. O fenômeno da brisa e sua relação com a chuva sobre Fortaleza/CE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.23, n.3, 282-291, set. 2008.

VAREJÃO-SILVA, M .A. **Meteorologia e climatologia**. Versão Digital 2, Recife, 2006.449p.

VAZ, João Caetano Mancini. **Análise das ondas de leste sobre a costa leste do nordeste brasileiro para o período entre 1999-2009**. 2011. 88f. Dissertação. (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Rio de Janeiro, 2011.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações brasileira**. 2.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 2002. 449 p.

XAVIER, Teresinha de Maria Bezerra S.; XAVIER, Airton Fontenele Sampaio; ALVES, José Maria Brabo. **Quantís e Eventos Extremos: Aplicações em Ciências da Terra e Ambientais**. Fortaleza: RDS, 2007. 278 p.

**ANEXO A – Temperatura do ar, umidade relativa, precipitação  
e insolação média em Fortaleza**

**Dados históricos da estação meteorológica da UFC 1966 a 2001**

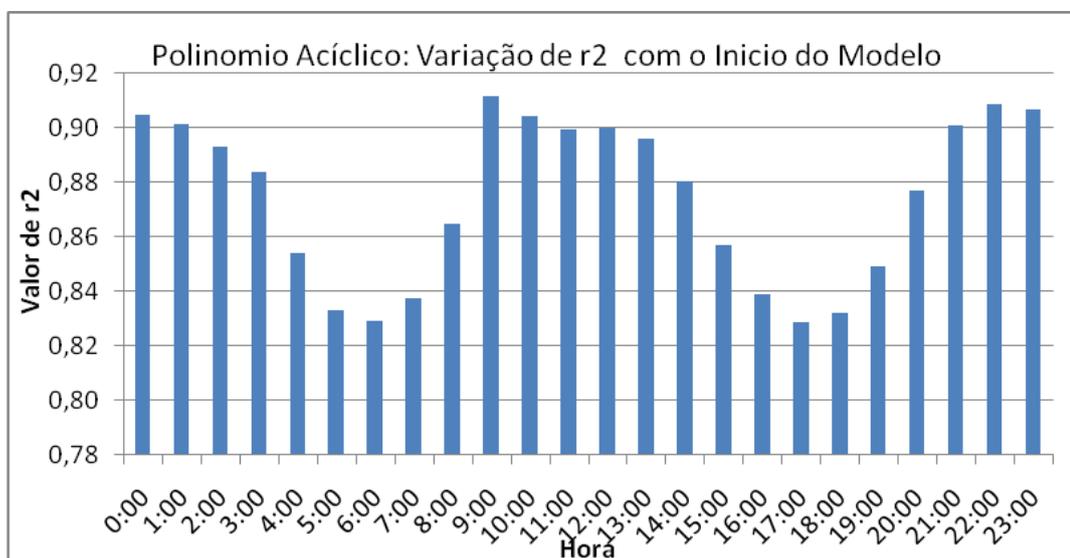
Mês	Temperatura do Ar (°C)			Umidade Relativa (%)	Precipitação (mm)	Insolação h/mês
	Média das Máximas	Média das Mínimas	Média			
<b>Janeiro</b>	30,6	24,2	27,3	78	116,8	222,0
<b>Fevereiro</b>	30,3	23,8	27,0	80	199,6	176,6
<b>Março</b>	29,8	23,5	26,6	84	344,8	154,3
<b>Abril</b>	29,9	23,4	26,6	84	349,2	152,1
<b>Mai</b>	30,2	23,3	26,6	82	220,4	209,5
<b>Junho</b>	29,9	22,8	26,2	80	159,1	236,1
<b>Julho</b>	28,9	22,4	26,0	78	82,7	263,2
<b>Agosto</b>	30,4	22,6	26,4	75	33,6	289,3
<b>Setembro</b>	30,6	23,2	26,8	75	26,9	275,1
<b>Outubro</b>	30,9	23,9	27,3	73	12,8	285,6
<b>Novembro</b>	31,1	24,5	27,5	74	12,3	280,7
<b>Dezembro</b>	31,1	24,6	27,6	75	41,5	264,6
<b>Ano</b>	<b>30,3</b>	<b>23,5</b>	<b>26,9</b>	<b>78</b>	<b>1.600,0</b>	<b>2.809,1</b>

**Fonte:** Aguiar *et al.* (2002).

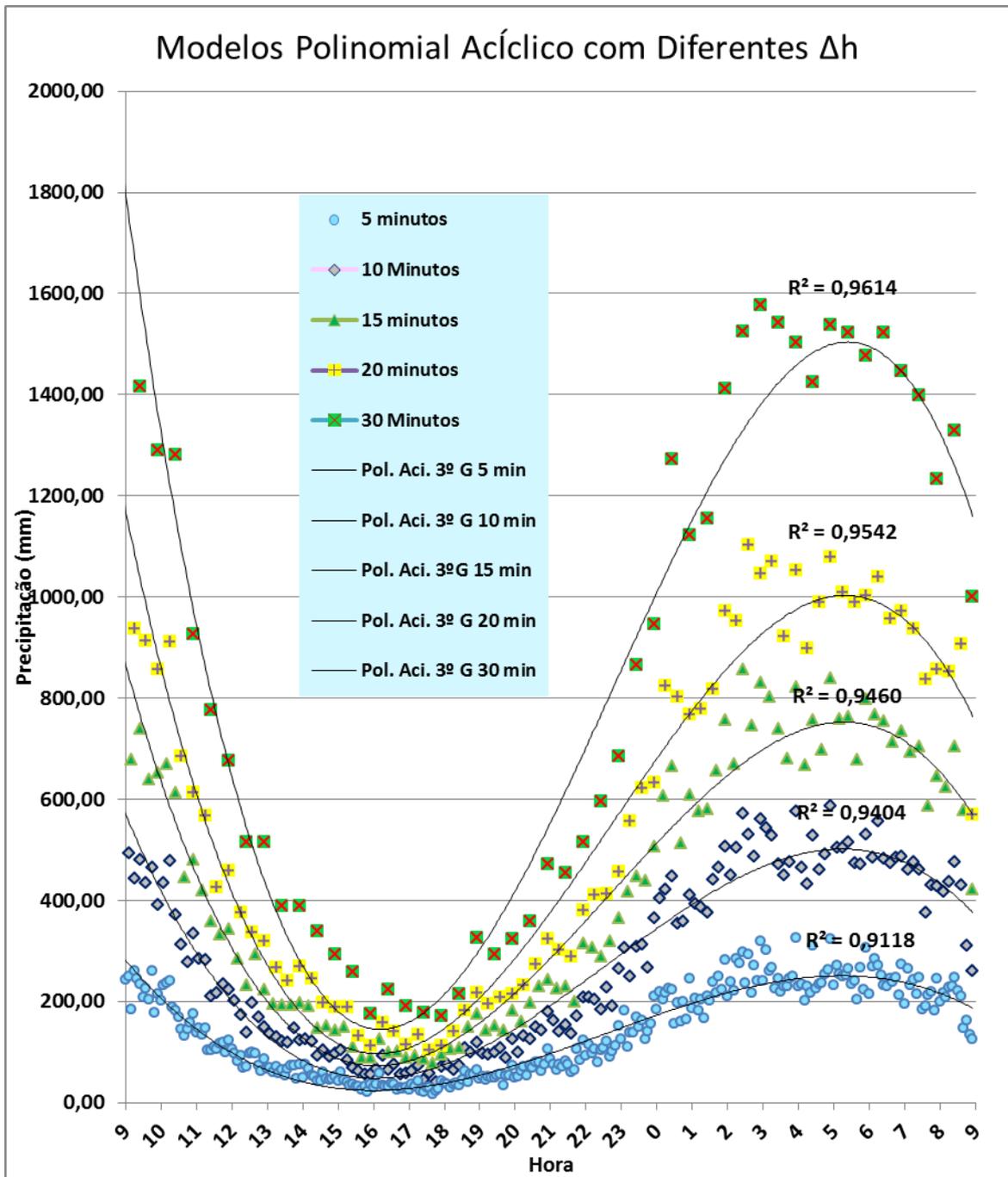
**ANEXO B - Parâmetros dos modelos polinomial acíclico com início de 0 - 24 horas.**

INÍCIO	POLINOMIO ACÍCLICO - 3º GRAU				
	A	B	C	D	R2
0:00	2.408,4945	-3.368,7684	972,0778	177,3157	0,9051
1:00	2.309,0824	-3.240,9578	930,6990	179,7189	0,9016
2:00	1.892,2503	-2.566,3683	611,9614	221,1442	0,8932
3:00	1.598,5415	-2.079,1864	376,6656	252,4774	0,8840
4:00	987,8216	-956,1763	-244,3989	352,7530	0,8540
5:00	170,8405	694,7154	-1.268,8928	543,9212	0,8331
6:00	-611,1797	2.401,6436	-2.427,5631	784,6389	0,8291
7:00	-1.287,6858	3.985,5458	-3.591,5137	1.049,6442	0,8375
8:00	-2.034,2816	5.856,7685	-5.074,4675	1.417,1923	0,8647
9:00	-2.718,7703	7.707,3141	-6.665,2231	1.847,7283	0,9118
10:00	-2.604,3951	7.489,2558	-6.561,9546	1.843,5122	0,9042
11:00	-2.458,0145	7.108,3691	-6.249,1930	1.762,9828	0,8997
12:00	-2.482,8697	7.202,3560	-6.359,3075	1.802,9607	0,8999
13:00	-2.378,4257	6.923,1626	-6.127,2559	1.743,8344	0,8960
14:00	-2.049,3202	5.929,4987	-5.165,6744	1.446,3093	0,8803
15:00	-1.482,9111	4.102,8921	-3.264,1069	808,6059	0,8571
16:00	-839,7930	1.926,6404	-878,6367	-36,7321	0,8389
17:00	-73,8171	-788,6665	2.248,1917	-1.204,2265	0,8290
18:00	640,6004	-3.432,0671	5.432,3327	-2.450,6135	0,8322
19:00	1.413,0910	-6.411,8075	9.181,0087	-3.986,0554	0,8495
20:00	2.013,7202	-8.838,3262	12.382,8252	-5.363,3508	0,8769
21:00	2.465,0793	-10.745,6246	15.017,5234	-6.550,8289	0,9012
22:00	2.605,5451	-11.401,2261	16.011,7942	-7.039,9586	0,9088
23:00	2.528,4807	-11.108,5936	15.656,3407	-6.902,7596	0,9068

Fonte: Elaborado pelo autor



**ANEXO C - Gráfico do modelo polinomial acíclico, com início às 9:00 horas e  $\Delta h$  igual a 5, 10, 15, 20 e 30 minutos**

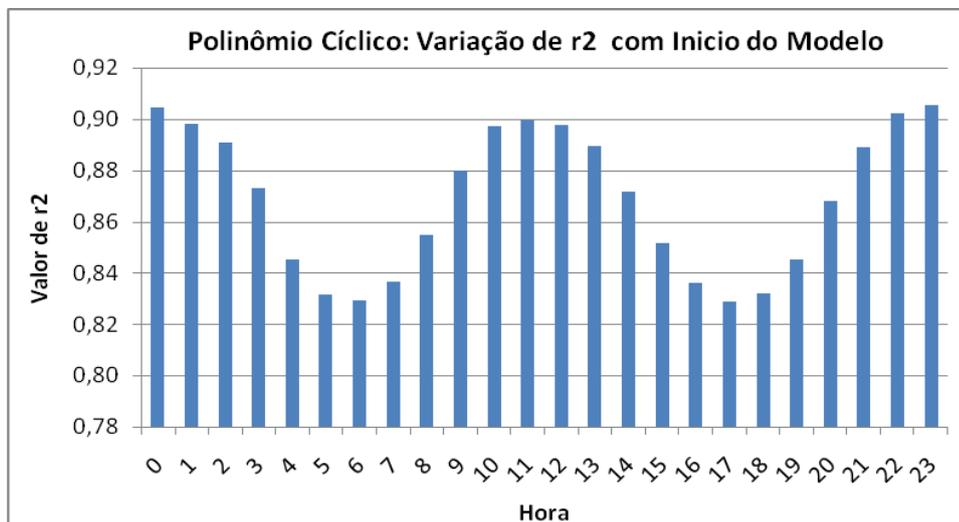


Fonte: Elaborado pelo autor

**ANEXO D - Parâmetros do modelos polinomial cíclico com início de 0 – 24 horas.**

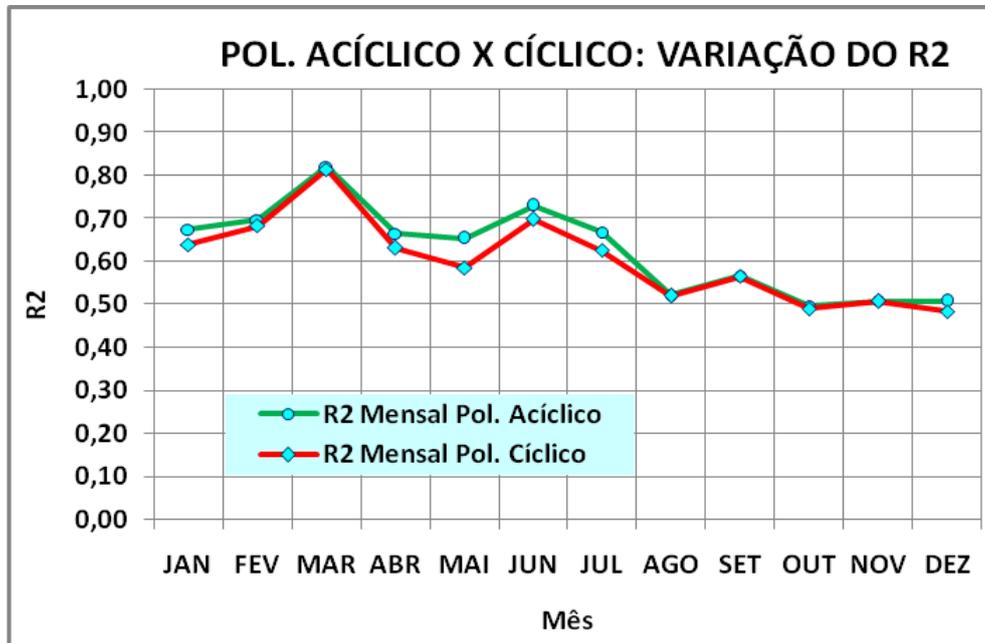
INÍCIO	POLINÔMIO CÍCLICO - 3º GRAU				
	A	B	C	D	R2
00:00	2.313,3888	-3.225,8265	910,6560	184,1793	0,9045
01:00	2.077,8269	-2.864,4794	751,1792	203,2516	0,8979
02:00	1.697,3673	-2.224,7430	433,2233	247,8440	0,8906
03:00	1.199,2649	-1.329,3540	-49,9400	323,6822	0,8731
04:00	624,7878	-229,0282	-690,9859	434,8663	0,8450
05:00	13,3528	1.029,8457	-1.489,7341	588,1740	0,8314
06:00	-596,1093	2.367,6904	-2.403,6794	779,4669	0,8291
07:00	-1.163,7103	3.690,7350	-3.371,1136	998,4170	0,8365
08:00	-1.652,3558	4.900,8169	-4.317,8171	1.229,4837	0,8547
09:00	-2.033,3023	5.905,9201	-5.160,6658	1.451,2230	0,8798
10:00	-2.283,6853	6.606,3491	-5.786,1123	1.627,1821	0,8972
11:00	-2.377,7579	6.877,3927	-6.036,2113	1.700,3679	0,8993
12:00	-2.302,7970	6.661,6017	-5.837,3119	1.641,6468	0,8977
13:00	-2.066,9415	5.948,8474	-5.144,7538	1.425,5299	0,8894
14:00	-1.690,7873	4.763,1992	-3.939,4437	1.030,8318	0,8715
15:00	-1.202,4043	3.155,3465	-2.227,2352	441,9691	0,8517
16:00	-634,6535	1.208,0416	-61,5395	-337,6731	0,8360
17:00	-25,6707	-963,3403	2.454,2700	-1.283,1443	0,8288
18:00	584,5857	-3.221,8455	5.175,3495	-2.348,4519	0,8319
19:00	1.155,4409	-5.412,6462	7.917,0416	-3.465,1937	0,8450
20:00	1.650,7268	-7.385,2717	10.482,8729	-4.552,8604	0,8679
21:00	2.037,8770	-8.982,1431	12.636,7623	-5.500,8057	0,8888
22:00	2.290,0422	-10.059,3997	14.143,3487	-6.188,9368	0,9020
23:00	2.385,6987	-10.483,4973	14.759,4212	-6.481,3298	0,9054

Fonte: Elaborado pelo autor

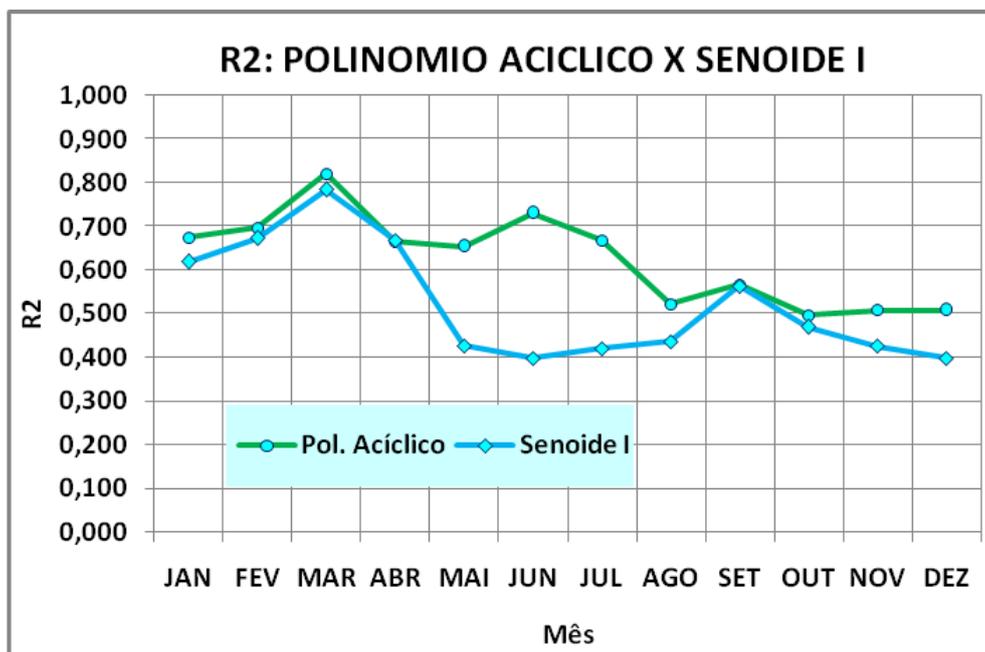


Fonte: Elaborado pelo autor

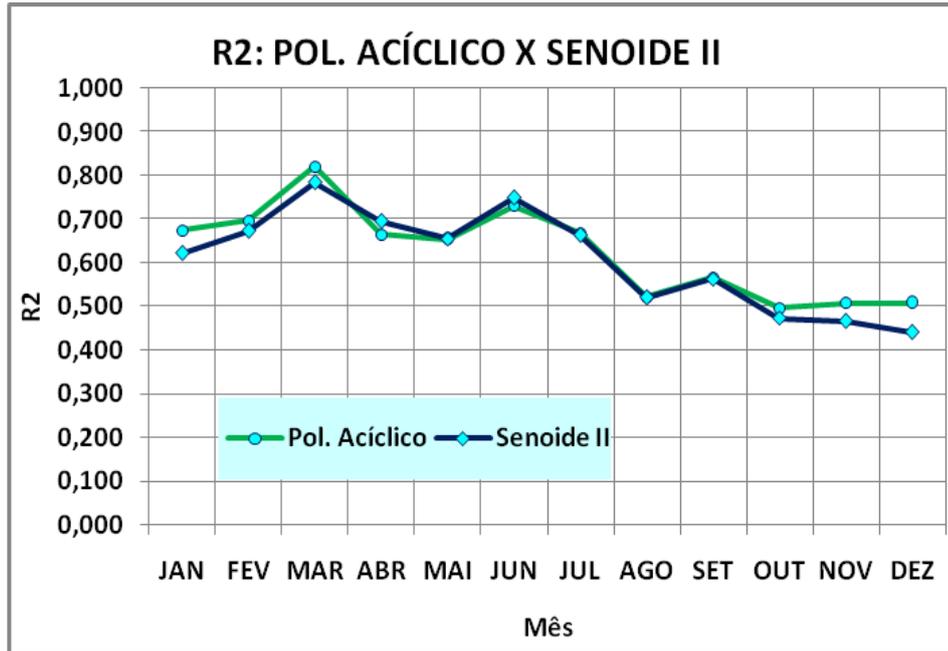
**ANEXO E - Comparação dos coeficientes de determinação dos modelos estudados.**



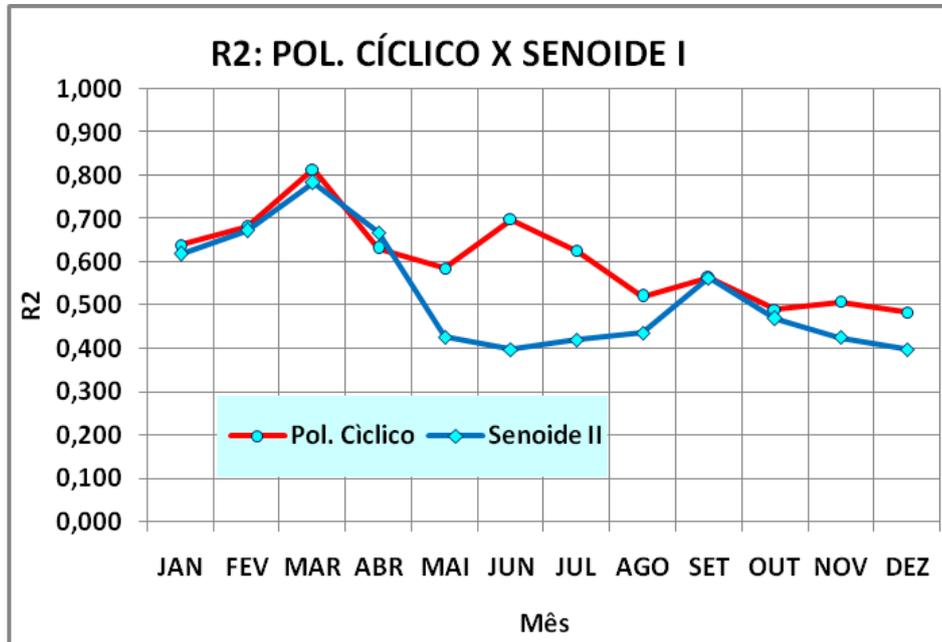
Fonte: Elaborado pelo autor



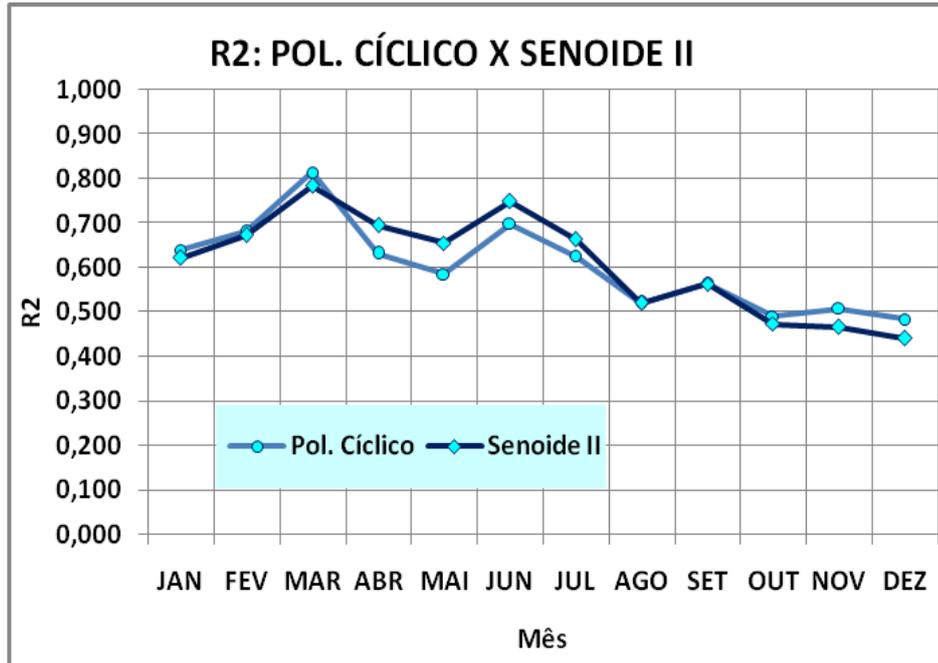
Fonte: Elaborado pelo auto



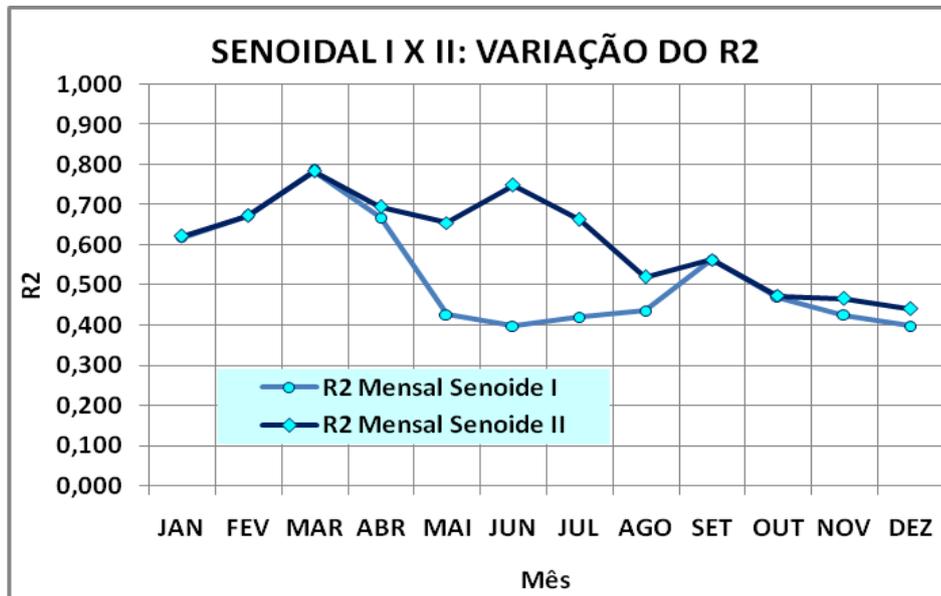
Fonte: Elaborado pelo autor



Fonte: Elaborado pelo autor



Fonte: Elaborado pelo autor



Fonte: Elaborado pelo autor







jul									ago								
		Alvorada			Crepúsculo						Alvorada			Crepúsculo			
Dia	Nascer	Civil	Náut.	Astr.	Ocaso	Civil	Náut.	Astr.	Dia	Nascer	Civil	Náut.	Astr.	Ocaso	Civil	Náut.	Astr.
1	5:40	5:18	5:10	5:16	17:36	17:58	18:07	18:00	1	5:41	5:20	4:55	5:06	17:40	18:01	18:26	18:15
2	5:40	5:19	5:10	5:16	17:36	17:58	18:07	18:01	2	5:41	5:20	4:55	5:06	17:40	18:01	18:26	18:16
3	5:40	5:19	5:10	5:16	17:37	17:58	18:07	18:01	3	5:41	5:20	4:55	5:05	17:40	18:01	18:26	18:17
4	5:41	5:19	5:10	5:16	17:37	17:58	18:08	18:01	4	5:41	5:20	4:55	5:04	17:40	18:01	18:26	18:18
5	5:41	5:19	5:10	5:16	17:37	17:59	18:08	18:02	5	5:41	5:20	4:55	5:02	17:40	18:01	18:26	18:19
6	5:41	5:19	5:10	5:16	17:37	17:59	18:09	18:02	6	5:40	5:20	4:55	5:01	17:40	18:01	18:26	18:20
7	5:41	5:19	5:09	5:16	17:37	17:59	18:09	18:02	7	5:40	5:19	4:54	5:00	17:40	18:01	18:26	18:21
8	5:41	5:20	5:09	5:16	17:38	18:00	18:10	18:03	8	5:40	5:19	4:54	4:59	17:40	18:01	18:25	18:22
9	5:41	5:20	5:09	5:16	17:38	18:00	18:10	18:03	9	5:40	5:19	4:54	4:57	17:40	18:00	18:25	18:23
10	5:41	5:20	5:09	5:16	17:38	18:00	18:10	18:03	10	5:40	5:19	4:54	4:55	17:40	18:00	18:25	18:25
11	5:41	5:20	5:09	5:16	17:38	18:00	18:11	18:04	11	5:39	5:19	4:54	4:54	17:39	18:00	18:25	18:26
12	5:42	5:20	5:08	5:16	17:38	18:00	18:12	18:04	12	5:39	5:18	4:54	4:52	17:39	18:00	18:25	18:28
13	5:42	5:20	5:08	5:16	17:38	18:00	18:12	18:05	13	5:39	5:18	4:53	4:50	17:39	18:00	18:25	18:29
14	5:42	5:20	5:08	5:15	17:38	18:00	18:13	18:05	14	5:39	5:18	4:53	4:48	17:39	18:00	18:25	18:31
15	5:42	5:20	5:07	5:15	17:39	18:00	18:13	18:05	15	5:38	5:18	4:53	4:45	17:39	18:00	18:24	18:33
16	5:42	5:20	5:07	5:15	17:39	18:00	18:14	18:06	16	5:38	5:17	4:53	4:43	17:39	18:00	18:24	18:36
17	5:42	5:20	5:07	5:15	17:39	18:00	18:14	18:06	17	5:38	5:17	4:53	4:40	17:39	18:00	18:24	18:38
18	5:42	5:20	5:06	5:14	17:39	18:00	18:15	18:07	18	5:37	5:17	4:52	4:37	17:39	18:00	18:24	18:41
19	5:42	5:21	5:06	5:14	17:39	18:01	18:16	18:07	19	5:37	5:17	4:52	4:34	17:39	18:00	18:24	18:44
20	5:42	5:21	5:05	5:14	17:39	18:01	18:17	18:08	20	5:37	5:16	4:52	4:30	17:38	17:59	18:23	18:48
21	5:42	5:21	5:04	5:13	17:39	18:01	18:17	18:08	21	5:37	5:16	4:52	4:27	17:38	17:59	18:23	18:48
22	5:42	5:21	5:04	5:13	17:39	18:01	18:18	18:09	22	5:36	5:16	4:51	4:27	17:38	17:58	18:23	18:47
23	5:42	5:21	5:03	5:12	17:40	18:01	18:19	18:09	23	5:36	5:15	4:51	4:26	17:38	17:58	18:23	18:47
24	5:42	5:21	5:02	5:12	17:40	18:01	18:20	18:10	24	5:35	5:15	4:51	4:26	17:38	17:58	18:23	18:47
25	5:42	5:21	5:01	5:11	17:40	18:01	18:21	18:10	25	5:35	5:15	4:50	4:26	17:38	17:58	18:22	18:47
26	5:42	5:21	5:00	5:11	17:40	18:01	18:22	18:11	26	5:35	5:14	4:50	4:26	17:37	17:58	18:22	18:46
27	5:42	5:21	5:00	5:10	17:40	18:01	18:23	18:12	27	5:34	5:14	4:50	4:25	17:37	17:57	18:22	18:46
28	5:42	5:21	4:58	5:10	17:40	18:01	18:24	18:12	28	5:34	5:14	4:49	4:25	17:37	17:57	18:22	18:46
29	5:42	5:20	4:57	5:09	17:40	18:01	18:25	18:13	29	5:34	5:13	4:49	4:25	17:37	17:57	18:21	18:46
30	5:41	5:20	4:56	5:08	17:40	18:01	18:26	18:14	30	5:33	5:13	4:49	4:24	17:36	17:57	18:21	18:45
31	5:41	5:20	4:55	5:07	17:40	18:01	18:26	18:14	31	5:33	5:13	4:48	4:24	17:36	17:56	18:21	18:45

Setembro									Outubro								
		Alvorada			Crepúsculo						Alvorada			Crepúsculo			
Dia	Nascer	Civil	Náut.	Astr.	Ocaso	Civil	Náut.	Astr.	Dia	Nascer	Civil	Náut.	Astr.	Ocaso	Civil	Náut.	Astr.
1	5:32	5:12	4:48	4:24	17:36	17:56	18:21	18:45	1	5:19	5:00	4:35	4:11	17:29	17:49	18:13	18:37
2	5:32	5:12	4:48	4:23	17:36	17:56	18:20	18:44	2	5:19	4:59	4:34	4:10	17:29	17:49	18:13	18:37
3	5:32	5:11	4:47	4:23	17:36	17:56	18:20	18:44	3	5:18	4:58	4:34	4:10	17:28	17:48	18:12	18:37
4	5:31	5:11	4:47	4:23	17:35	17:56	18:20	18:44	4	5:18	4:58	4:34	4:09	17:28	17:48	18:12	18:36
5	5:31	5:11	4:46	4:22	17:35	17:55	18:19	18:44	5	5:17	4:57	4:33	4:09	17:28	17:48	18:12	18:36
6	5:30	5:10	4:46	4:22	17:35	17:55	18:19	18:43	6	5:17	4:57	4:33	4:09	17:28	17:48	18:12	18:36
7	5:30	5:10	4:46	4:21	17:35	17:55	18:19	18:43	7	5:17	4:57	4:32	4:08	17:28	17:48	18:12	18:36
8	5:29	5:09	4:45	4:21	17:34	17:54	18:19	18:43	8	5:16	4:56	4:32	4:08	17:27	17:47	18:12	18:36
9	5:29	5:09	4:45	4:21	17:34	17:54	18:18	18:42	9	5:16	4:56	4:31	4:07	17:27	17:47	18:12	18:36
10	5:29	5:08	4:44	4:20	17:34	17:54	18:18	18:42	10	5:15	4:55	4:31	4:07	17:27	17:47	18:11	18:36
11	5:28	5:08	4:44	4:20	17:34	17:54	18:18	18:42	11	5:15	4:55	4:31	4:06	17:27	17:47	18:11	18:36
12	5:28	5:08	4:43	4:19	17:33	17:53	18:18	18:42	12	5:15	4:55	4:30	4:06	17:27	17:47	18:11	18:36
13	5:27	5:07	4:43	4:19	17:33	17:53	18:17	18:41	13	5:14	4:54	4:30	4:06	17:27	17:47	18:11	18:35
14	5:27	5:07	4:43	4:19	17:33	17:53	18:17	18:41	14	5:14	4:54	4:29	4:05	17:26	17:47	18:11	18:35
15	5:26	5:06	4:42	4:18	17:33	17:53	18:17	18:41	15	5:14	4:53	4:29	4:05	17:26	17:47	18:11	18:35
16	5:26	5:06	4:42	4:18	17:32	17:52	18:16	18:40	16	5:13	4:53	4:29	4:04	17:26	17:46	18:11	18:35
17	5:25	5:05	4:41	4:17	17:32	17:52	18:16	18:40	17	5:13	4:53	4:28	4:04	17:26	17:46	18:11	18:35
18	5:25	5:05	4:41	4:17	17:32	17:52	18:16	18:40	18	5:13	4:52	4:28	4:04	17:26	17:46	18:11	18:35
19	5:24	5:04	4:40	4:16	17:32	17:52	18:16	18:40	19	5:12	4:52	4:28	4:03	17:26	17:46	18:11	18:35
20	5:24	5:04	4:40	4:16	17:31	17:51	18:15	18:39	20	5:12	4:52	4:27	4:03	17:26	17:46	18:11	18:35
21	5:24	5:04	4:39	4:15	17:31	17:51	18:15	18:39	21	5:12	4:52	4:27	4:02	17:26	17:46	18:11	18:35
22	5:23	5:03	4:39	4:15	17:31	17:51	18:15	18:39	22	5:12	4:51	4:27	4:02	17:26	17:46	18:11	18:35
23	5:23	5:03	4:39	4:15	17:31	17:51	18:15	18:39	23	5:11	4:51	4:26	4:02	17:26	17:46	18:11	18:35
24	5:22	5:02	4:38	4:14	17:30	17:50	18:14	18:38	24	5:11	4:51	4:26	4:01	17:26	17:46	18:11	18:36
25	5:22	5:02	4:38	4:14	17:30	17:50	18:14	18:38	25	5:11	4:50	4:26	4:01	17:26	17:46	18:11	18:36
26	5:21	5:01	4:37	4:13	17:30	17:50	18:14	18:38	26	5:11	4:50	4:26	4:01	17:26	17:46	18:11	18:36
27	5:21	5:01	4:37	4:13	17:30	17:50	18:14	18:38	27	5:11	4:50	4:25	4:00	17:26	17:46	18:11	18:36
28	5:20	5:00	4:36	4:12	17:29	17:49	18:13	18:38	28	5:10	4:50	4:25	4:00	17:26	17:46	18:11	18:36
29	5:20	5:00	4:36	4:12	17:29	17:49	18:13	18:37	29	5:10	4:50	4:25	4:00	17:26	17:46	18:11	18:36
30	5:19	5:00	4:35	4:11	17:29	17:49	18:13	18:37	30	5:10	4:49	4:25	4:00	17:26	17:46	18:11	18:36
									31	5:10	4:49	4:24	4:00	17:26	17:46	18:11	18:36

Novembro									Dezembro								
		Alvorada			Crepúsculo						Alvorada			Crepúsculo			
Dia	Nascer	Civil	Náut.	Astr.	Ocaso	Civil	Náut.	Astr.	Dia	Nascer	Civil	Náut.	Astr.	Ocaso	Civil	Náut.	Astr.
1	5:10	4:49	4:24	4:00	17:26	17:47	18:12	18:37	1	5:13	4:51	4:25	3:59	17:34	17:55	18:21	18:48
2	5:10	4:49	4:24	3:59	17:26	17:47	18:12	18:37	2	5:13	4:52	4:25	4:00	17:34	17:56	18:22	18:48
3	5:10	4:49	4:24	3:59	17:26	17:47	18:12	18:37	3	5:13	4:52	4:26	4:00	17:35	17:56	18:22	18:49
4	5:09	4:49	4:24	3:58	17:26	17:47	18:12	18:37	4	5:14	4:52	4:26	4:00	17:35	17:57	18:23	18:49
5	5:09	4:49	4:24	3:58	17:26	17:47	18:12	18:37	5	5:14	4:52	4:26	4:00	17:36	17:57	18:23	18:50
6	5:09	4:48	4:23	3:58	17:26	17:47	18:12	18:38	6	5:15	4:53	4:27	4:00	17:36	17:58	18:24	18:50
7	5:09	4:48	4:23	3:58	17:27	17:47	18:13	18:38	7	5:15	4:53	4:27	4:00	17:36	17:58	18:24	18:51
8	5:09	4:48	4:23	3:58	17:27	17:48	18:13	18:38	8	5:15	4:54	4:27	4:01	17:37	17:59	18:25	18:51
9	5:09	4:48	4:23	3:58	17:27	17:48	18:13	18:39	9	5:16	4:54	4:28	4:01	17:37	18:00	18:25	18:52
10	5:09	4:48	4:23	3:58	17:27	17:48	18:13	18:39	10	5:16	4:54	4:28	4:02	17:38	18:00	18:26	18:53
11	5:09	4:48	4:23	3:57	17:27	17:48	18:14	18:39	11	5:17	4:55	4:28	4:02	17:38	18:00	18:26	18:53
12	5:09	4:48	4:23	3:57	17:27	17:49	18:14	18:39	12	5:17	4:55	4:29	4:02	17:39	18:01	18:27	18:54
13	5:09	4:48	4:23	3:57	17:28	17:49	18:14	18:40	13	5:17	4:56	4:29	4:03	17:39	18:01	18:28	18:54
14	5:09	4:48	4:23	3:57	17:28	17:49	18:15	18:40	14	5:18	4:56	4:30	4:03	17:40	18:02	18:28	18:55
15	5:09	4:48	4:23	3:57	17:28	17:49	18:15	18:41	15	5:18	4:57	4:30	4:04	17:40	18:02	18:29	18:55
16	5:10	4:48	4:23	3:57	17:28	17:50	18:15	18:41	16	5:19	4:57	4:31	4:04	17:41	18:03	18:29	18:56
17	5:10	4:48	4:23	3:57	17:29	17:50	18:16	18:41	17	5:19	4:57	4:31	4:04	17:41	18:03	18:30	18:56
18	5:10	4:49	4:23	3:57	17:29	17:50	18:16	18:42	18	5:20	4:58	4:32	4:05	17:42	18:04	18:30	18:57
19	5:10	4:49	4:23	3:57	17:29	17:51	18:16	18:42	19	5:20	4:58	4:32	4:05	17:42	18:04	18:31	18:57
20	5:10	4:49	4:23	3:57	17:30	17:51	18:17	18:43	20	5:21	4:59	4:32	4:06	17:43	18:05	18:31	18:58
21	5:10	4:49	4:23	3:57	17:30	17:51	18:17	18:43	21	5:21	5:00	4:33	4:06	17:43	18:05	18:32	18:58
22	5:10	4:49	4:23	3:57	17:30	17:52	18:17	18:43	22	5:22	5:00	4:33	4:07	17:44	18:06	18:32	18:59
23	5:11	4:49	4:23	3:57	17:31	17:52	18:18	18:44	23	5:22	5:00	4:34	4:07	17:44	18:06	18:33	19:00
24	5:11	4:49	4:24	3:58	17:31	17:52	18:18	18:44	24	5:23	5:01	4:34	4:08	17:45	18:07	18:33	19:00
25	5:11	4:50	4:24	3:58	17:31	17:53	18:19	18:45	25	5:23	5:01	4:35	4:08	17:45	18:07	18:34	19:00
26	5:11	4:50	4:24	3:58	17:32	17:53	18:19	18:45	26	5:24	5:02	4:36	4:09	17:46	18:08	18:34	19:01
27	5:12	4:50	4:24	3:58	17:32	17:54	18:20	18:46	27	5:24	5:02	4:36	4:09	17:46	18:08	18:35	19:01
28	5:12	4:50	4:24	3:58	17:32	17:54	18:20	18:46	28	5:25	5:03	4:37	4:10	17:47	18:09	18:35	19:02
29	5:12	4:51	4:25	3:58	17:33	17:54	18:21	18:47	29	5:25	5:03	4:37	4:10	17:47	18:09	18:35	19:02
30	5:12	4:51	4:25	3:59	17:33	17:55	18:21	18:47	30	5:26	5:04	4:38	4:11	17:48	18:09	18:36	19:02
									31	5:26	5:04	4:38	4:12	17:48	18:10	18:36	19:03

Fonte: Observatório Astronômico Nacional