

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM
COMPUTACIONAL DE CONHECIMENTO

JORGE SILVESTRE DA SILVA

**MODELAGEM COMPUTACIONAL DA INTERDEPENDÊNCIA ENTRE O
FENÔMENO ENOS E A PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA REGIÃO
LESTE DO ESTADO DE ALAGOAS**

Maceió – AL

2012

JORGE SILVESTRE DA SILVA

**MODELAGEM COMPUTACIONAL DA INTERDEPENDÊNCIA ENTRE O
FENÔMENO ENOS E A PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA REGIÃO
LESTE DO ESTADO DE ALAGOAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos exigidos pelo Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional de Conhecimento, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Pacca Loureiro Luna

Co-Orientador: Prof. Ms. Silvio Chagas da Silva

Maceió – AL

2012

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Janaina Xisto de Barros Lima

S586m Silva, Jorge Silvestre da.
Modelagem computacional da interdependência entre o fenômeno ENOS e a precipitação pluviométrica na Região Leste do Estado de Alagoas / Jorge Silvestre da Silva, 2012.
147 f. : il.

Orientador: Henrique Pacca Loureiro Luna.

Co-Orientador: Silvio Chagas da Silva.

Dissertação (mestrado em Modelagem Computacional de Conhecimento) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Computação. Maceió, 2012.

Bibliografia: f. 137-141.

Apêndice: f. 142-147.

1. Modelagem computacional. 2. Precipitação pluviométrica.
3. Meteorologia. I. Título.

CDU: 004.8:551.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS/UFAL
Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional de Conhecimento
Avenida Lourival Melo Mota, Km 14, Bloco 09, Cidade Universitária
CEP 57.072-900 – Maceió – AL – Brasil
Telefone: (082) 3214-1364



Membros da Comissão Julgadora da Dissertação de Mestrado de Jorge Silvestre da Silva, intitulada: “Modelagem Computacional da interdependência entre o Fenômeno ENOS e a Precipitação Pluviométrica em Maceió”, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional de Conhecimento da Universidade Federal de Alagoas em 31 de maio de 2012, às 10h00min, na sala de aula do Mestrado em Modelagem Computacional de Conhecimento.

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Henrique Pacca Loureiro Luna

UFAL – Instituto de Computação

Orientador

Prof. Dr. Marcus de Melo Braga

UFAL – Instituto de Computação

Examinador

Prof. Dr. Manoel Ferreira do Nascimento Filho

UFAL – Instituto de Ciências Atmosféricas

Examinador

Prof. Dr. Rafael Piatti Oiticica de Paiva

PO2 – Planejamento e Otimização

Examinador

Maceió, maio de 2012.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Manoel Silvestre da Silva (in memorian) e Irene Silvestre da Silva, pela dedicação e amor, imprescindíveis ao meu desenvolvimento como ser humano.

Aos meus irmãos, Maria Georgina Silvestre Lima, Maria Georgete Silvestre da Silva, Tereza Maria Silvestre Coelho, Tânia Maria Silvestre da Silva e José Rui Silvestre da Silva (in memorian), pelo carinho e companheirismo.

À minha esposa, Osmair Catarina Silvestre, pelo incentivo, apoio, dedicação e confiança em mim depositada.

Aos meus filhos, Priscyla Bezerra Silvestre, Vinicius Catarina Silvestre (in memorian) e Izadora Maria Catarina Silvestre, pelo carinho e amor, responsáveis estes pela força, necessária para eu prosseguir na caminhada.

Aos meus maravilhosos sobrinhos, Luis Carlos Silvestre do Nascimento, Rosetânia Silvestre Lins, Emanuele Chanara Silvestre Lima, Cleria Claudia Coelho Silvestre, Kleber Silvestre Coelho, Erica Chenia Silvestre Lima, Kleberson Henrique Silvestre Coelho, Hildy Catarina Rocha, Lais Catarina Rocha e Cleany Augusta Catarina Rocha. Uma eterna gratidão, pela importância que vocês representam em nossa família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte do amor e sapiência, que me deu forças, coragem e inspiração, colocando em minha vida de forma estratégica, pessoas que me ajudaram nesse caminhar.

À Universidade Federal de Alagoas, pela iniciativa de implantar o curso de Mestrado em Modelagem Computacional de Conhecimento, propiciando-me assim, condições para a realização deste curso junto aos meus familiares.

Ao professor Msc. Givanildo de Góes, por sua preciosa colaboração, apoio e compartilhamento na elaboração de artigos e definição do tema norteador deste trabalho.

Ao professor Dr. Marcus de Melo Braga (IC-UFAL), pelo apoio, incentivo e confiança em mim depositados ao longo destes anos em que trabalhamos no antigo Núcleo de Processamento de Dados, quando o mesmo foi diretor e na equipe de correção do vestibular.

Ao professor e orientador, Dr. Henrique Pacca Loureiro Luna (IC-UFAL), pela prestimosa colaboração no desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Ao professor e co-orientador, Msc. Silvio Chagas da Silva (IC-UFAL), pela imprescindível colaboração e apoio.

Ao professor Dr. Anderson de Barros Dantas (IC-UFAL), pela confiança e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Dr. Manoel da Rocha Toledo Filho (in memoriam), (ICAT-UFAL), pelas informações, material de apoio, sugestões e grande espírito colaborativo.

Ao professor Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion (ICAT-UFAL), pelas informações, material de apoio e sugestões.

Ao professor Dr. Manoel Ferreira do Nascimento Filho (ICAT-UFAL), pela atenção, material de apoio e prestimosa colaboração.

Ao professor Dr. Francisco Neto de Assis (UFPel), pela presteza na elucidação de dúvidas que encontrei quando da leitura de seu livro.

Ao professor Dr. Gilberto Choraku Sedyama (UFV), pela presteza no envio de material de apoio.

Ao professor Dr. Patrick Henrique da Silva Brito (IC-UFAL), pela atenção, paciência, apoio e colaboração.

A todos os professores do Programa do Mestrado em Modelagem Computacional de Conhecimento, em especial aos professores: Dr. Anderson de Barros Dantas, Dr. Arturo Hernández-Domínguez, Dr. Evandro de Barros Costa, Dr. Fábio Paraguaçu Duarte da Costa, Dr. Henrique Pacca Loureiro Luna, Dr. João Inácio Soletti, Dr. Luis Cláudius Coradine e Dra. Roberta Vilhena Vieira Lopes.

Ao Secretário do Mestrado, José Vitor de Menezes Torres, pela atenção e colaboração a mim dispensadas.

Ao Setor Agrícola da Usina Utinga Leão, especialmente, ao Sr Heleno Soares Jorge, por nos ter fornecido a Série Climatológica utilizada neste trabalho.

“A mudança é um convite para a expressão mais plena da vida. Significa que uma nova porta se abriu e que você está pronto para dar um passo à frente.”

Emmet Fox

“Todos os homens, por natureza, desejam saber.”

Aristóteles (384 A.C – 322 A.C)

“Um sonho sonhado sozinho é um sonho. Um sonho sonhado junto é realidade.”

Raul Seixas

RESUMO

Alguns fenômenos estocásticos podem de alguma forma, causar danos significativos à natureza e ao ser humano. Entre esses fenômenos se encontra a variável meteorológica precipitação pluviométrica, que é a mais importante para as atividades agrícolas e ambientais desenvolvidas nas regiões tropicais. Embora seu registro seja tido como um dos mais simples torna-se difícil, em alguns locais, a sua medição dada a falta de uma rede de estações pluviométricas bem distribuídas na maioria das regiões ou pela ocorrência de erros de medição causados por instrumentos mal calibrados. A modelagem computacional tem sido cada vez mais aceita e empregada como uma técnica que permite aos analistas dos mais diversos segmentos, verificarem ou encaminharem soluções, com a profundidade desejada, aos problemas com os quais lidam diariamente, nas mais diversas áreas de atividades humanas. A precipitação pluviométrica, pela sua relevância no contexto sócio-econômico, principalmente em regiões onde predominantemente se convive com uma economia agrícola, a falta de chuva acarreta grandes perdas no setor produtivo e também acarreta o êxodo rural. Nesse contexto, a variável precipitação pluviométrica é estudada neste trabalho de pesquisa, utilizando-se de técnicas de modelagem computacional, monitorada ao longo de cem anos, de 1911 a 2010, como forma de melhor entender o seu comportamento, podendo assim, gerar informações pertinentes para a tomada de decisão.

Palavras-Chave: Variáveis estocásticas. Precipitação pluviométrica. Modelagem computacional. Monitoramento de chuva.

ABSTRACT

Some stochastic phenomena can some way cause meaningful damages to the nature and human being as well. Among these phenomena there is the variable meteorological rainfall, which is the most important one for the agricultural and environmental activities developed in the tropical regions. Although its record has been taking as one of the simplest ones it's difficult, in some places, its measurement due to the lack of a well distributed pluviometer station net in most of the regions or due to mistakes occurred during the measured caused by badly calibrated instruments. The computational model has been more and more accepted and applied as a technique that allows to the analysts from different segments to verify or offer solutions with the efficiency required to the problems with whom they deal with daily in several areas of the human activities. The rainfall, through its relevance in the socio-economical context, mainly in regions where people live predominantly with an agricultural economy, the lack of rain causes a large loss in the productive sector and also causes the rural exodus. In this context, the variable rainfall is studied in this research work, using computational model techniques, monitored throughout 100 years, from 1911 to 2010, as a way to better understand its behavior, making possible that way, to generate appropriated information for the decision making.

Keywords: Stochastic variables. Rainfall. Computational modeling. Rain monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1-Comportamento da Célula de Walker em Condições Normais (ou Neutras).....	28
Figura 2.2-Comportamento da Célula de Walker em Situações de El Niño.....	29
Figura 2.3-Comportamento da Célula de Walker em Situações de La Niña.....	30
Figura 2.4-Anomalias de Temperaturas da Superfície do Mar(TSM), Relacionadas ao El Niño.....	30
Figura 2.5-Anomalias de Temperaturas da Superfície do Mar(TSM). Relacionadas à La Niña.....	31
Figura 2.6-Visualização das Regiões Niño.....	32
Figura 2.7-Anomalias de Temperaturas da Superfície do Mar(TSM), Relacionadas a El Niño e a La Niña.....	33
Figura 3.1-Movimento Circular da Atividade Científica.....	35
Figura 3.2-Escopo Geral da Atividade de Modelagem em Situação de Incerteza.....	36
Figura 3.3-Uma Classificação Geral dos Modelos.....	37
Figura 3.4-Exemplo de Estrutura Gráfica de Rede Bayesiana.....	42
Figura 4.1-Influência de Anomalia de Chuva na Primavera em Anomalia de Chuva no Verão Subsequente.....	63
Figura 4.2-Influência de Anomalia de Chuva no Verão em Anomalia de Chuva no Outono.....	71
Figura 4.3-Influência de Anomalia de Chuva no Outono em Anomalia de Chuva no Inverno.....	78
Figura 4.4-Influência de Anomalia de Chuva no Inverno em Anomalia de Chuva na Primavera.....	85
Figura 4.5-Influência do Fenômeno ENOS em Anomalia de Chuva no Verão.....	91
Figura 4.6-Influência do Fenômeno ENOS e de Anomalia de Chuva na Primavera em Anomalia de Chuva no Verão.....	93
Figura 4.7-Influência do Fenômeno ENOS em Anomalia de Chuva no Outono.....	98
Figura 4.8-Influência do Fenômeno ENOS e de Anomalia de Chuva no Verão em Anomalia de Chuva no Outono.....	100

Figura 4.9 - Influência do Fenômeno ENOS em Anomalia de Chuva no Inverno.....	105
Figura 4.10 -Influência do Fenômeno ENOS e de Anomalia de Chuva no Outono em Anomalia de Chuva no Inverno.....	108
Figura 4.11 -Influência do Fenômeno ENOS em Anomalia de Chuva na Primavera.....	113
Figura 4.12 -Influência do Fenômeno ENOS e de Anomalia de Chuva no Inverno em Anomalia de Chuva na Primavera.....	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Classificação dos Períodos Secos e Úmidos do SPI.....	54
Tabela 4.2 - Valores de Probabilidade Associados à Variável A_V , a Priori e Depois de se Conhecer A_P	65
Tabela 4.3 - Valores de Probabilidade Associados à Variável A_O , a Priori e Depois de se Conhecer A_V	72
Tabela 4.4 - Valores de Probabilidade Associados à Variável A_I , a Priori e Depois de se Conhecer A_O	79
Tabela 4.5 - Valores de Probabilidade Associados à Variável A_P , a Priori e Depois de se Conhecer A_I	86
Tabela 4.6 - Médias Pluviométricas por Estação do Ano na Série Climatológica.....	87
Tabela 4.7 - Médias Pluviométricas por Estação do Ano e por Período de 50 Anos na Série Climatológica.....	88
Tabela 4.8 - Valores de Probabilidade Associados à Variável A_V , a Priori e Depois de se Conhecer E_V	92
Tabela 4.9 - Valores de Frequências Relativas Relacionadas à Estação Verão.....	95
Tabela 4.10 -Valores de Probabilidade Associados à Variável A_O , a Priori e Depois de se Conhecer E_O	99
Tabela 4.11 - Valores de Frequências Relativas Relacionadas à Estação Outono.....	104
Tabela 4.12 -Valores de Probabilidade Associados à Variável A_I , a Priori e Depois de se Conhecer E_I	106
Tabela 4.13 - Valores de Frequências Relativas Relacionadas à Estação Inverno.....	110
Tabela 4.14 -Valores de Probabilidade Associados à Variável A_P , a Priori e Depois de se Conhecer E_P	114
Tabela 4.15 - Valores de Frequências Relativas Relacionadas à Estação Primavera.....	119
Tabela 4.16 - Classificação SPI-3 e Anomalias de Chuva no Verão.....	120
Tabela 4.17 - Classificação SPI-3 e Fenômeno ENOS no Verão.....	123
Tabela 4.18 - Classificação SPI-3 e Anomalias de Chuva no Outono.....	125
Tabela 4.19 - Classificação SPI-3 e Fenômeno ENOS no Outono.....	126

Tabela 4.20 - Classificação SPI-3 e Anomalias de Chuva no Inverno.....	128
Tabela 4.21 - Classificação SPI-3 e Fenômeno ENOS no Inverno.....	129
Tabela 4.22 - Classificação SPI-3 e Anomalias de Chuva na Primavera.....	131
Tabela 4.23 - Classificação SPI-3 e Fenômeno ENOS na Primavera.....	132

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Regiões Niño.....	32
Quadro 3.1 – Procedimentos para Construção Incremental de Rede Bayesiana.....	46
Quadro 4.1 – Anos de Anomalias de Chuva no Verão e Fenômenos ENOS.....	61
Quadro 4.2 – Anos com Ocorrência de Anomalias de Chuva Durante o Verão.....	62
Quadro 4.3 – Anos de Anomalias de Chuva no Outono e Fenômenos ENOS.....	68
Quadro 4.4 – Anos com Ocorrência de Anomalias de Chuva Durante o Outono.....	70
Quadro 4.5 – Anos de Anomalias de Chuva no Inverno e Fenômenos ENOS.....	76
Quadro 4.6 – Anos com Ocorrência de Anomalias de Chuva Durante o Inverno.....	77
Quadro 4.7 – Anos de Anomalias de Chuva na Primavera e Fenômenos ENOS.....	83
Quadro 4.8 – Anos com Ocorrência de Anomalias de Chuva Durante a Primavera.....	84
Quadro 4.9 – Características das Anomalias de Chuva por Estação do Ano.....	90
Quadro 4.10–Características das Anomalias de Chuva por Estação do Ano e o Fenômeno El Niño.....	121
Quadro 4.11–Características das Anomalias de Chuva por Estação do Ano e o Fenômeno La Niña.....	122

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1– Temperatura do ar, de determinado local, durante 24 horas.....	48
Gráfico 4.1– Box-plot dos valores mensais da série climatológica.....	58
Gráfico 4.2– Classificação SPI–3 para o Verão.....	124
Gráfico 4.3– Classificação SPI–3 para o Outono.....	127
Gráfico 4.4– Classificação SPI–3 para o Inverno.....	130
Gráfico 4.5– Classificação SPI–3 para a Primavera.....	133

LISTA DE ABREVIATURAS

CIRAM	Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
EMA	Erro Médio Absoluto
ENOS	El Niño Oscilação Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Internacional de Mudanças Climáticas
IOS	Índice de Oscilação Sul
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NEB	Nordeste Brasileiro
NOAA	National Oceanic & Atmospheric Administration
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PO	Pesquisa Operacional
SPI	Standardized Precipitation Index
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Motivação	20
2	FENÔMENOS METEOROLÓGICOS	23
2.1	Definição de Seca	23
2.1.1	Seca Meteorológica.....	23
2.1.2	Seca Agrícola.....	24
2.1.3	Seca Hidrológica.....	24
2.1.4	Seca Sócio-Econômica.....	24
2.2	O Fenômeno ENOS	24
2.2.1	El Niño Oscilação Sul.....	26
2.2.2	Células de Walker e o ENOS.....	27
2.2.3	El Niño.....	28
2.2.4	La Niña.....	29
2.2.5	Cronologia do ENOS.....	31
2.2.6	O ENOS e os Efeitos na Agricultura.....	34
3	MODELAGEM COMPUTACIONAL	35
3.1	Princípios do Processo de Modelagem	35
3.2	Classificação de Modelos	36
3.3	Modelos Probabilísticos e Redes Bayesianas	37
3.3.1	Variáveis Aleatórias.....	37
3.3.2	Variáveis Aleatórias Discretas e Função Densidade de Probabilidade.....	38
3.3.3	Variáveis Aleatórias Contínuas e Função Densidade de Probabilidade.....	39
3.3.4	Probabilidade Condicional.....	40
3.3.5	Teorema de Bayes.....	41
3.3.6	Definição de Rede Bayesiana.....	41
3.3.7	Definições Relacionadas à Estrutura de Redes Bayesianas.....	43
3.3.8	Probabilidade para Representar Incerteza.....	44
3.3.9	Origem das Redes Bayesianas.....	44
3.3.10	Justificativa para o Uso de Redes Bayesianas.....	45

3.3.11	Construção de Redes Bayesianas.....	45
3.4	Séries Temporais.....	47
3.4.1	Notação e Objetivos da Análise de Séries Temporais.....	48
3.4.2	Estacionariedade.....	49
3.5	Dados e Área de Estudo.....	50
3.6	O Índice de Precipitação Padronizada – SPI (Standardized Precipitation Index).....	50
3.6.1	Interpretação do SPI para Diferentes Escalas de Tempo.....	54
3.6.2	Interpretação do SPI de 1 mês.....	54
3.6.3	Interpretação do SPI de 3 meses.....	55
3.6.4	Interpretação do SPI de 6 meses.....	55
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	57
4.1	Procedimento para a Determinação de Anomalias de Chuva.....	57
4.2	Características da Estação Verão.....	59
4.2.1	Estudo da Influência da Ocorrência de Anomalia de Chuva na Primavera em Anomalia de Chuva no Verão Subsequente.....	63
4.3	Características da Estação Outono.....	66
4.3.1	Estudo da Influência da Ocorrência de Anomalia de Chuva no Verão em Anomalia de Chuva no Outono.....	71
4.4	Características da Estação Inverno.....	73
4.4.1	Estudo da Influência da Ocorrência de Anomalia de Chuva no Outono em Anomalia de Chuva no Inverno.....	78
4.5	Características da Estação Primavera.....	81
4.5.1	Estudo da Influência da Ocorrência de Anomalia de Chuva no Inverno em Anomalia de Chuva na Primavera.....	85
4.6	Médias Pluviométricas e Quadro de Anomalias de Chuva nas Estações na Série Climatológica.....	87
4.7	Interdependência com o Fenômeno ENOS.....	91
4.7.1	Influência do Fenômeno ENOS na Anomalia de Chuva no Verão.....	91
4.7.2	Influência do Fenômeno ENOS e de Anomalia de Chuva na Primavera em Anomalia de Chuva no Verão.....	93
4.7.3	Influência do Fenômeno ENOS na Anomalia de Chuva no Outono.....	98

4.7.4	Influência do Fenômeno ENOS e de Anomalia de Chuva no Verão em Anomalia de Chuva no Outono.....	100
4.7.5	Influência do Fenômeno ENOS na Anomalia de Chuva no Inverno.....	105
4.7.6	Influência do Fenômeno ENOS e de Anomalia de Chuva no Outono em Anomalia de Chuva no Inverno.....	108
4.7.7	Influência do Fenômeno ENOS na Anomalia de Chuva na Primavera.....	113
4.7.8	Influência do Fenômeno ENOS e de Anomalia de Chuva no Inverno em Anomalia de Chuva na Primavera.....	115
4.8	Estação Verão e Classificação SPI-3.....	120
4.9	Estação Outono e Classificação SPI-3.....	124
4.10	Estação Inverno e Classificação SPI-3.....	127
4.11	Estação Primavera e Classificação SPI-3.....	130
5	CONCLUSÃO.....	134
	REFERÊNCIAS.....	137
	APÊNDICE.....	142

1 INTRODUÇÃO

O tema estudado no presente trabalho é pertinente à área de meteorologia. Entretanto, a abordagem metodológica adotada não se resume ao estudo dos fenômenos meteorológicos *per se* (em si mesmo) e sim na descoberta do conhecimento realizada por meio da extração de informações em uma considerável massa de dados pluviométricos, usando redes bayesianas. Esta abordagem metodológica é que torna o presente estudo aderente ao Programa de Pós-Graduação de Modelagem Computacional do Conhecimento do Instituto de Computação da UFAL.

Os recentes cenários estabelecidos pelo Painel Internacional de Mudanças Climáticas – IPCC descrevem um aumento global acentuado da temperatura do globo, o que leva ao acréscimo de eventos meteorológicos específicos extremos, como seca, inundação, geada e furacão.

Verificamos em Molion e Bernardo (2002), que os mecanismos dinâmicos produtores de precipitação no Nordeste brasileiro podem ser classificados em mecanismos de grande escala, que são responsáveis por aproximadamente 30 a 80% da precipitação observada, de acordo com o local, e mecanismos de meso e micro escalas, que completam os totais observados.

Existem pelo menos seis sistemas atmosféricos que interferem diretamente nas condições de tempo sobre o Nordeste brasileiro – NEB, cuja ação conjunta ou não, produz precipitação pluviométrica significativa na região: A Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, as bandas de nebulosidade associadas a Sistemas Frontais, os Distúrbios de Leste, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis – VCAN, as Brisas Terrestres e Marítima, e um mecanismo de escala planetária conhecido como Oscilação 30 – 60 dias.

Também se observa o impacto causado pelo fenômeno El Niño – Oscilação Sul – ENOS, um exemplo de perturbação climática de escala global, onde pode ser sentida a mudança no total pluviométrico, que dependendo da intensidade pode resultar em secas severas (KOUSKY, 1979; MOLION e BERNARDO, 2002).

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os sistemas frontais, a alta do Atlântico Sul e os vórtices ciclônicos são alguns dos sistemas que atuam e sustentam o regime de chuva

no Nordeste brasileiro (HASTENRATH e HELLER, 1977; KOUSKY, 1979; HASTENRATH e LAMB, 1977; GAN e KOUSKY, 1986).

Porém, de acordo com Yamazaki e Rao (1977) e Chan (1990), um dos principais determinantes de precipitação para a região do Nordeste brasileiro são distúrbios como as ondas nos ventos alísios predominantes do Atlântico Sul, que se associam à formação de nuvens convectivas que se propagam de leste para oeste. Quando essa conjunção de fatores se articula é que ocorrem as secas de amplas proporções.

1.1 Motivação

De todas as atividades do setor produtivo, a agricultura e os recursos hídricos são as mais afetadas com relação aos extremos de temperatura (calor excessivo, geadas) e às mudanças nos regimes de precipitação (seca e inundação). Contudo, desses, os que têm efeito mais duradouro e que mais danos trazem à sociedade, são as estiagens ou secas.

Dessa forma, segundo Gois et al (2004) e Silva et al (2002), a precipitação pluvial é a responsável pela manutenção da vida animal e vegetal do planeta, sendo o seu estudo de suma importância na compreensão do regime hidrológico de uma região.

Por outro lado, verificamos em Marin et al (2000) que as estimativas de precipitações pluviométricas podem oferecer subsídios aos governos federais, estaduais e municipais em ações preventivas de combate a situações de calamidade pública causadas por enchentes e pelos intensos períodos de estiagens. Associado a esses dois eventos (enchentes e estiagens), o fenômeno meteorológico ENOS, em todo o mundo, vem causando anomalias diversas, inclusive no regime pluviométrico do Nordeste do Brasil.

Segundo Marengo et al (2007), historicamente a região Nordeste sempre foi afetada por grandes secas ou grandes cheias. Relatos de secas na região podem ser encontrados desde o século XVII. Estatisticamente, acontecem de 18 a 20 anos de seca a cada 100 anos. Kane, (1989), identificou para o Nordeste brasileiro, 29 anos de El Niño, em 137 anos analisados (1849-1985), desses 29 anos apenas 12 foram associados à secas na região.

Segundo Rodrigues da Silva et al (1998), os eventos de El Niño classificados como fraco e moderados exercem pouca influência no regime pluviométrico na região do semi-árido nordestino.

Os eventos de El Niño classificados como forte têm uma grande influência no clima, provocando secas e cheias e, portanto, afetando a agricultura e, em geral, a economia dos países, o estudo da Oscilação Sul e das suas anomalias, tem uma grande importância, não só para a economia mundial, mas também para a compreensão dos fenômenos climáticos.

Particularmente o Nordeste brasileiro, vem ao longo dos anos passando por calamidades em seus períodos de seca, principalmente a região do semi-árido, conseqüentemente causando a perda de safras agrícolas e o êxodo rural entre outros.

Na cidade de Maceió, principalmente nos períodos chuvosos, as casas que foram construídas de forma irregular em terrenos acidentados ou em encostas, geralmente são acometidas de desmoronamentos, provocados por deslizamentos de terra, ocasionando perdas de bens materiais e vidas humanas. Além dessa situação trágica, outra está associada aos efeitos danosos das enchentes, notadamente nas regiões onde não existe saneamento básico, gerando grandes focos disseminadores de doenças transmissíveis pela água, uma delas, a leptospirose, que nesse período é responsável pela perda de muitas vidas humanas.

Sendo assim, em Júnior et al (2004), verifica-se que o conhecimento das ocorrências de secas, através de sistemas de monitoramento, pode fornecer informações essenciais ao seu combate, e tais informações podem ser obtidas através da utilização de índices de secas, que se baseiam principalmente na medida da precipitação pluviométrica.

Estando a sociedade moderna permeada de crescentes problemas que requerem uma metodologia complexa na tentativa de sua solução, se faz necessário, na maioria das vezes, elaborarmos modelos que simulem de forma bastante aproximada e com alta margem de segurança o fenômeno pesquisado. A disseminação do uso da informática, a robustez de hardware e software, como também o aparato matemático disponível, criaram condições favoráveis à elaboração desses modelos de simulação computacional. O seu emprego perpassa praticamente por todas as áreas do conhecimento.

Ao ser constatado que o início da quadra chuvosa no município de Rio Largo-AL, ao longo de oito anos, 1998 à 2005, sofreu uma mudança de Abril para Maio, segundo Calheiros et al (2006), e Chagas et al (2003), tomou-se como referência essas informações para se verificar a interdependência do fenômeno ENOS com a precipitação pluviométrica na região Leste do Estado de Alagoas.

Este trabalho tem como objetivos estudar a distribuição da precipitação pluviométrica na região Leste do Estado de Alagoas, representada por uma série temporal de 100 anos, da estação meteorológica pertencente à Usina Utinga Leão, situada no município de Rio Largo-Alagoas, utilizando como método, o índice SPI (Standardized Precipitation Index), através de modelagem computacional e verificar a interdependência entre o fenômeno El Niño Oscilação Sul – ENOS e as oscilações em torno da média climatológica das chuvas da região.

2 FENÔMENOS METEOROLÓGICOS

Os fenômenos meteorológicos relacionados neste trabalho de pesquisa são: precipitação pluviométrica, seca e El Niño Oscilação Sul – ENOS.

2.1 Definição de Seca

Segundo McKee et al (1993), não existe para a seca nenhuma definição válida para qualquer região, em qualquer época e ainda adequada a toda e qualquer atividade.

Mas, comum a todos os tipos de seca é o fato delas se originarem de um déficit de precipitação que resulta em uma baixa disponibilidade hídrica, para a atividade que a requer (WILHITE et al, 1987).

Conceitualmente, precipitação é a água proveniente do vapor d'água da atmosfera, que chega à superfície terrestre, sob a forma de: chuva, granizo, neve, orvalho, etc.

As secas são percebidas de modos diferentes em regiões com distintas características climáticas, e com diferentes níveis de utilização de água. Este fato contribui para a inexistência de uma definição rigorosa da seca universalmente aceita e, de um modelo uniforme de abordagem para o seu estudo, havendo várias definições de seca. De modo geral, Olapido (1985) e Dracup et al (1980), exemplificam quatro definições de seca baseadas em considerações meteorológicas, hidrológicas, agrícolas e econômicas.

2.1.1 Seca Meteorológica

É caracterizada pelo déficit da precipitação em relação ao valor normal; caracteriza-se pela falta de água induzida pelo desequilíbrio entre a precipitação e a evaporação, a qual depende de outros elementos como a velocidade do vento, temperatura, umidade do ar e insolação (OLAPIDO, 1985; DRACUP et al, 1980).

A definição de seca meteorológica deve ser considerada como dependente da região, uma vez que as condições atmosféricas que resultam em deficiências de precipitação podem ser muito diferentes de região para região (OLAPIDO, 1985; DRACUP et al, 1980).

2.1.2 Seca Agrícola

Está associada à falta de água causada pelo desequilíbrio entre água disponível no solo, a necessidade das culturas e a transpiração das plantas. Este tipo de seca está relacionado com as características das culturas, da vegetação natural, ou seja, dos sistemas agrícolas em geral. A seca agrícola manifesta-se após a seca meteorológica, mas antes da seca hidrológica (OLAPIDO, 1985; DRACUP et al, 1980).

2.1.3 Seca Hidrológica

Está relacionada com a redução dos níveis médios de água nos reservatórios de superfície e subterrâneos e com a depleção de água no solo. Este tipo de seca está normalmente defasado da seca meteorológica, dado que é necessário um período maior para que as deficiências na precipitação se manifestem nos diversos componentes do sistema hidrológico (OLAPIDO, 1985; DRACUP et al, 1980).

2.1.4 Seca Sócio-Econômica

Está relacionada com o impacto da seca sobre as atividades do homem, incluindo os impactos diretos e indiretos na produção agrícola e outras atividades econômicas. Ocorre quando o déficit de água induz a falta de bens ou serviços (energia elétrica, alimentos entre outros) devido a um volume de água inadequado resultante de uma má distribuição das chuvas, de um aumento no consumo, ou ainda de uma má gestão dos recursos hídricos. Ela é a expressão econômica dos impactos da seca hidrológica nas diferentes atividades sócio-econômica da sociedade (OLAPIDO, 1985; DRACUP et al, 1980).

2.2 O Fenômeno ENOS

O papel dos oceanos é importante não somente pelo imenso reservatório de água, um elemento vital à vida, mas principalmente pelo controle climático, através da redistribuição de calor sobre o planeta. Considerando que a água é cerca de mil vezes mais densa que o ar e, desde que a quantidade de energia térmica transportada por um fluido em movimento é proporcional à sua densidade, um volume de água pode transportar cerca de mil vezes mais calor que um volume equivalente de ar. Desta forma, flutuações de curto período no vento ou na temperatura do ar podem influenciar diretamente as correntes e a temperatura dos oceanos, enquanto que flutuações oceânicas podem aumentar, diminuir ou modificar as flutuações

atmosféricas, mostrando que, os oceanos e a atmosfera são fortemente acoplados e juntos formam o componente mais dinâmico do sistema climático (GLANTZ, 1996).

Registros paleoclimáticos, como evidências geológicas e anéis de crescimento das árvores e, atualmente por meio de instrumentos postos em 25 bóias e, ou, por sensores remotos postos em satélites, comprovam períodos de aquecimento e, ou, resfriamento da temperatura da superfície do oceano Pacífico Tropical. A essas anomalias, marinheiros do porto de Paita, no Peru, começaram a denominar de El Niño, em referência ao menino Jesus, haja vista que, os efeitos desse fenômeno eram mais visíveis na época do Natal (OLIVEIRA, 1999; SILVA, 2000).

No Peru, arquivos de documentos dos primeiros colonizadores confirmam que os impactos do El Niño na região (inundação, distúrbio na vida marinha, etc) eram conhecidos, desde 1525, tempo em que o primeiro conquistador, Francisco Pizarro, colocou ali os pés.

Também foram achadas evidências geológicas de ocorrências de El Niño em comunidades peruanas costeiras de pelo menos 13.000 anos atrás. Os Incas, que tinham conhecimentos sobre o El Niño, construíam suas cidades nos topos de colinas e a população mantinha estoques de comida nas montanhas e, se as construíam na região costeira, não era perto de rios (SILVA, 2000).

Na década de 1920, o matemático Sir Gilbert Walker estabeleceu uma correlação inversa existente entre a pressão atmosférica nos extremos leste e oeste do oceano Pacífico, sendo esta, chamada de Oscilação Sul (SILVA, 2000).

No final da década de 1960, o norueguês J. Bjerknes, explicou de forma mais detalhada a interação tropical oceano-atmosfera que mantém as fases frias e quentes do El Niño Oscilação Sul – ENOS (SILVA, 2000).

Mas foi apenas há cerca de 25 anos que o mundo começou a prestar atenção nesse fenômeno, após as consequências causadas pelo El Niño de 1982/83, intensificando assim esforços para entender como o processo ocorre globalmente (OLIVEIRA, 1999; SILVA, 2000).

Em anos normais, sem a presença do El Niño ou La Niña, as águas do Oceano Pacífico Equatorial Oeste são mais quentes do que junto à costa oeste da América do Sul, onde as

águas do Pacífico são um pouco mais frias. A circulação do ar que sobe no Pacífico Equatorial Central e que vai para o leste em altos níveis da atmosfera e desce no Pacífico Leste, em conjunto com os ventos alísios em baixos níveis da atmosfera, formam o que os meteorologistas chamam de Célula de circulação de Walker (OLIVEIRA, 1999; SILVA, 2000).

Este é o padrão de circulação em todo o Pacífico Equatorial em anos normais. Como as águas do oceano no Pacífico Oeste são mais quentes, há mais evaporação e formam-se nuvens numa grande área. Em regiões em que o ar vem de altos níveis da troposfera para níveis mais baixos, raramente há formação de nuvens de chuva (OLIVEIRA, 1999; SILVA, 2000).

Se o ar sobe numa determinada região da atmosfera, deverá descer em outra. Se próximo à superfície (baixos níveis da atmosfera) os ventos são de oeste para leste, em altos níveis ocorre o contrário, os ventos são de leste para oeste. Assim, o ar sobe no Pacífico Equatorial Central e Oeste e desce no Pacífico Leste (junto à costa oeste da América do Sul) (OLIVEIRA, 1999; SILVA, 2000).

2.2.1 El Niño Oscilação Sul

Verificamos em Aceituno (1992), Glantz (1996), Trenberth (1997), Oliveira (1999) e Silva (2000), que o El Niño Oscilação Sul – ENOS é um fenômeno de grande escala que ocorre no oceano Pacífico Equatorial. O fenômeno mostra de forma marcante, o forte acoplamento oceano-atmosfera, que se manifesta sobre a região. O El Niño representa o componente oceânico do fenômeno, enquanto a Oscilação Sul representa a contrapartida atmosférica. A variação irregular em torno das condições normais de ambos os componentes revela duas fases opostas do ENOS: um desses extremos é representado pelas condições de El Niño, quando se verifica um aquecimento das águas simultaneamente com diminuição da pressão atmosférica no Pacífico leste (também denominada fase quente ou fase negativa), e a situação oposta, ou seja, quando ocorre um resfriamento das águas e aumento na pressão atmosférica na região leste do Pacífico (também denominada fase fria ou fase positiva), representando condições de La Niña.

A grande extensão da região onde ocorrem as anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico, somada à grande capacidade de um fluido, como a água, em

transportar energia, faz com que os fenômenos provoquem mudanças no padrão normal de circulação atmosférica. Por isso, a ocorrência do ENOS é vista como agente das anomalias climáticas que ocorrem em várias regiões do globo (MINUZZI et al, 2007).

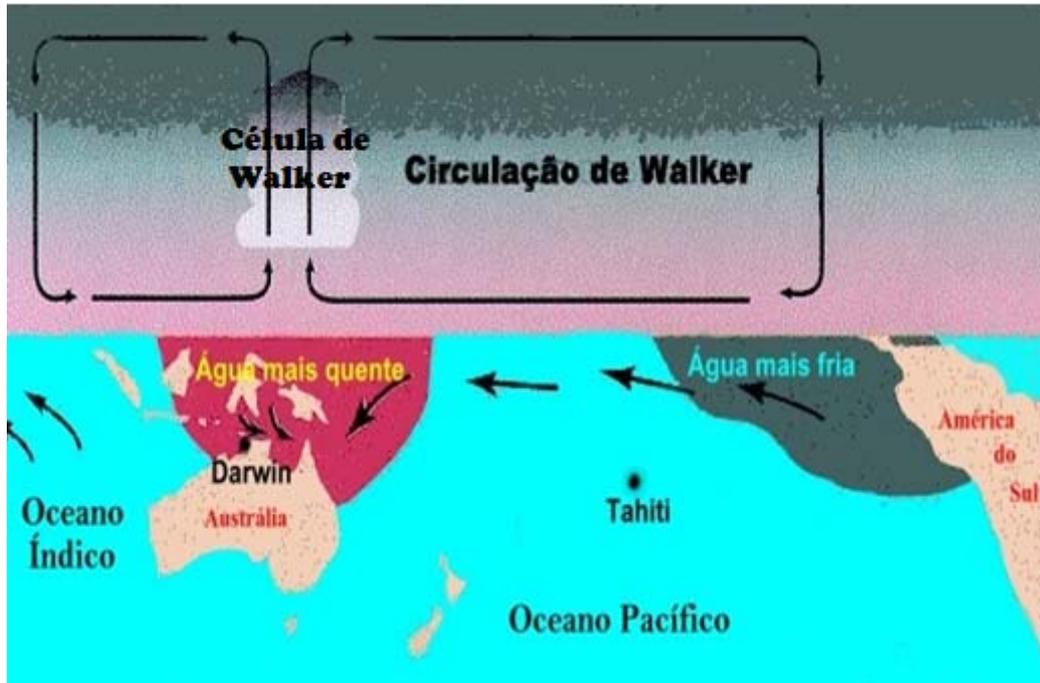
Num contexto geral, tem-se em mente que as anomalias climáticas relacionadas ao El Niño e a La Niña ocorrem nas mesmas regiões, mas de maneiras opostas. Porém, as respostas das fases do ENOS em muitas áreas nem sempre são contrárias e os eventos La Niña afetam 5% a 15% mais áreas continentais do que durante os eventos El Niño. Algumas anomalias que ocorrem em várias partes do globo, decorrente do ENOS, podem ser explicadas pelas alterações observadas nas células de Walker (MINUZZI et al, 2007).

2.2.2 Células de Walker e o ENOS

Essas células de circulação zonal são definidas na região equatorial, que se organizam entre os continentes e os mares, estando sobre o oceano Pacífico a maior célula de Walker. Em condições normais da temperatura da superfície do Pacífico Tropical, observa-se a oeste do oceano, onde estão situadas as águas mais quentes do mundo, um ramo ascendente. O carregamento da água quente superficial para oeste faz com que, a leste, águas frias sejam trazidas à superfície (ressurgência). A ressurgência de águas profundas traz à superfície, nutrientes químicos que alimentam o fitoplâncton, base da cadeia alimentar marinha, o que favorece a fauna local. A termoclina (fronteira entre a água quente superficial e a água fria do fundo) apresenta inclinação para oeste, ou seja, aproxima-se da superfície a leste e é mais profunda a oeste.

Na meteorologia, como sempre deve haver uma compensação, o ar que ascende a oeste, vai contribuir a leste do Pacífico, onde as suas águas são relativamente mais frias. Como consequência desse comportamento na atmosfera, o clima da região no Pacífico Oeste tende a ser chuvoso e na costa Oeste da América do Sul Equatorial, tende a ser seco conforme a Figura 2.1.

Figura 2.1 – Comportamento da Célula de Walker em Condições Normais (ou Neutras).

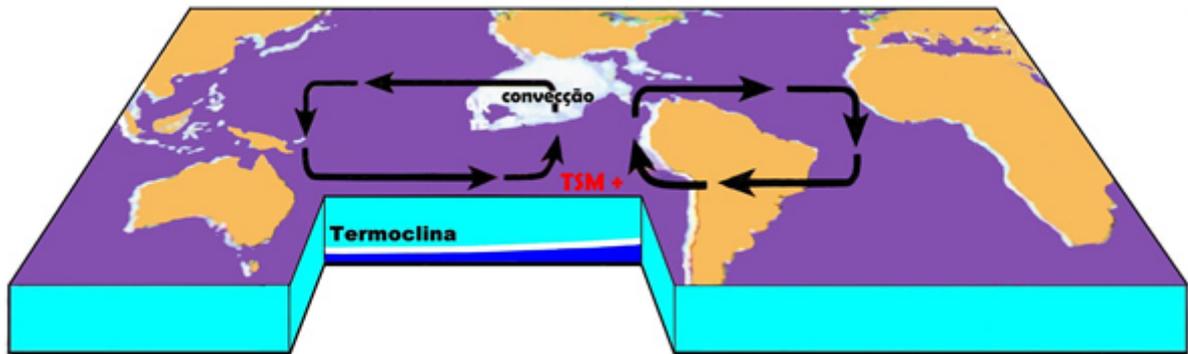


Fonte: CIRAM, 2011.

2.2.3 El Niño

Verificamos em Silva (2000) e Oliveira (1999), que em condições de El Niño com o enfraquecimento dos alísios, diminui o acúmulo de água quente no Pacífico oeste, bem como, a ressurgência das águas frias no Pacífico leste. Essas mudanças enfraquecem a Célula de Walker e em casos de eventos fortes de El Niño pode desaparecer. Com o deslocamento das águas quentes da TSM, o ar ascende no Pacífico centro-leste e desce no Pacífico oeste e norte da América do Sul (Figura 2.2). Com o “afastamento” das águas quentes a oeste do Pacífico, a pressão de superfície em Darwin (Austrália), fica acima da média, enquanto no Pacífico sul-central, representado pela estação no Tahiti (Polinésia Francesa), a pressão fica abaixo da média, resultando um Índice de Oscilação Sul – IOS, negativo de acordo com a Figura 2.2. Esse evento tem um período de duração que varia entre 10 e 18 meses e acontece de forma irregular em intervalos de 2 a 7 anos. E se caracteriza por um aumento médio da TSM em torno de 4,5 °C do Pacífico Equatorial (Figura 2.4).

Figura 2.2 – Comportamento da Célula de Walker em Situações de El Niño.

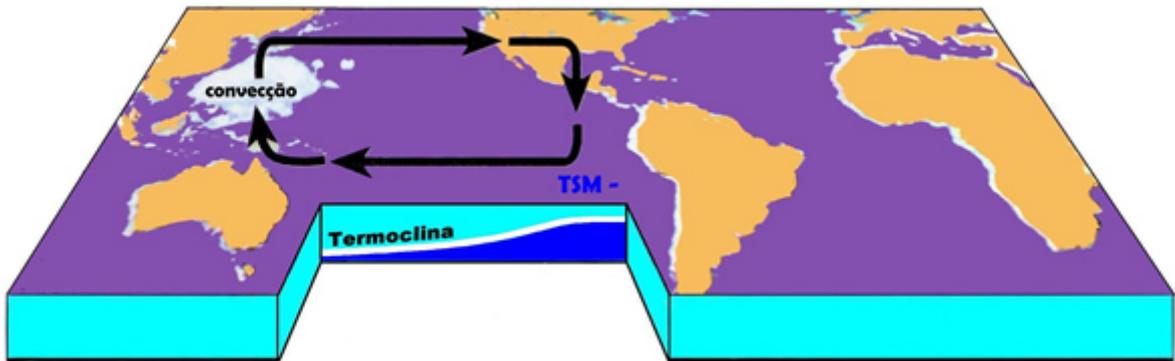


Fonte: CIRAM, 2011.

2.2.4 La Niña

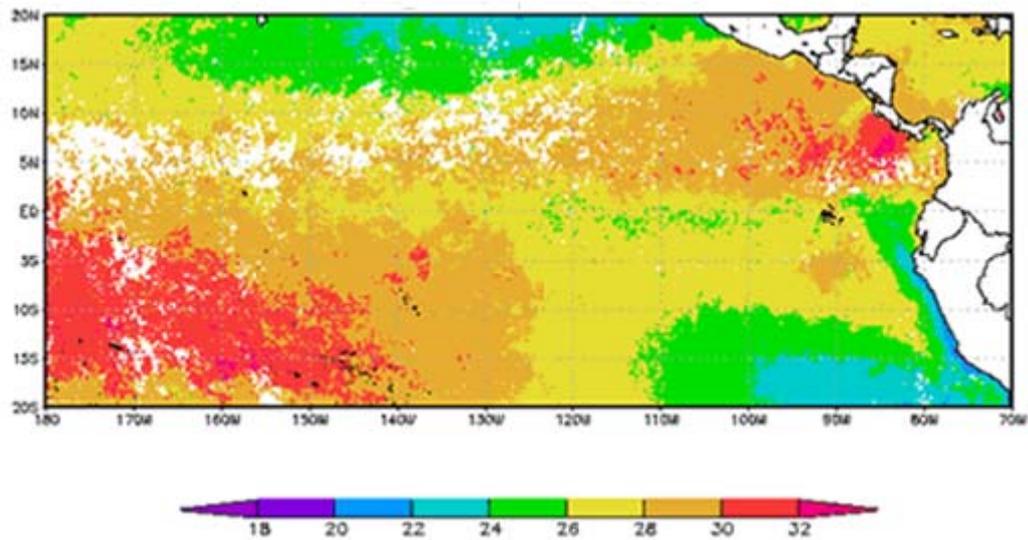
Segundo Silva (2000) e Oliveira (1999), em condições de La Niña os ventos alísios se intensificam, causando aumento no carregamento de águas quentes para oeste, aumentando a diferença de temperatura entre o leste e oeste e da ressurgência das águas frias no Pacífico Leste (Figura 2.3). O comportamento da pressão na superfície é o oposto ao observado em condições de El Niño, ou seja, a pressão fica abaixo da média na região ao norte da Austrália, onde as águas estão mais quentes e acima da média no Pacífico sul-central, resultando num IOS positivo conforme as figuras 2.3 e 2.4. Esse evento costuma ocorrer em períodos alternados com o El Niño, apresenta um período de duração que varia entre 9 a 24 meses ou mais e acontece de forma irregular em intervalos que variam de 2 a 7 anos. A principal característica desse fenômeno é o resfriamento, em média de 2 a 3 °C, fora do normal das águas superficiais do Pacífico Equatorial (Figura 2.5).

Figura 2.3 – Comportamento da Célula de Walker em Situações de La Niña



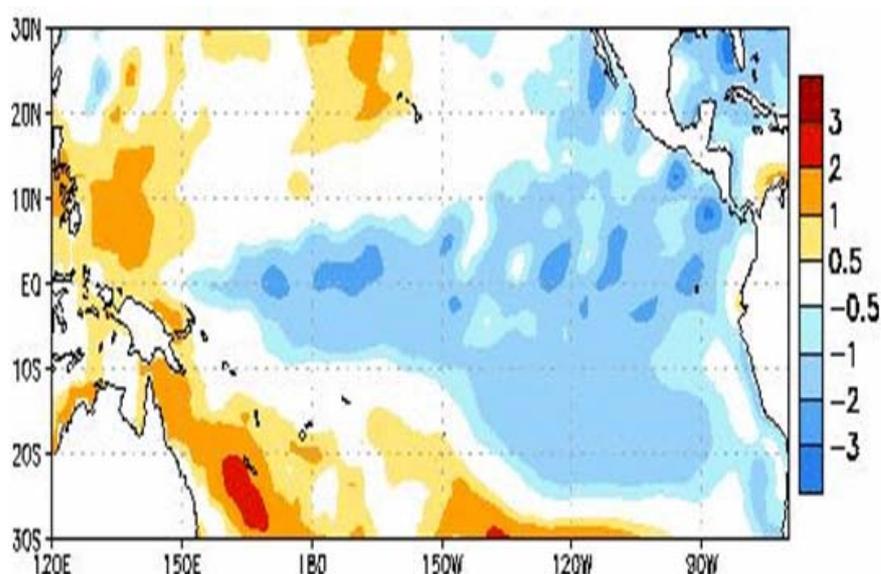
Fonte: CIRAM, 2011.

Figura 2.4 – Anomalias de Temperaturas da Superfície do Mar (TSM), Relacionadas ao El Niño.



Fonte: NCEP/NOAA/NASA – EUA, 2011.

Figura 2.5 – Anomalias de Temperaturas da Superfície do Mar (TSM), Relacionadas à La Niña.



Fonte: NCEP/NOAA/NASA – EUA, 2011.

2.2.5 Cronologia do ENOS

Segundo Silva (2000) e Oliveira (1999), existem alguns índices que são frequentemente utilizados para identificar um fenômeno El Niño e quantificar a sua intensidade. O mais comum destes índices é o Índice de Oscilação Sul (IOS), calculado em áreas específicas (Quadro 2.1). Uma dessas áreas é a chamada Região Niño 4, situada a 160°Este-150°Oeste e 5°S- 5°N. Outra é a Região Niño 3.4, localizada a 5°S-5°N, 120°-170°O. Esse índice é definido como a diferença entre os desvios normalizados da pressão na superfície entre as regiões do Tahiti (18°, 150°O), no Pacífico central-sul e em Darwin (12°S, 131°E), ao norte da Austrália constituindo um dos principais indicadores utilizados no monitoramento do ENOS de acordo com a Figura 2.6.

Neste trabalho foi utilizado o índice IOS para a determinação dos eventos ENOS. Este índice representa a diferença normalizada entre a pressão atmosférica medida no Tahiti (na Polinésia Francesa) e em Darwin, na Austrália. Um valor alto do IOS (grande diferença de pressões) significa ventos mais fortes que a média e normalmente está associado a uma situação de La Niña. Segundo o Bureau of Meteorology – Australia, os valores positivos do índice indicam eventos de La Niña e os valores negativos eventos de El Niño. Os valores no intervalo de -5 à 5 no índice, indicam a inexistência do fenômeno ENOS. Seis períodos

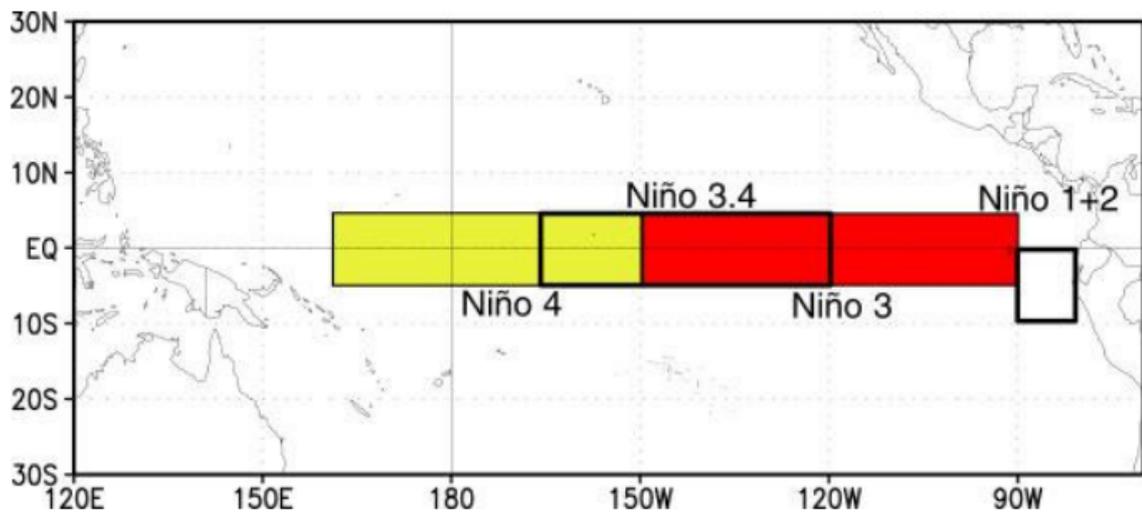
consecutivos caracterizam o fenômeno, podendo um dos valores do intervalo divergir, por causa de um evento local.

Quadro 2.1 – Regiões Niño

Regiões Niño	Faixa Longitude	Faixa Latitude
1 + 2	90°W – 80°W	10°S – 0°
3	150°W – 90°W	5°S – 5°N
3.4	170°W – 120°W	5°S – 5°N
4	160°E – 150°W	5°S – 5°N

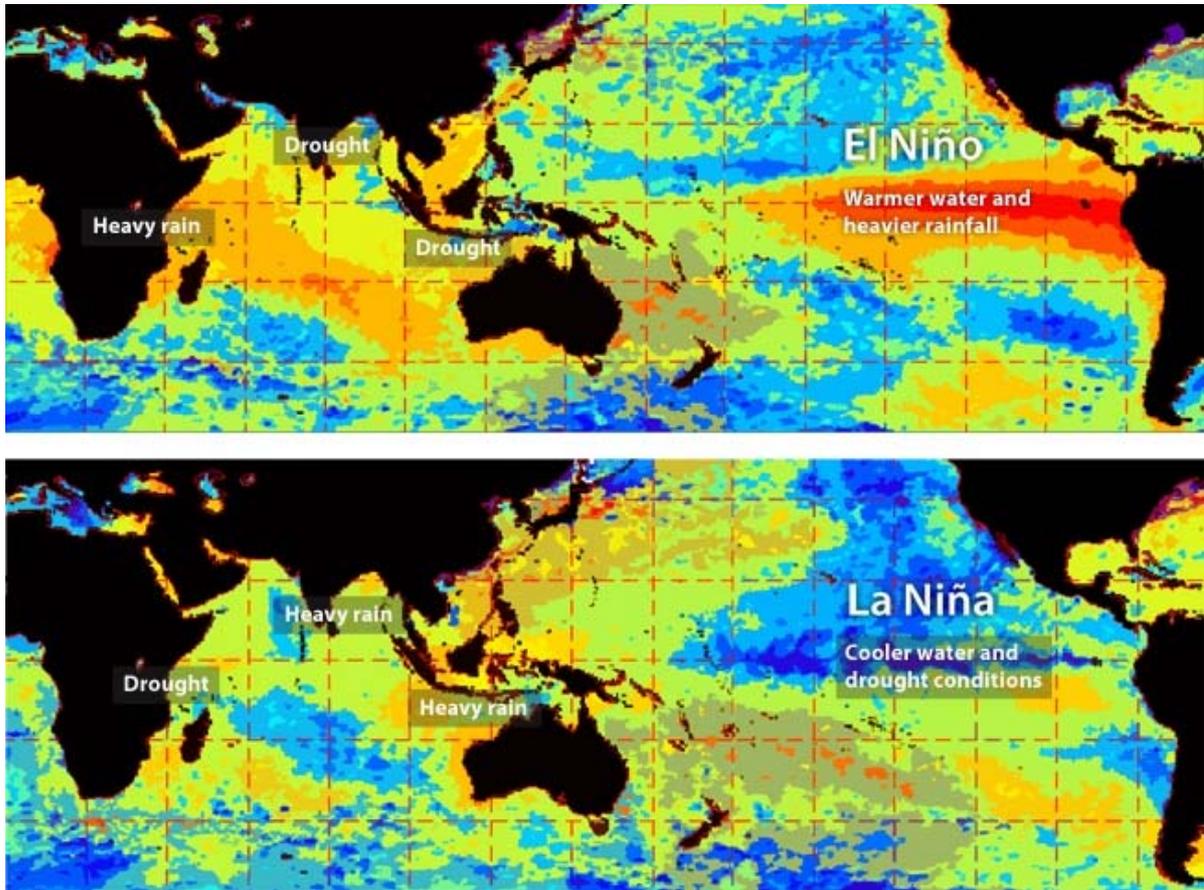
Fonte: NCEP/NOAA/NASA – EUA, 2011.

Figura 2.6 – Visualização das Regiões Niño.



Fonte: NCEP/NOAA/NASA – EUA, 2011.

Figura 2.7 – Anomalias de Temperaturas da Superfície do Mar (TSM), Relacionadas a El Niño e a La Niña.



Fonte: WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION, 2011.

As listagens disponíveis com o histórico de ocorrências de El Niño e La Niña e suas respectivas intensidades, segundo Silva (2000) e Oliveira (1999), muitas vezes diferem umas das outras, por que dependem do critério adotado para tais definições. Assim, comparando algumas cronologias, percebe-se que, tanto a periodicidade de ocorrência quanto a duração dos eventos, possuem uma variabilidade significativa.

A NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration) considera como um evento ENOS, o limite de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para a anomalia da TSM da região Niño 3.4 observada em pelo menos cinco trimestres.

A Figura 2.7 caracteriza as anomalias de temperatura da superfície do mar na região intertropical, situada a Leste da África e a Oeste da América do Sul, mostrando os efeitos de El Niño e de La Niña.

2.2.6 O ENOS e os Efeitos na Agricultura

A agricultura é uma atividade econômica que depende diretamente dos fatores climáticos. Qualquer alteração no clima pode afetar o zoneamento agrícola, a produtividade de diversas culturas e as técnicas de manejo. Segundo Ortolani e Camargo (1987), dentre os elementos climáticos, a precipitação é o que mais influencia a produtividade agrícola.

As ocorrências do ENOS têm sido associadas a variações nos rendimentos agrícolas de várias regiões do mundo. Os efeitos no clima mais conhecidos e de maior impacto provocado pelo ENOS estão relacionados ao regime térmico e, principalmente, ao pluviométrico. Na agricultura, as consequências desses efeitos exigem estudo minucioso, tendo em vista que o impacto no rendimento de determinada cultura depende da duração e severidade dos períodos secos, da regularidade das chuvas e das próprias características fisiológicas de cada cultura. Assim, a inclusão de variáveis meteorológicas no estudo do desenvolvimento das plantas não pode ser analisada separadamente, além da importância em se ter o conhecimento prévio da correlação existente entre o ENOS e as variáveis meteorológicas em determinado local (ORTOLANI e CAMARGO, 1987).

As secas, decorrentes da presença de fenômenos ENOS, que assolam periodicamente o Nordeste do Brasil constituem um fenômeno de natureza devastadora que provoca grandes impactos sociais, econômicos e ambientais. As principais consequências das secas são relacionadas, principalmente, com a baixa produtividade na agricultura, pecuária e abastecimento de água aos centros urbanos e comunidades rurais.

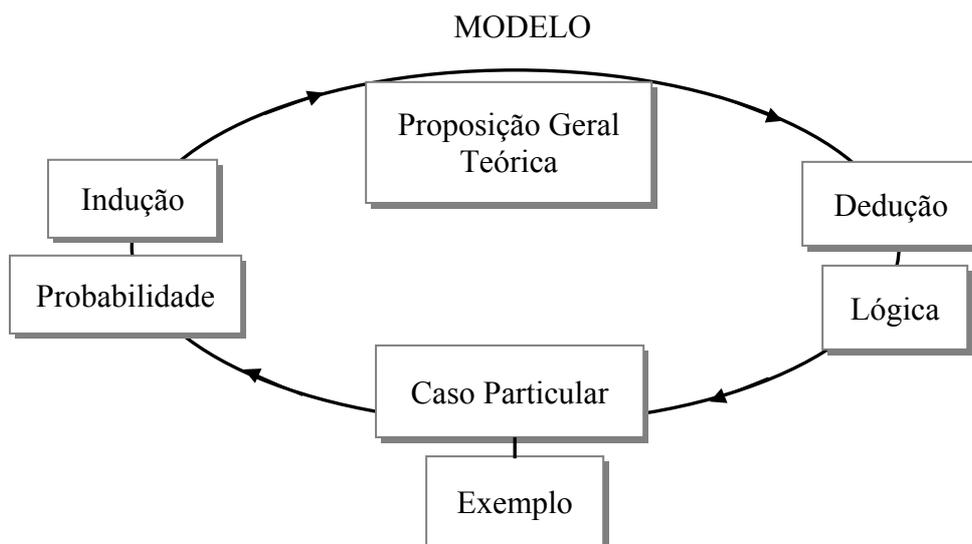
3 MODELAGEM COMPUTACIONAL

3.1 Princípios do Processo de Modelagem

O homem sempre desejou entender o seu planeta e o mundo em geral. As imposições da sobrevivência assim o determinaram. Rodeada de elementos materiais, a primeira necessidade da humanidade foi conquistar o domínio de seu meio ambiente. Na medida em que as necessidades do espírito humano foram se tornando mais complexas, cresceram as carências por aperfeiçoar o processo de compreensão do mundo. Na impossibilidade de lidar diretamente com a complexidade do mundo, o homem tem se mostrado cada vez mais hábil na criação de metáforas para a representação e solução de sua relação com esse mesmo mundo.

Todos nós já lidamos com modelos, mesmo em ocasiões onde não possuíamos a mínima consciência disso. Quando explicamos algo a uma pessoa usando fotografias ou gráficos, ou quando representamos planos ou sólidos através de equações matemáticas, nada mais estamos fazendo do que transmitir e interpretar a estranha realidade através de metáforas de substituição ou modelos conforme a Figura 3.1.

Figura 3.1 – Movimento Circular da Atividade Científica.

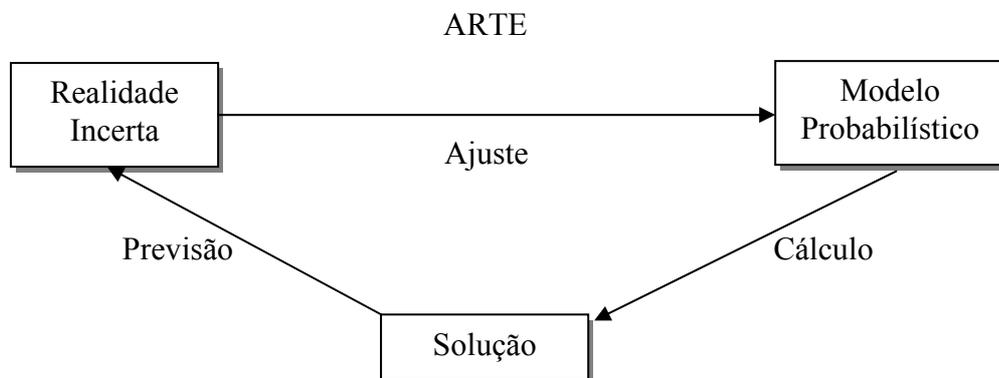


Fonte: LUNA, 2008

Os modelos, para serem implementáveis, devem ser livres de pequenos detalhes onerosos. Nessa abordagem a importância do equilíbrio simplificação versus validade é básica. Concluímos que os modelos são representações simplificadas da realidade que preservam, para determinadas situações e enfoques, uma equivalência adequada.

Em Goldberg e Luna (2005), verificamos que o poder de representatividade é a característica do modelo que o torna desejável. A capacidade de simplificação lhe confere factibilidade operacional. Existem vários critérios de medida da adequação ou aderência do modelo à realidade representada. Em várias ocasiões a representatividade do modelo pode ser aperfeiçoada de forma interativa. O processo de verificação da representatividade é denominado de validação do modelo, sendo uma etapa indispensável em qualquer procedimento científico. A Figura 3.2 nos mostra uma sequência básica para o processo de modelagem.

Figura 3.2 – Escopo Geral da Atividade de Modelagem em Situação de Incerteza

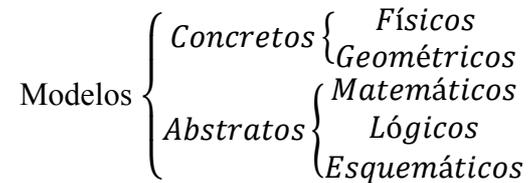


Fonte: LUNA, 2008

3.2 Classificação de Modelos

Os modelos podem ser construídos sob diversas arquiteturas. Como muitos são os enfoques pelos quais podemos abordar o processo de construção de modelos, podemos distinguir várias classificações possíveis, conforme a Figura 3.3.

Figura 3.3 – Uma classificação geral dos modelos



Fonte: GOLDBARG; LUNA,2005.

3.3 Modelos Probabilísticos e Redes Bayesianas

3.3.1 Variáveis Aleatórias

Verificamos em Magalhães (2011) e Soong (1986), que dado um fenômeno aleatório qualquer, com um certo espaço de probabilidade, deseja-se estudar a estrutura probabilística de quantidades associadas a esse fenômeno. Então, define-se variável aleatória quantitativa como sendo uma função do espaço amostral Ω nos reais, para a qual é possível calcular a probabilidade de ocorrência de seus valores. Para construir um modelo de uma variável aleatória, supomos possível atribuir um número real $X(\Omega)$ a cada s segundo determinado conjunto de regras. Vemos que o “número” $X(\Omega)$ é, na realidade, uma função de ponto com valor real definido no domínio do espaço de probabilidade básico. Dessa maneira, quando se realiza um experimento, seu resultado é identificado pelo número real correspondente em vez de sua descrição física. Assim é que, quando os resultados possíveis de um experimento aleatório são apenas “sucesso” ou “falha”, atribuímos arbitrariamente o número 1 (um) ao evento “sucesso” e o número 0 (zero) ao evento “falha”. O espaço amostral associado tem agora $[0, 1]$ como pontos amostrais, em lugar de “sucesso” e “falha”, e a afirmação “o resultado é 1” equivale a “o resultado é sucesso”.

Este processo não só nos permite substituir um espaço amostral de elementos arbitrários por um novo espaço amostral cujos elementos são números reais, como também possibilita a utilização de meios aritméticos para o cálculo de probabilidades.

3.3.2 Variáveis Aleatórias Discretas e Função de Distribuição de Probabilidade

Segundo Magalhães e Lima (2010) e Soong (1986), uma quantidade X , associada a cada possível resultado do espaço amostral, é denominada de variável aleatória discreta, se assume valores num conjunto enumerável, com certa probabilidade.

O comportamento de uma variável aleatória é caracterizado por sua distribuição de probabilidade, isto é, pela maneira como as probabilidades se distribuem pelos valores que ela toma. A função de distribuição de probabilidade é um instrumento que serve para caracterizar a distribuição, no caso de uma variável aleatória discreta.

Dado um experimento aleatório com sua variável aleatória associada X e um número real x , consideremos a probabilidade do evento $S: X(S) \leq x$, ou simplesmente $P(X \leq x)$. Esta probabilidade depende do valor atribuído a x .

$$\text{A função } F_x(x) = P(X \leq x) \tag{3.1}$$

é definida como função de distribuição de probabilidade, ou simplesmente função de distribuição, da variável aleatória X .

Em Soong (1986) e Assis et al (1996), a função de distribuição de probabilidade é a probabilidade de X tomar um valor em um subconjunto de S . Esse subconjunto consiste do ponto x e de todos os pontos à esquerda de x . Na medida em que x aumenta, o subconjunto abrange maior porção da reta real e o valor dessa função aumenta até atingir 1. A função densidade de probabilidade de uma variável aleatória acumula, assim, probabilidade, sendo por isso, também chamada função de distribuição cumulativa ou função cumulativa de probabilidade.

Com base na definição e considerações feitas, apresentamos algumas propriedades da função cumulativa de probabilidades.

1. Ela existe tanto para variáveis aleatórias discretas como para variáveis aleatórias contínuas, e toma valores entre 0 e 1.
2. É uma função de variável real x , não-negativa, contínua à esquerda e não-decrescente.

Além disso, tem-se

$$F_x(-\infty) = 0 \quad \text{e} \quad F_x(+\infty) = 1 \quad (3.2)$$

3. Se a e b são dois números reais tais que $a < b$, então

$$P(a < X \leq b) = F_x(b) - F_x(a) \quad (3.3)$$

3.3.3 Variáveis Aleatórias Contínuas e Função de Densidade de Probabilidade

Verificamos em Magalhães e Lima (2010) e Soong (1986), que uma variável X é dita aleatória contínua se o número de valores possíveis de X tomados no conjunto dos números reais for não-enumerável.

Logo, uma variável aleatória contínua apresenta as seguintes características:

- Assume valores num intervalo de números reais;
- Não se consegue listar todos os seus possíveis valores;
- Associam-se probabilidades a intervalos da variável.

Uma variável aleatória X contínua é caracterizada por sua função de densidade de probabilidade, que é dada pela equação (3.4). Essa função é contínua em x , monotônica não-decrescente e sua derivada existe para todo x .

$$f_x(x) = \frac{dF_x(x)}{dx} \quad (3.4)$$

e que $f_x(x) \geq 0$ (3.5)

Em função da definição (3.4), algumas propriedades (3.6), (3.7) e (3.8) podem ser destacadas:

$$F_x(x) = \int_{-\infty}^x f_x(u) du, \quad (3.6)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) dx = 1, \quad (3.7)$$

$$\text{e } P(a < X \leq b) = F_x(b) - F_x(a) = \int_a^b f_x(x) dx \quad (3.8)$$

Verificamos então que, tanto o conhecimento da função densidade de probabilidade como o da função de distribuição de probabilidade caracterizam uma variável aleatória.

3.3.4 Probabilidade Condicional

Vamos utilizar a expressão $A|B$ para denotar que a variável A está condicionada ao conhecimento de um valor para B . Para todo valor a da variável aleatória A , $P(A = a|B = b) = P(A|b)$ significa a distribuição de probabilidade de A condicionada a $B = b$, onde as demais informações conhecidas são irrelevantes para A .

Quando o especialista do domínio obtém alguma evidência anteriormente desconhecida, as probabilidades *a priori* devem ser revistas, pois podem perder a sua utilidade. Ao invés delas, devem ser usadas probabilidades condicionais (também denominadas probabilidades *a posteriori*), com a notação $P(A|B)$. Surgindo uma nova evidência C , deve-se calcular $P(A|B,C)$ ao invés de $P(A|B)$.

No texto de Niedermayer (1998), verificamos que probabilidades condicionais podem ser definidas em termos de probabilidades incondicionais, como descrito na equação (3.9).

$$P(A|B) = \frac{P(A,B)}{P(B)} \quad (3.9)$$

A equação (3.9) é válida para $P(B) > 0$. Ela também pode ser escrita como:

$$P(A,B) = P(A|B)P(B) \quad (3.10)$$

A equação (3.10) é chamada de regra do produto. Também é válida a seguinte equação:

$$P(A,B) = P(B|A)P(A) \quad (3.11)$$

A regra do produto pode ser generalizada a fim de se obter a fórmula da regra da cadeia, que corresponde a:

$$P(V_1, V_2, \dots, V_k) = \prod_{i=1}^k P(V_i | V_{i-1}, \dots, V_1) \quad (3.12)$$

Assumindo que $V = \{V_1, V_2, \dots, V_k\}$ é um conjunto de variáveis aleatórias, então a equação (3.12) fornece a distribuição conjunta de V .

3.3.5 Teorema de Bayes

Utilizando as equações (3.10) e (3.11), pode-se obter a seguinte igualdade: $P(A|B)P(B) = P(B|A)P(A)$. Dividindo os dois lados desta igualdade por $P(A)$, obtém-se:

$$P(B|A) = \frac{P(A|B)P(B)}{P(A)} \quad (3.13)$$

A equação (3.13), inicialmente formulada pelo reverendo Thomas Bayes, é conhecida como Teorema de Bayes (ou ainda Regra de Bayes ou Lei de Bayes). Nesta equação, $P(A|B)$ é a probabilidade da evidência A ser observada, dado que B é verdadeiro. Ou seja, $P(A|B)$ é a *likelihood* (possibilidade, verossimilhança) da ocorrência de B causar a evidência A .

Em algumas situações é necessário utilizar uma versão mais geral do Teorema de Bayes, condicionada sobre alguma evidência E conhecida. Esta versão mais geral é representada pela equação (3.14):

$$P(B|A, E) = \frac{P(A|B, E)P(B|E)}{P(A|E)} \quad (3.14)$$

O Teorema de Bayes é uma equação de grande importância, pois permite o cálculo ou a atualização de probabilidades condicionais como uma função de probabilidade a priori.

3.3.6 Definição de Rede Bayesiana

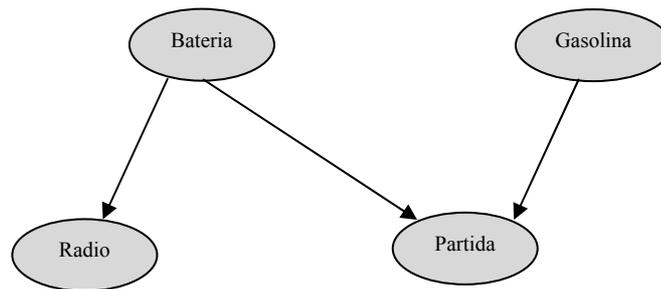
Uma rede Bayesiana é um grafo direcionado acíclico (*DAG – Directed Acyclic Graph*) onde os nós representam variáveis aleatórias e os arcos direcionados representam relacionamentos causais diretos entre os nós que conectam. Em uma rede Bayesiana, cada nó X_i é condicionalmente independente de qualquer subconjunto de nós que não são seus

descendentes, conhecidos os nós pais de X_i (representados por $pa(X_i)$). Assim, considerando-se X_1, X_2, \dots, X_n como os nós de uma rede Bayesiana e tomando-se da estrutura desta rede as situações onde se tem independência condicional, a seguinte equação permite determinar a probabilidade conjunta de todos os nós (NILSSON, 1998; RUSSELL; NORVIG, 1995):

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | pa(X_i)) \quad (3.15)$$

Pode-se também definir uma rede Bayesiana por meio de uma tripla (V, E, P) , onde: $V = \{X_1, \dots, X_n\}$ corresponde ao conjunto de n nós da rede; E corresponde ao conjunto de arcos orientados; $G(V, E)$ é um grafo direcionado acíclico; e P é a distribuição de probabilidade, determinada com o emprego da equação (3.15).

Figura 3.4 – Exemplo de Estrutura Gráfica de Rede Bayesiana



Fonte: RUSSELL; NORVIG, 2004.

A Figura 3.4 mostra uma estrutura de rede Bayesiana onde se pretende estabelecer a influência causal das variáveis *Bateria* e *Gasolina* sobre o funcionamento do rádio (variável *Radio*) e a partida de um automóvel (variável *Partida*). A distribuição conjunta dessas variáveis pode ser expressa por:

$$P(Bateria, Gasolina, Radio, Partida) = P(Bateria)P(Gasolina)P(Radio|Bateria)P(Partida|Bateria, Gasolina).$$

3.3.7 Definições Relacionadas à Estrutura de Redes Bayesianas

As definições aqui apresentadas nos permitem categorizar que as redes Bayesianas surgem de uma combinação entre a Teoria dos Grafos e a Teoria da Probabilidade. Assim, pode-se dizer que uma rede Bayesiana possui dois componentes principais:

- Estrutura gráfica: responsável pela definição dos relacionamentos causais entre os nós da rede;
- Parâmetros numéricos: responsáveis pela quantificação das relações probabilísticas causais entre os nós da rede.

Definição 1: Um grafo direcionado $G (V,E)$ pode ser definido como um conjunto finito não-vazio V de nós (ou vértices) e um conjunto que é uma relação de adjacência não reflexiva E em V . Para cada par $(v,w) \in E$, existe, no grafo, um arco direcionado com ponto inicial v e ponto final w . Os nós v e w são denominados nós adjacentes ou vizinhos. O nó v é denominado pai do nó w , e w é denominado filho de v . Pela relação de adjacência não reflexiva, para qualquer $v \in V$, $(v,v) \notin E$.

Definição 2: Nó raiz: É um nó que não tem pais.

Definição 3: Nó colisor ou v -node: Nó que é ponto final para dois ou mais arcos orientados.

Definição 4: Caminho: É uma seqüência de nós v_1, \dots, v_k tal que (v_j, v_{j+1}) , $1 \leq j \leq |k - 1|$, pertence ao conjunto de arestas do grafo em questão.

Definição 5: Caminho orientado: É um caminho onde a seqüência de nós está de acordo com a orientação dada pelos arcos que ligam os nós. Também pode ser chamado de caminho adjacente.

Definição 6: Ciclo: É um caminho orientado v_1, \dots, v_k, v_{k+1} onde $k \geq 3$ e $v_1 = v_{k+1}$.

Definição 7: Caminho aberto: É um caminho onde todos os nós são não colisores.

Definição 8: Caminho fechado: É um caminho onde existe pelo menos um nó colisor. Dado um nó colisor, caso um de seus pais o preceda e o outro o suceda em um caminho, diz-se que este nó colisor pertence ao caminho.

3.3.8 Probabilidade para Representar Incerteza

O cálculo de probabilidades leva a um raciocínio baseado na execução de inferências probabilísticas; ou seja, um raciocínio baseado no cálculo de probabilidades condicionais utilizando o Teorema de Bayes. Neste raciocínio, a probabilidade condicional fornece o grau de crença em um evento, dadas todas as evidências disponíveis.

Segundo Russell e Norvig (1995), a distribuição de probabilidade conjunta global pode ser usada para responder qualquer questão envolvendo o domínio considerado. No entanto, com o crescimento do número de variáveis, tal distribuição também pode tornar-se intratável na prática.

Verificamos em Jensen et al (1990), que nos anos sessenta os primeiros sistemas de suporte à decisão tratavam a incerteza usando uma parte limitada da teoria Bayesiana. Por exemplo: sistemas para diagnóstico exigiam que o conjunto de doenças possíveis de se diagnosticar fosse exaustivo e mutuamente exclusivo; assumia-se a evidência como condicionalmente independente, dada qualquer doença possível (hipótese), e assumia-se que apenas uma doença ocorria em cada paciente. Os sistemas computacionais da época eram bastante limitados, sendo desenvolvidos para domínios com poucas hipóteses e evidências.

3.3.9 Origem das Redes Bayesianas

Segundo Pearl (1988), o ser humano tem certa dificuldade em associar números (informações estatísticas) à sua crença em determinado fato. É mais fácil observar se um fato específico depende de outro ou se um determinado fato afeta ou não afeta outro fato. Assim, a representação gráfica, com seus relacionamentos de dependência mais explícitos, possibilita uma maior aproximação do raciocínio humano.

O geneticista Sewall Wright foi o primeiro pesquisador a idealizar o uso da representação gráfica para informações probabilísticas. No entanto, seu trabalho foi bastante criticado e só foi reconhecido pela comunidade ligada à estatística a partir da década de cinquenta. Mais tarde, na década de setenta, começaram a ser desenvolvidas as redes Bayesianas.

A utilização de redes Bayesianas em sistemas inteligentes foi introduzida por Pearl (1986), no artigo *Fusion, Propagation and Structuring in Belief Networks*.

3.3.10 Justificativa para o Uso de Redes Bayesianas

Uma vez que a maior parte dos eventos é condicionalmente independente da maioria dos outros, não é necessário considerar suas interações. Uma rede Bayesiana possibilita modelar um domínio do mundo real sem a necessidade de utilizar uma tabela de probabilidades conjuntas, onde são dispostas as probabilidades de todas as combinações possíveis de eventos. Para isso, uma rede deste tipo emprega uma representação mais local, onde aparecem agrupamentos de eventos diretamente relacionados.

Segundo Pearl (1986), pode-se citar três motivos de grande relevância para a utilização de redes Bayesianas:

1. É um formalismo que possibilita expressar as relações de dependência e independência condicionais de maneira visual (o que facilita a compreensão);
2. Representa uma distribuição probabilística conjunta de maneira a explorar o fato das relações entre as variáveis serem esparsas;
3. A representação de um domínio por meio de uma rede Bayesiana faz com que o processo de inferência probabilística seja eficiente.

Segundo Pearl (1988), os especialistas humanos normalmente são capazes de relacionar causas e efeitos de uma forma que revela independências condicionais inerentes, representáveis através de redes Bayesianas. O processo de elaboração destas redes aplicando noções intuitivas de causalidade geralmente leva a redes em que as suposições de independência estão corretas. Porém, se as relações entre as variáveis do domínio não são do tipo causal, então não se pode afirmar que as redes Bayesianas são as estruturas mais adequadas para representar as relações de dependência entre as variáveis.

3.3.11 Construção de Redes Bayesianas

Notadamente a principal preocupação relacionada à estrutura de uma rede Bayesiana é com a representação das dependências e independências condicionais. Como um grafo é utilizado, apenas as variáveis ligadas por arcos direcionados manifestam relações de dependência.

De acordo com Pearl (1988), pode-se definir um procedimento para a construção de uma rede Bayesiana. Assim, dada a distribuição conjunta $P(X_1, X_2, \dots, X_n)$ e uma determinada

ordenação das variáveis, inicia-se a construção do grafo escolhendo o nó raiz X_1 e especificando sua probabilidade *a priori* $P(X_1)$. A seguir, acrescenta-se ao grafo o nó X_2 . Se X_2 for dependente de X_1 , deve-se inserir um arco direcionado com ponto inicial X_1 e ponto final X_2 ; feito isso, o arco deve ser quantificado com $P(X_2|X_1)$. Caso X_2 seja independente de X_1 , deve-se atribuir ao nó X_2 a probabilidade *a priori* $P(X_2)$ e deixar os dois nós desconectados. Repetindo a operação para as demais variáveis, obtém-se a rede.

Uma rede Bayesiana representa adequadamente um domínio se cada nó de sua estrutura é independente daqueles que o precedem na ordenação dos nós, dados os nós pais. Assim, é fundamental especificar corretamente quem são os pais de cada nó, a fim de construir a estrutura correta de uma rede.

Uma vez que se defina corretamente a ordem de inserção na rede, ao inserir um nó X_i sabe-se que seus pais já foram inseridos e que são os nós em X_1, \dots, X_{i-1} que influenciam diretamente X_i . O procedimento geral para a construção de uma rede Bayesiana, definido por Russell e Norvig (2004), é apresentado no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Procedimento para construção incremental de rede Bayesiana
Fonte: Russell e Norvig (2004)

1. Escolha o conjunto de variáveis relevantes X_i que descrevem o domínio;
2. Defina uma ordenação para as variáveis;
3. Enquanto restarem variáveis no conjunto
 - Selecione uma variável X_i e adicione um nó para ela à rede;
 - Defina os pais de X_i ($pa(X_i)$) como algum conjunto mínimo de nós que já estão na rede, tal que a propriedade de independência condicional seja satisfeita;
 - Defina a tabela de probabilidades condicionais de X_i ;

Fonte: Autor, 2012

Verificamos que este procedimento permite notar que todo arco com ponto final X_i tem como ponto inicial algum nó que foi inserido na rede antes de X_i . Logo, tal método de construção garante a obtenção de uma rede acíclica.

As redes Bayesianas também são livres de valores probabilísticos redundantes, o que exclui qualquer possibilidade do especialista do domínio definir uma rede que infringe os axiomas da Teoria da Probabilidade (RUSSELL e NORVIG, 2004).

Mesmo em um domínio localmente estruturado, construir uma rede Bayesiana não é uma tarefa trivial. A estrutura da rede precisa representar, sem qualquer tipo de falha, todos os agrupamentos locais de nós. A ordem correta para adicionar nós à rede é colocar primeiro as causas que não são influenciadas, depois os nós que elas influenciam, e assim sucessivamente, até chegar aos nós que não exercem influência causal direta sobre os demais.

Após obter a topologia de uma rede Bayesiana, é necessário especificar a tabela de probabilidades condicionais para cada nó da rede. Em uma tabela deste tipo, cada linha contém as probabilidades condicionais de um estado do nó para todos os casos condicionantes. Chama-se de caso condicionante uma combinação possível de valores para os nós pais.

Mesmo que um nó possua poucos pais, sua tabela de probabilidades condicionais ainda requer uma grande quantidade de números. Geralmente, preencher completamente uma tabela desse tipo é uma tarefa demorada. Para solucionar este problema, é possível implementar o aprendizado praticamente automático dos parâmetros numéricos de uma rede Bayesiana, desde que se conheça a sua estrutura.

3.4 Séries Temporais

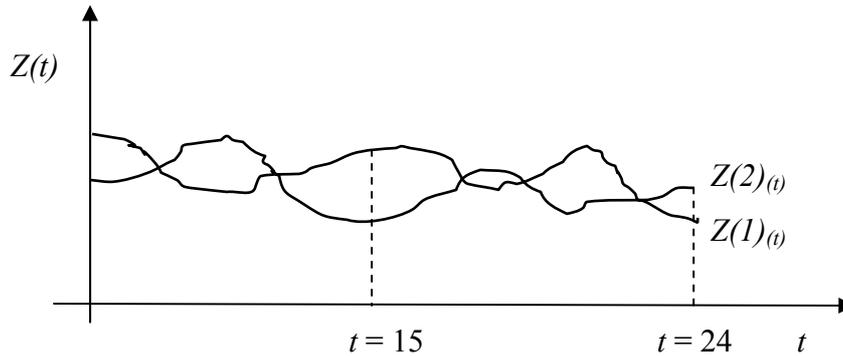
A precipitação pluviométrica é uma variável temporal. Uma série temporal é qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo. A análise desse tipo de série requer ferramental matemático estatístico complexo para o seu monitoramento.

Segundo Morettin e Tolo (2007) há, basicamente, dois enfoques usados na análise de séries temporais. Em ambos, o objetivo é construir modelos para as séries, com propósitos determinados. No primeiro enfoque, a análise é feita no domínio temporal e os modelos propostos são modelos paramétricos (com um número finito de parâmetros). No segundo, a análise é conduzida no domínio de frequências e os modelos propostos são modelos não-paramétricos.

3.4.1 Notação e Objetivos da Análise de Séries Temporais

Para exemplificar a notação, suponha que se queira medir a temperatura do ar, de determinado local, durante 24 horas, obtendo-se um gráfico semelhante ao gráfico 3.1.

Gráfico 3.1 – Temperatura do ar, de determinado local, durante 24 horas.



Fonte: MORETTIN; TOLOI, 2007.

Vamos designar por $Z(t)$ a temperatura no instante t . Verificamos que para dois dias diferentes, obtemos duas curvas que não são, em geral, as mesmas. Estas curvas são chamadas trajetórias do processo físico que está sendo observado e esse (o processo estocástico) nada mais é do que o conjunto de todas as possíveis trajetórias que poderíamos observar. Cada trajetória é também chamada uma série temporal ou função amostral. Designando-se por $Z^{(1)}(15)$ o valor da temperatura no instante $t = 15$, para a primeira trajetória (primeiro dia de observação), teremos um número real, para o segundo dia teremos outro número real, $Z^{(2)}(15)$. Em geral, denotaremos uma trajetória qualquer por $Z^{(j)}(t)$. Para cada t fixo, teremos os valores de uma variável aleatória $Z(t)$, que terá certa distribuição de probabilidade.

Em geral nos referimos ao parâmetro t como sendo o tempo, mas a série $Z(t)$ poderá ser função de algum outro parâmetro físico, como espaço ou volume.

Segundo Morettin e Toloi (2007), obtida a série temporal $Z(t_1), \dots, Z(t_n)$, observada nos instantes t_1, \dots, t_n , podemos estar interessados em:

a) investigar o mecanismo gerador da série temporal; por exemplo, analisando uma série de alturas de ondas, pode-se querer saber como essas ondas foram geradas;

b) fazer previsões de valores futuros da série; essas podem ser a curto prazo, como para séries de vendas, produção ou estoque, ou a longo prazo, como para séries populacionais, de produtividade, entre outros;

c) descrever apenas o comportamento da série; neste caso, a construção do gráfico, a verificação da existência de tendências, ciclos e variações sazonais, a construção de histogramas e diagramas de dispersão, entre outros, podem ser ferramentas úteis;

d) procurar periodicidades relevantes nos dados.

Em todos os casos, modelos estocásticos são construídos, no domínio temporal ou frequencial. Esses modelos devem ser simples e parcimoniosos (no sentido que o número de parâmetros envolvidos deve ser o menor possível) e, se possível, sua utilização não deve apresentar dificuldades às pessoas interessadas em manipulá-los.

3.4.2 Estacionariedade

Verificamos em Morettin e Tolo (2007), que uma das suposições mais frequentes que se faz a respeito de uma série temporal é a de que ela é estacionária, ou seja, ela se desenvolve no tempo aleatoriamente ao redor de uma média constante, refletindo alguma forma de equilíbrio estável. Todavia, a maior parte das séries, na prática apresenta alguma forma de não-estacionariedade. Assim, as séries econômicas e financeiras apresentam em geral tendências, sendo o caso mais simples aquele em que a série flutua ao redor de uma reta, com inclinação positiva ou negativa (tendência linear). Pode-se ter, também, uma forma de não-estacionariedade explosiva, como o crescimento de uma colônia de bactérias.

Uma série pode ser estacionária, segundo Morettin e Tolo (2007), durante um período longo, mas pode ser estacionária apenas em períodos muito curtos, mudando de nível e/ou inclinação. Quando uma série não estacionária não apresenta um comportamento explosivo, esse tipo de não-estacionariedade é chamado de homogêneo. A série pode ser estacionária, flutuando ao redor de um nível, por certo tempo, depois mudar de nível e flutuar ao redor de um novo nível e assim por diante, ou então mudar de inclinação, ou ambas as coisas.

3.5 Dados e Área de Estudo

Para o presente estudo foram utilizados dados de precipitação pluviométrica obtidos no Setor Agrícola da Usina Utinga Leão. Esses dados correspondem a uma série histórica de 100 anos, de 1911 a 2010, colhidos na estação pluviométrica da referida usina, localizada no Município de Rio Largo (9° 29' 4" S , 35° 49' 54", 45m) na parte Leste do Estado de Alagoas, próximo ao Litoral, apresentando um clima tropical, sendo "quente-úmido" no verão e "frio-úmido" no inverno.

3.6 O Índice de Precipitação Padronizada – SPI (Standardized Precipitation Index)

Existem vários métodos usados para o monitoramento da seca a nível mundial, sendo o SPI um desses métodos. Foi elaborado na Universidade do Estado do Colorado por meio do trabalho de McKee et al (1993) e vem sendo amplamente utilizado no monitoramento da seca em várias partes do mundo, tendo em vista a sua simplicidade e a possibilidade de seu emprego em diferentes escalas de tempo. Enquanto outros métodos apresentam restrições e considerações, quanto ao seu uso (ALLEY, 1984).

De acordo com Rotondo e Seiler (1999); Brunni et al (2000) e Anjos et al (2001), o SPI tem se mostrado uma metodologia simples e eficaz para detectar o início da ocorrência de secas nas escalas decendiais e mensais.

O cálculo do SPI para uma dada região é baseado no registro da precipitação pluviométrica ao longo de uma série estocástica temporal de dados. De acordo com McKee et al (1993) a série histórica é ajustada a uma distribuição de probabilidade gama, a qual é então transformada em uma distribuição normal, onde o SPI médio para cada localidade e período desejado tem o valor zero para sua média e variância unitária.

A distribuição gama é definida pela função de densidade de probabilidade, equação (3.16), (ASSIS et al 1996):

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (3.16)$$

Sendo, $\gamma > 0, \beta > 0, \Gamma(\gamma) > 0$ e $f(x) = 0$ para $x < 0$, em que: β é um parâmetro de escala, γ é um parâmetro de forma, que é adimensional, x representa o total da precipitação e Γ representa a função gama, que é definida pela equação (3.17), ASSIS et al (1996):

$$\Gamma(X) = \int_0^{\infty} x^{\gamma-1} e^{-x} dx \quad (3.17)$$

Segundo Assis et al (1996), o valor de $\Gamma(X)$ pode ser obtido com boa aproximação, através da relação (3.18):

$$\Gamma(\gamma) = \sqrt{\frac{2\pi}{\gamma}} e^{\gamma[\ln(\gamma) - f(\gamma)]} \quad (3.18)$$

$$f(\gamma) = 1 - \frac{1}{12\gamma^2} + \frac{1}{360\gamma^4} - \frac{1}{1260\gamma^6} \quad (3.19)$$

A distribuição gama não admite valores nulos, uma vez que o logaritmo neperiano só é definido para valores positivos. Essa questão foi contornada utilizando-se o conceito de distribuição mista, na qual a função cumulativa de probabilidade é determinada em duas partes na forma ASSIS et al (1996):

$$F(X) = P_o + (1 - P_o) G(X) \quad (3.20)$$

Onde: P_o = probabilidade de ocorrências de valores nulos

$G(X)$ = distribuição cumulativa teórica (os parâmetros são estimados na ausência de zeros).

O cálculo do SPI envolve o ajustamento da função de densidade de probabilidade gama, para uma dada distribuição de frequência de totais de precipitações para uma dada estação meteorológica. Os parâmetros γ e β , de uma função de densidade de probabilidade gama, são estimados para cada estação e escala de tempo de interesse. Segundo Thom (1958), o método da máxima verossimilhança é o mais apropriado para estimar os parâmetros, forma e escala, conforme as expressões (3.21) e (3.22), ASSIS et al (1996):

$$\gamma = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (3.21)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\gamma} \quad (3.22)$$

em que, A é definido pela equação (3.23), ASSIS et al (1996):

$$A = L_n(\bar{X}) - X_g \quad (3.23)$$

$$e \quad X_g = \frac{1}{N} \sum_1^N L_n(X_i) \quad (3.24)$$

Onde \bar{X} é a média aritmética e X_g é a média geométrica, ambas da precipitação (mm); L_n é o logaritmo neperiano e N é o número de observações.

A probabilidade acumulativa de ocorrência de totais de precipitação é dada pela equação (3.25), ASSIS et al (1996):

$$P(X) = \int_0^{x_0} \frac{X^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{X}{\beta}\right)} dX}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \quad (3.25)$$

Essa equação não tem solução imediata, exigindo tabelas ou técnicas de integração numérica como expansão em série e a fórmula de Simpson, por exemplo. Neste trabalho foi utilizada a expansão em série (3.26), ASSIS et al (1996):

$$F_{(t)} = \frac{t^\gamma}{\gamma \Gamma(\gamma) e^t} \left[1 + \frac{t}{\gamma + 1} + \frac{t^2}{(\gamma + 1)(\gamma + 2)} + \dots + \frac{t^n}{(\gamma + 1)(\gamma + 2) \dots (\gamma + n)} \right] \quad (3.26)$$

Onde $P(X)$ é a probabilidade de que X esteja entre zero e o valor X_0 . A distribuição de probabilidade cumulativa é transformada em uma distribuição normal, para a variável Z aleatória com média zero e variância unitária, onde essa variável corresponde ao valor do SPI. Em que Z é definida pelas equações (3.27) e (3.28), MCKEE (1993):

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \text{ para } 0 < P(X) \leq 0,5 \quad (3.27)$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \text{ para } 0,5 < P(X) \leq 1,0 \quad (3.28)$$

Os coeficientes assumem os seguintes valores: $C_0 = 2,515517$; $C_1 = 0,802853$;

$C_2 = 0,010328$; $d_1 = 1,432788$; $d_2 = 0,189269$ e $d_3 = 0,001308$.

A variável t é definida pelas equações (3.29) e (3.30), MCKEE (1993):

$$t = \sqrt{L_n \left[\frac{1}{(P(X))^2} \right]}, \text{ para } 0 < P(X) \leq 0,5 \quad (3.29)$$

$$t = \sqrt{L_n \left[\frac{1}{1 - (P(X))^2} \right]}, \text{ para } 0,5 < P(X) \leq 1,0 \quad (3.30)$$

O objetivo é determinar um valor numérico para a precipitação, que possa ser comparado com outras regiões com climas bem distintos.

Esse índice é baseado na probabilidade da precipitação, para diferentes escalas de tempo, contribuindo para uma avaliação da severidade da seca.

As diferentes escalas de tempo (3, 6, 12 e 24 meses) refletem o impacto da seca sobre a disponibilidade das diferentes reservas de água; em pequena escala na umidade do solo para a agricultura e em escala de longo período nos fluxos dos rios e nos reservatórios.

A partir dos cálculos dos valores de SPI mensais, nas escalas de tempo de (3, 6 e 12 meses) foram classificados os períodos secos e úmidos segundo McKee (1993), utilizando-se a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Classificação dos períodos secos e úmidos do SPI

SPI	Categoria
$\geq 2,00$	Extremamente úmido
1,5 a 1,99	Muito úmido
1,00 a 1,49	Moderadamente úmido
0,99 a - 0,99	Próximo ao normal
- 1,00 a - 1,49	Moderadamente seco
- 1,50 a - 1,99	Muito seco
$\leq - 2,00$	Extremamente seco

Fonte: McKEE, 1993.

3.6.1 Interpretação do SPI para Diferentes Escalas de Tempo

O SPI foi desenvolvido de modo a ser um indicador de seca, que reconhece a importância das escalas de tempo que afetam vários tipos de necessidades de água. Deste modo, é calculado considerando séries e períodos médios, selecionados de modo a se determinar séries de escalas de tempo de i meses, $i = 1, 2, 3, \dots, 12, \dots, 24, \dots$ meses. O número de meses é arbitrário, mas os valores escolhidos representam escalas de tempo de déficits de precipitação importantes.

Em Thom (1966), o evento seca começa quando o SPI torna-se negativo e atinge o valor de -1 e termina quando este volta a apresentar valores positivos. Esse índice tem como base o ajuste de séries de precipitação à distribuição gama incompleta. Tal distribuição é adequada para descrever o comportamento de variáveis com pequena magnitude que possuam limite inferior superior a zero.

Segundo Assis et al (1996), a distribuição gama de probabilidade é a distribuição mais utilizada para o ajuste de totais de chuva de períodos mensais ou menores.

3.6.2 Interpretação do SPI de 1 mês

A representação do SPI-1 é muito similar à representação da percentagem da normal de precipitação para 1 mês. É uma representação mais exata da precipitação mensal, porque a distribuição foi normalizada e o SPI-1 reflete as condições de curto prazo.

A interpretação do SPI-1 deve ser efetuada com cuidado e sempre com base na climatologia do local. Nas regiões onde a ocorrência de precipitação é em média baixa durante 1 mês, podem ocorrer grandes valores positivos ou negativos de SPI, apesar do desvio em relação à média ser pequeno. Deste modo, apesar de o SPI estar normalizado e permitir comparação direta entre diferentes regiões, em última análise é a climatologia local de cada região que permite a interpretação do significado do valor do índice.

3.6.3 Interpretação do SPI de 3 meses

O SPI-3 fornece uma comparação da precipitação ao longo de um período específico de 3 meses, com totais de precipitação desse mesmo período de 3 meses para todos os anos da série de tempo. Assim, o SPI-3 para o fim de Fevereiro, compara a precipitação total de Dezembro-Janeiro-Fevereiro de um determinado ano com totais de precipitação de Dezembro a Fevereiro de todos os anos da série.

O SPI-3 reflete as condições de água no solo a curto e médio prazo e fornece uma estimativa da precipitação sazonal. O SPI-3 tem grande aplicação na análise da água disponível no solo. É importante comparar o SPI-3 com escalas de tempo mais longas, pois um período de 3 meses normal pode ocorrer no meio de um período longo de seca, sendo só visível em escalas de tempo mais longas.

Assim como o SPI-1, o SPI-3 é igualmente muito sensível a grandes variações da quantidade de precipitação em regiões e períodos do ano onde a precipitação seja muito reduzida ou muito elevada. Deste modo é igualmente necessário ter em conta a climatologia da região, de forma a verificar se os valores anormalmente elevados ou baixos têm tradução em elevadas ou escassas quantidades de precipitação que justifiquem atenção especial.

Exemplificando, um valor de SPI-3 de $-1,5$ em Dezembro em Maceió, não tem o mesmo significado que um valor de $-1,5$ em Maio. De fato, apesar da normalização e do valor do índice significar o mesmo desvio em relação à média para o período em análise, após a transformação, na prática as consequências podem ser muito diferentes.

3.6.4 Interpretação do SPI de 6 meses

O SPI-6 compara a precipitação para esse período com o mesmo período de 6 meses dos anos da série histórica em análise. Por exemplo, um SPI-6 no final de Setembro compara

o total de precipitação para o período de Abril a Setembro com todos os totais anteriores para o mesmo período.

Através do SPI-6 é possível distinguir a precipitação ao longo de diferentes estações do ano. Por exemplo, o SPI-6 no final de Março é um bom indicador da quantidade de precipitação que ocorre no importante período Outono e Inverno.

A informação do SPI-6 já começa a estar associada a anomalias nas reservas de água e nos caudais dos rios.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Procedimento para a Determinação de Anomalias de Chuva

A partir dos dados da série, foram feitos os cálculos da média aritmética e desvio padrão para as análises dos meses correspondentes a todas as estações do ano. Os dados foram normalizados pela equação (4.1) (SOONG, 1986; SPIEGEL, 1994; LOPES, 2001; MAGALHÃES e LIMA, 2010; MAGALHÃES, 2011).

$$Z_{(i)} = \frac{(P_{(i)} - P_m)}{D_p} \quad (4.1)$$

Onde: $Z_{(i)}$ = precipitação normalizada

$P_{(i)}$ = precipitação observada no período correspondente ao ano i

P_m = precipitação média observada nos períodos correspondentes dos cem anos

D_p = desvio padrão

As anomalias de chuva dos períodos de estudo, positivas e negativas, foram definidas quando o valor observado de precipitação está fora do intervalo entre o ponto dado pelo valor da média menos o desvio padrão e o ponto dado pelo valor da média mais o desvio padrão.

Definindo-se:

A^+ anomalia positiva de chuva: período com precipitação acima da faixa média climatológica observada.

A^- anomalia negativa de chuva: período com precipitação abaixo da faixa média climatológica observada.

\hat{A} período sem anomalia de chuva

A período com anomalia de chuva (negativa ou positiva).

Onde, $A = A^- \cup A^+$

P precipitação em análise

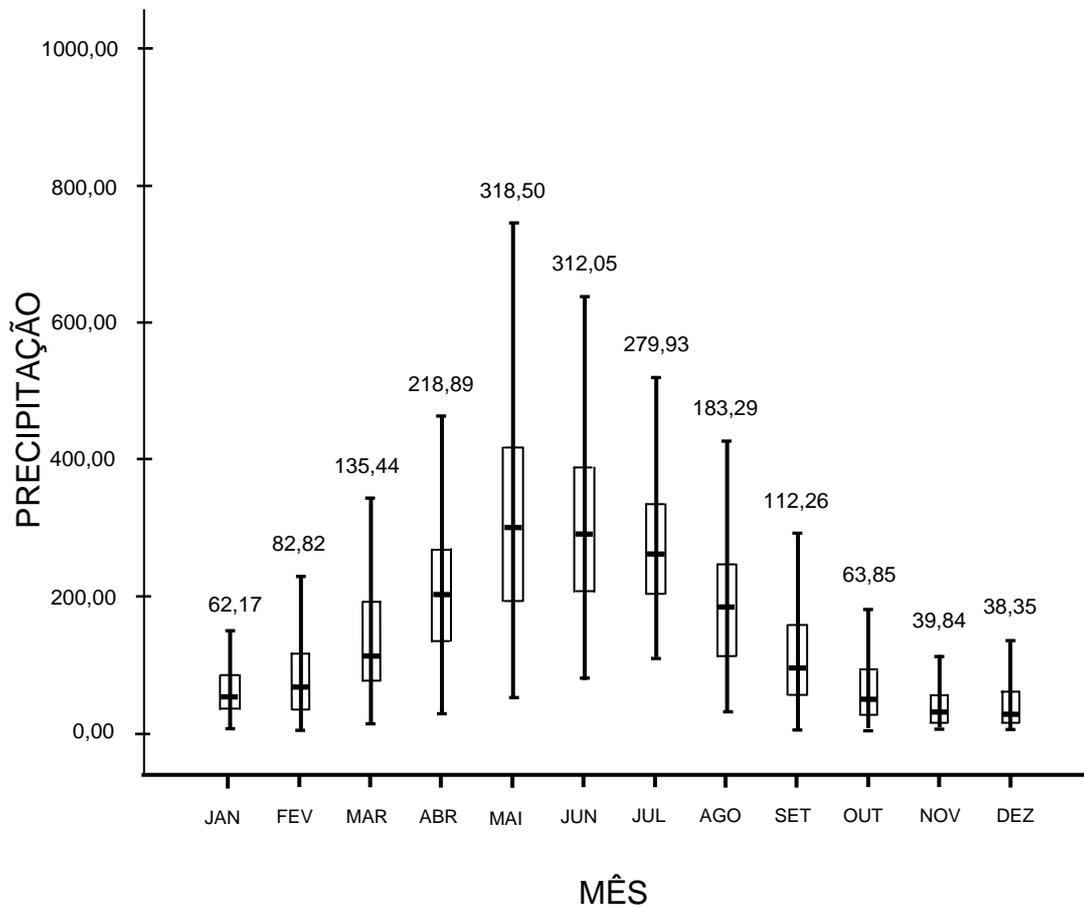
Observa-se a ocorrência de:

$$A^+ \text{ se } P > P_m + D_p, \quad (4.2)$$

$$\hat{A} \text{ se } P_m - D_p \leq P \leq P_m + D_p, \quad (4.3)$$

$$A^- \text{ se } P < P_m - D_p, \quad (4.4)$$

Gráfico 4.1 – Box-plot dos valores mensais da série climatológica



Fonte: Autor, 2012.

O Gráfico Box-plot 4.1 caracteriza a normalização e o comportamento da série pluviométrica utilizada neste trabalho de pesquisa. Esse gráfico, segundo Magalhães e Lima (2010), também chamado de gráfico de caixa é formado por quartis. Ele permite visualizar diversos aspectos da distribuição dos dados, tais como posição, variabilidade, assimetria e a ocorrência de valores atípicos. Logo, observa-se que a estação que apresenta maior índice de precipitação pluviométrica foi a estação Outono, que neste trabalho é representada pelos meses de Abril, Maio e Junho. O período que apresenta o menor índice de precipitação

pluviométrica corresponde à estação Primavera, aqui representada pelos meses de Outubro, Novembro e Dezembro.

Neste trabalho de pesquisa foram utilizadas planilhas eletrônicas e o software estatístico SPSS.

4.2 Características da Estação Verão

Sendo os eventos:

A_V variável anomalia de chuvas no verão, com os valores:

A_V^- anomalia negativa de chuva no Verão: período com precipitação abaixo da faixa média climatológica observada,

A_V^+ anomalia positiva de chuva no Verão: período com precipitação acima da faixa média climatológica observada,

\hat{A}_V inexistência de anomalia de chuvas no Verão.

$$A_V = A_V^- \cup A_V^+.$$

Define-se:

Probabilidade a priori de valores da variável anomalia de chuvas no Verão:

$P(A_V^-)$ = probabilidade a priori de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Verão,

$P(\hat{A}_V)$ = probabilidade a priori de não ocorrência de anomalia de chuva no Verão,

$P(A_V^+)$ = probabilidade a priori de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Verão.

Probabilidade condicional:

$P(A_V^-|A_V)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Verão dado que se observa a ocorrência de anomalia de chuva no Verão.

$P(A_V^+|A_V)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Verão dado que se observa a ocorrência de anomalia de chuva no Verão.

Nos 100 anos da série, ou seja, de 1911 a 2010, nos meses de janeiro, fevereiro e março, considerados neste trabalho como representativos da estação Verão, verificou-se 11

eventos com anomalias de chuva abaixo da faixa média climatológica, ou seja, em que choveu menos que a faixa média climatológica, o que caracteriza anomalia negativa de chuva. Nesse mesmo horizonte de cem anos foram observados 72 eventos que não apresentaram anomalia de chuva, e 17 eventos com anomalia positiva de chuva, ou seja, em que houve uma quantidade de chuva acima dos valores observados na faixa média climatológica.

Os Quadros 4.1 e 4.2 realçam, para a estação Verão, os eventos ocorridos nesse período, sejam eles de anomalia negativa, onde foram registradas 11 observações, ou de anomalia positiva, onde foram registrados 17 casos, como também períodos sem a ocorrência de anomalias, que foram em número de 72 observações (células em branco). O Quadro 4.1 indica também as ocorrências do fenômeno ENOS, que no caso dessa estação ocorreram em 33 períodos, distribuídos em 13 El Niño e 20 La Niña.

Sabendo-se da ocorrência de anomalia de chuva num Verão, é mais provável que esse Verão seja chuvoso do que relativamente seco. Esta conclusão se baseia no fato de que nos cem anos registrados, as frequências observadas induzem a valores de probabilidade tais que: $P(A_V^+|A_V) > 1,5P(A_V^-|A_V)$. Mas se dividirmos o século em duas metades, observa-se que a tendência de se ter mais Verão chuvoso do que seco, nos casos de anomalia de chuva, se manifestou de fato na segunda metade do século. Enquanto nos anos de 1911 a 1960 se conta cinco verões chuvosos e também cinco verões secos, no período de 1961 a 2010 se conta doze verões chuvosos e apenas seis verões secos. Os dados sugerem um aumento da probabilidade de ocorrência de anomalia na precipitação de Verão, havendo, no caso de anomalias nos últimos cinquenta anos, o dobro de chance de se ter um Verão chuvoso do que se ter um Verão seco.

Em termos de décadas, observa-se para o Verão que:

- A década de 1920 a 1929 foi a mais estável em termos de chuva, não tendo havido qualquer anomalia de chuva no período de Verão (Janeiro, Fevereiro e Março);
- A década de 1980 a 1989 foi excepcionalmente chuvosa, com quatro verões chovendo copiosamente e com nenhum ano de Verão seco;
- Não houve nenhum ano de Verão seco nas décadas do início e do fim do século observado.

**Quadro 4.1 – Anos de anomalias de chuva no Verão e fenômenos ENOS
meses: Janeiro, Fevereiro e Março na série observada**

Anomalias de chuva no Verão e fenômenos ENOS									
1911	EN 1912	1913	1914	1915	1916	LN 1917	LN 1918	EN 1919	1920
1921	LN 1922	LN 1923	1924	LN 1925	EN 1926	1927	1928	LN 1929	LN 1930
1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	LN 1939	1940
EN 1941	EN 1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	LN 1950
LN 1951	1952	1953	1954	1955	LN 1956	1957	1958	1959	1960
1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
LN 1971	1972	1973	LN 1974	1975	LN 1976	1977	EN 1978	1979	1980
1981	1982	EN 1983	1984	1985	1986	EN 1987	1988	LN 1989	1990
1991	EN 1992	EN 1993	1994	1995	1996	1997	EN 1998	LN 1999	LN 2000
LN 2001	2002	EN 2003	2004	2005	2006	2007	LN 2008	LN 2009	EN 2010

Legenda:  Sem anomalia  Anomalia negativa (Seco)  Anomalia positiva (Chuvoso)

EN = El Niño LN = La Niña

Fonte: Autor, 2012.

Quadro 4.2 – Anos com ocorrência de anomalias de chuva durante o Verão

Anomalias nas chuvas de Verão										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
191			+		+				+	
192										
193		-						-		+
194					-					
195		-					+		-	
196			-	+	+					
197	+	-	-				+			
198		+		+		+		+		
199			+	-		-		+	-	
200			+		+					
201										

Legenda: 50 primeiros anos do século

últimos 50 anos do século

Verão chuvoso

Verão seco

Fonte: Autor, 2012.

4.2.1 Estudo da Influência da Ocorrência de Anomalia de Chuva na Primavera em Anomalia de Chuva no Verão Subsequente

A rede Bayesiana da Figura 4.1 serve de suporte para a avaliação da possibilidade de que uma anomalia de chuva na Primavera de um ano possa prenunciar também anomalia de chuva no Verão subsequente, no início do ano seguinte.

Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva no Verão

Figura 4.1 – Influência de Anomalia de Chuva na Primavera em Anomalia de Chuva no Verão Subsequente



Fonte: Autor, 2012.

As variáveis anomalias a cada nó e os correspondentes valores possíveis são:

A_P variável anomalia de chuva na Primavera, que pode assumir os valores:

A_P^- anomalia negativa de chuva na Primavera,

\hat{A}_P inexistência de anomalia de chuva na Primavera,

A_P^+ anomalia positiva de chuva na Primavera,

$A_P = A_P^- \cup A_P^+$.

A_V variável anomalia de chuva no Verão subsequente, com os valores:

A_V^- anomalia negativa de chuva no Verão,

\hat{A}_V inexistência de anomalia de chuva no Verão,

A_V^+ anomalia positiva de chuva no Verão.

$A_V = A_V^- \cup A_V^+$.

A seguir definimos os valores de probabilidade a priori envolvidos na estação Primavera:

$P(A_P^-)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva na Primavera;

$P(\hat{A}_P)$ = probabilidade de não ocorrência de anomalia de chuva na Primavera;

$P(A_P^+)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva na Primavera;

A seguir definimos os valores de probabilidade a priori envolvidos na estação Verão:

$P(A_V^-)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Verão;

$P(\hat{A}_V)$ = probabilidade de não ocorrência de anomalia de chuva no Verão;

$P(A_V^+)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Verão.

Nos 100 anos observados, em 19 anos registra-se anomalia nas ocorrências de chuvas na Primavera, com 8 anos tendo chovido pouco e com 11 anos tendo se observado excesso de chuvas em relação à média climatológica. Nos 81 anos restantes da série, não foram detectados eventos de anomalia de chuva, tomando-se como referência a equação (4.1), e demais procedimentos decorrentes dela, que são as equações (4.2), (4.3) e (4.4).

Para a estação Verão, utilizando-se dos mesmos critérios e procedimentos já descritos, observa-se a ocorrência de 28 casos de anomalia de chuva, dos quais 11 anos com anomalia negativa, ou seja, com chuvas abaixo da faixa média climatológica e 17 anos com chuvas acima da faixa média climatológica. Os 72 anos restantes não apresentaram anomalias de chuva.

A Tabela 4.2 indica os valores de probabilidade associados à Rede Bayesiana representada pela Figura 4.1.

As estações Primavera e Verão são bastante interdependentes, com circunstâncias similares. Pouca chuva na Primavera dobra a chance de que haja pouca chuva no Verão e anula a possibilidade de se ter, segundo a terceira coluna da Tabela 4.2, um Verão chuvoso. Em contrapartida, segundo a quinta coluna da Tabela 4.2, muita chuva na Primavera anula a

possibilidade de que o Verão seja fraco em chuva e aumenta substancialmente a probabilidade que o Verão tenha chuvas copiosas.

Tabela 4.2 – Valores de probabilidade associados à variável A_V , a priori e depois de se conhecer A_P .

Valores de Probabilidade Associados à Estação Verão				
Valor da variável A_V , de Anomalia de chuva no Verão.	Probabilidade a priori de Anomalia de chuva no Verão.	Probabilidade a posteriori de Anomalia de chuva no Verão $P(A_V A_P)$, dado o valor de Anomalia de chuva na Primavera.		
A_V	$P(A_V)$	A_P^-	\hat{A}_P	A_P^+
A_V^-	0,11	0,25	0,11	0
\hat{A}_V	0,72	0,75	0,73	0,54
A_V^+	0,17	0	0,15	0,45

Fonte: Autor, 2012.

Os seguintes valores de probabilidade da Tabela 4.2 merecem destaque:

$P(A_V^-|A_P^-)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Verão dado que houve anomalia negativa de chuva na Primavera do período anterior.

Ao se verificar que choveu pouco na Primavera, há probabilidade de 0,25 de chover pouco no Verão subsequente. A probabilidade a priori de chover pouco no Verão é de apenas 0,11, mas, essa probabilidade sobe para 0,25 ao se saber que choveu pouco na Primavera. Dessa forma, saber que choveu pouco na Primavera é um prenúncio de que poderá chover pouco no Verão subsequente, já que mais que dobra a chance de que esse Verão tenha pouca chuva.

$P(A_V^-|A_P^+)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Verão dado que houve anomalia positiva de chuva na Primavera do período anterior.

É interessante observar que nos 100 anos pesquisados, nunca houve Verão com pouca chuva quando a Primavera anterior apresentou muita chuva.

$P(A_V^+|A_P^-)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Verão dado que houve anomalia negativa de chuva na Primavera do período anterior.

Outro fato bastante interessante é que nos 100 anos pesquisados, nunca houve Verão com muita chuva quando a Primavera anterior apresentou pouca chuva, conforme ficou plenamente caracterizado pelo resultado nulo da probabilidade condicional acima.

$P(A_V^+|A_P^+)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Verão dado que houve anomalia positiva de chuva na Primavera do período anterior.

No período utilizado nesta pesquisa, foi observado que a probabilidade de anomalia positiva de chuva no Verão é 0,17. Essa probabilidade passa para 0,45 ao se verificar que choveu muito na Primavera, no período anterior. Concluímos então que houve influência significativa do excesso de chuva na Primavera no regime pluviométrico do Verão subsequente. Chover muito na Primavera é um indício de que poderá chover bastante no Verão subsequente e de que não haverá seca nesse Verão.

4.3 Características da Estação Outono

Sendo os eventos:

A_O variável anomalia de chuva no Outono,

A_O^- anomalia negativa de chuva no Outono: período com precipitação abaixo da faixa média climatológica observada,

A_O^+ anomalia positiva de chuva no Outono: período com precipitação acima da faixa média climatológica observada,

\hat{A}_O inexistência de anomalia de chuvas no Outono.

$$A_O = A_O^- \cup A_O^+.$$

Define-se:

Probabilidade a priori de valores da variável anomalia de chuvas no Outono:

$P(A_O^-)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Outono;

$P(\hat{A}_O) =$ probabilidade de não ocorrência de anomalia de chuva no Outono;

$P(A_O^+) =$ probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Outono.

Probabilidade condicional:

$P(A_O^-|A_O) =$ probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Outono dado que se observa a ocorrência de anomalia de chuva no Outono.

$P(A_O^+|A_O) =$ probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Outono dado que se observa a ocorrência de anomalia de chuva no Outono.

Nos 100 anos da série pesquisada, em 33 anos ocorreram anomalias nas precipitações de chuvas no Outono, com 17 anos tendo chovido pouco e com 16 anos tendo se observado excesso de chuvas em relação à faixa média climatológica. Nos 67 anos restantes da série, não foram detectados eventos de anomalia de chuva, sempre se tomando como referência a equação (4.1), e demais procedimentos decorrentes dela, que são as equações (4.2), (4.3) e (4.4).

O Quadro 4.3 realça para a estação Outono os eventos ocorridos nesse período, sejam eles de anomalia negativa, onde foram registradas 17 observações, ou de anomalia positiva, onde foram registrados 16 casos, como também períodos sem a ocorrência de anomalias, que foram em número de 67 observações (células em branco). O Quadro também ilustra as ocorrências do fenômeno ENOS, que no caso dessa estação se deram em 35 períodos, distribuídos da seguinte forma, 21 El Niño e 14 La Niña.

**Quadro 4.3 – Anos com anomalias de chuva no Outono e fenômenos ENOS
meses: Abril, Maio e Junho na série observada**

Anomalias de chuva no Outono e fenômenos ENOS									
EN 1911	EN 1912	1913	EN 1914	1915	1916	LN 1917	1918	EN 1919	1920
1921	1922	1923	LN 1924	1925	EN 1926	LN 1927	1928	1929	1930
LN 1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	LN 1938	1939	EN 1940
EN 1941	1942	1943	1944	1945	EN 1946	1947	1948	1949	LN 1950
1951	1952	1953	1954	LN 1955	LN 1956	1957	1958	1959	1960
1961	1962	1963	LN 1964	EN 1965	1966	1967	1968	1969	1970
1971	EN 1972	1973	LN 1974	LN 1975	1976	EN 1977	1978	1979	1980
LN 1981	EN 1982	1983	1984	1985	1986	EN 1987	1988	LN 1989	1990
EN 1991	EN 1992	EN 1993	EN 1994	1995	1996	EN 1997	1998	1999	2000
2001	EN 2002	EN 2003	2004	2005	EN 2006	2007	2008	2009	LN 2010

Legenda: Sem anomalia Anomalia negativa (Seco) Anomalia positiva (Chuvoso)

EN = El Niño LN = La Niña

Fonte: Autor, 2012.

Sabendo-se da ocorrência de anomalia de chuva num Outono, praticamente não há condição de se prever se esse Outono foi chuvoso ou relativamente seco. Esta conclusão se baseia pelo fato de que $P(A_O^+|A_O) \cong P(A_O^-|A_O)$. Em termos de século, cabe observar que a tendência de se ter mais Outono chuvoso do que seco, nos casos de anomalia de chuva se manifestou na segunda metade do século. Enquanto nos anos de 1911 a 1960 se conta seis outonos chuvosos para dez outonos secos, no período de 1961 a 2010 se conta dez outonos chuvosos e apenas sete outonos secos. Os dados sugerem um aumento da probabilidade de ocorrência de anomalia na precipitação de Outono. Analisando a série como um todo se verifica que a estação Outono apresentou 17 ocorrências de anomalia positiva de chuva contra 16 ocorrências de anomalia negativa de chuva, o que torna essa estação equilibrada em termos de anomalia positiva ou negativa de chuva.

Em termos de décadas, observa-se para o Outono que:

- Todas as décadas desta estação apresentaram anomalia de chuva;
- A década de 1920 a 1929 apresentou o maior índice de anomalia negativa de chuva, ou seja, foi a década que choveu menos nesse século;
- O Outono é uma estação bem distribuída em termos de anomalia de chuva, uma vez que foram observadas 17 ocorrências de anomalia negativa de chuva e 16 ocorrências de anomalia positiva de chuva.

Quadro 4.4 – Anos com ocorrência de anomalias de chuva durante o Outono

Anomalias nas chuvas de Outono										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
191		–	–			–				
192			+	–			–	–	–	–
193		–	–							
194	+				+				+	+
195		+								
196					+		+			
197	–		+					+		–
198	–	–		–						+
199				–	+	+	+			–
200			+		+					
201										

Legenda: 50 primeiros anos do século

últimos 50 anos do século

+ Outono chuvoso

– Outono seco

Fonte: Autor, 2012.

4.3.1 Estudo da Influência da Ocorrência de Anomalia de Chuva no Verão em Anomalia de Chuva no Outono

A rede Bayesiana da Figura 4.2 serve de suporte para a avaliação da possibilidade de que uma anomalia de chuva no Verão possa prenunciar também anomalia de chuva no Outono.

Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva no Outono

Figura 4.2 – Influência de Anomalia de Chuva no Verão em Anomalia de Chuva no Outono



Fonte: Autor, 2012.

As variáveis anomalias a cada nó e os correspondentes valores possíveis são:

A_V variável anomalia de chuva no Verão, com os valores:

A_V^- anomalia negativa de chuva no Verão,

\hat{A}_V inexistência de anomalia de chuva no Verão,

A_V^+ anomalia positiva de chuva no Verão,

$A_V = A_V^- \cup A_V^+$.

A_O variável anomalia de chuva no Outono, que pode assumir os valores:

A_O^- anomalia negativa de chuva no Outono,

\hat{A}_O inexistência de anomalia de chuva no Outono,

A_O^+ anomalia positiva de chuva no Outono.

$A_O = A_O^- \cup A_O^+$.

A seguir os valores de probabilidade a priori envolvidos na estação Verão:

$P(A_{\bar{V}})$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Verão;

$P(\hat{A}_V)$ = probabilidade de não ocorrência de anomalia de chuva no Verão;

$P(A_V^+)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Verão.

A seguir os valores de probabilidade a priori envolvidos na estação Outono:

$P(A_{\bar{O}})$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Outono;

$P(\hat{A}_O)$ = probabilidade de não ocorrência de anomalia de chuva no Outono;

$P(A_O^+)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Outono.

Nos 100 anos observados, em 28 anos registra-se anomalia nas ocorrências de chuvas no Verão, com 11 anos tendo chovido pouco e com 17 anos tendo se observado excesso de chuvas em relação ao histórico disponível.

A Tabela 4.3 indica os valores de probabilidade associados à Rede Bayesiana representada pela Figura 4.2.

Tabela 4.3 – Valores de probabilidade associados à variável A_O , a priori e depois de se conhecer A_V .

Valores de Probabilidade Associados à Estação Outono				
Valor da variável A_O , de Anomalia de chuva no Outono.	Probabilidade a priori de Anomalia de chuva no Outono.	Probabilidade a posteriori de Anomalia de chuva no Outono $P(A_O A_V)$, dado o valor de Anomalia de chuva no Verão.		
A_O	$P(A_O)$	$A_{\bar{V}}$	\hat{A}_V	A_V^+
$A_{\bar{O}}$	0,17	0,18	0,15	0,24
\hat{A}_O	0,67	0,45	0,72	0,59
A_O^+	0,16	0,36	0,12	0,18

Fonte: Autor, 2012.

Os seguintes valores de probabilidade condicional da Tabela 4.3 merecem destaque:

$P(A_O^-|A_V^+)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Outono dado que houve anomalia positiva de chuva no Verão.

Verificamos que no Outono, a probabilidade a priori de ocorrência de pouca chuva foi de 0,17. Essa probabilidade passa para 0,24 ao se verificar que choveu muito no Verão.

$P(A_O^+|A_V^-)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Outono dado que houve anomalia negativa de chuva no Verão.

Verificamos que no Outono, a probabilidade a priori de ocorrência de muita chuva foi de 0,16. Essa probabilidade passa para 0,36 ao se verificar que choveu pouco no Verão.

A quinta coluna da Tabela 4.3 sugere situações de avanço para o Verão das chuvas do primeiro semestre (muita chuva no Verão, mas pouca chuva no Outono). Esse fato representa uma boa situação para a agricultura. Quando se analisa a terceira coluna verifica-se que as chuvas do ano foram adiadas para o Outono (pouca chuva no Verão, mas muita chuva no Outono). Esse fato representa condições desfavoráveis para a agricultura. Observando-se o primeiro elemento da quinta coluna e o último elemento da terceira coluna, verifica-se uma tendência de compensação (ou chove muito no Verão ou chove muito no Outono).

4.4 Características da Estação Inverno

Sendo os eventos:

A_I variável anomalia de chuva no Inverno, que pode assumir os valores:

A_I^- anomalia negativa de chuva no Inverno: período com precipitação abaixo da faixa média climatológica observada,

\hat{A}_I inexistência de anomalia de chuvas no Inverno,

A_I^+ anomalia positiva de chuva no Inverno: período com precipitação acima da faixa média climatológica observada,

$A_I = A_I^- \cup A_I^+$.

A seguir os valores de probabilidade a priori da estação Inverno:

$P(A_I^-)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Inverno,

$P(\hat{A}_I)$ = probabilidade de não ocorrência de anomalia de chuva no Inverno,

$P(A_I^+)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Inverno.

Probabilidade condicional:

$P(A_I^-|A_I)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Inverno dado que se observa a ocorrência de anomalia de chuva no Inverno.

$P(A_I^+|A_I)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Inverno dado que se observa a ocorrência de anomalia de chuva no Inverno.

Nos 100 anos da série pesquisada, em 31 anos ocorreram anomalias nas precipitações de chuvas no Inverno, com 15 anos tendo chovido pouco e com 16 anos tendo se observado excesso de chuvas em relação à média climatológica. Nos 69 anos restantes da série, não foram detectados eventos de anomalia de chuva.

O Quadro 4.5 realça para a estação Inverno os eventos ocorridos nesse período, sejam eles de anomalia negativa, onde foram registradas 15 observações, ou de anomalia positiva, onde foram registrados 16 casos, como também períodos sem a ocorrência de anomalias, que foram em número de 69 observações (células em branco). O Quadro ilustra também as ocorrências do fenômeno ENOS no Inverno, que no caso dessa estação ocorreram em 39 períodos, distribuídos em 20 El Niño e 19 La Niña.

Sabendo-se da ocorrência de anomalia de chuva num Inverno, praticamente não há condição de se prever se esse Inverno será chuvoso ou relativamente seco. Esta conclusão se baseia pelo fato de que $P(A_I^+|A_I) \cong P(A_I^-|A_I)$. Em termos de anomalia de chuva, essa estação também é muito equilibrada. Os dados sugerem um aumento da probabilidade de ocorrência de anomalia na precipitação de Inverno, havendo no caso de anomalia, praticamente a mesma chance de se ter um Inverno chuvoso do que se ter um Inverno seco.

Quando se avalia períodos de cinquenta anos, cabe observar que a tendência de se ter mais Inverno chuvoso do que seco, nos casos de anomalia de chuva se manifestou na segunda

metade do século. Enquanto nos anos de 1911 a 1960 se conta quatro invernos chuvosos para nove invernos secos, no período de 1961 a 2010 se conta doze invernos chuvosos e apenas seis invernos secos.

Em termos de décadas, observa-se para o Inverno que:

- Todas as décadas desta estação também apresentaram anomalia de chuva;
- A década de 1980 a 1989 apresentou o maior índice de anomalia positiva de chuva, ou seja, foi a década que choveu mais nesse século;
- É uma estação bem distribuída em termos de anomalia de chuva, uma vez que foram registrados 15 eventos com anomalia negativa de chuva e 16 eventos com anomalia positiva de chuva.

**Quadro 4.5 – Anos com anomalias de chuva no Inverno e fenômenos ENOS
meses: Julho, Agosto e Setembro na série observada**

Anomalias de chuva no Inverno e fenômenos ENOS									
EN 1911	1912	EN 1913	EN 1914	1915	LN 1916	LN 1917	1918	EN 1919	1920
1921	1922	EN 1923	LN 1924	EN 1925	1926	1927	1928	1929	1930
LN 1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	LN 1938	1939	EN 1940
EN 1941	1942	1943	1944	1945	EN 1946	1947	1948	1949	LN 1950
1951	1952	1953	1954	LN 1955	LN 1956	1957	1958	1959	1960
1961	1962	1963	LN 1964	EN 1965	1966	1967	1968	1969	1970
1971	EN 1972	LN 1973	LN 1974	LN 1975	1976	EN 1977	1978	1979	1980
LN 1981	EN 1982	1983	1984	1985	1986	EN 1987	LN 1988	LN 1989	1990
EN 1991	1992	EN 1993	EN 1994	1995	1996	EN 1997	LN 1998	1999	LN 2000
2001	EN 2002	2003	2004	2005	EN 2006	2007	LN 2008	2009	LN 2010

Legenda: Sem anomalia

Anomalia negativa
(Seco)

Anomalia positiva
(Chuvoso)

EN = El Niño LN = La Niña

Fonte: Autor, 2012.

Quadro 4.6 – Anos com ocorrência de anomalias de chuva durante o Inverno

Anomalias nas chuvas de Inverno										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
191					+		-			+
192							-			
193	-			-						
194	+				+			-		
195			-		-			-		
196	-			-			+			
197	-			+		+	-			-
198		-		-	+	+	+		+	+
199				-	+		+			
200	+				+					
201										

Legenda: 50 primeiros anos do século

últimos 50 anos do século

Inverno chuvoso

Inverno seco

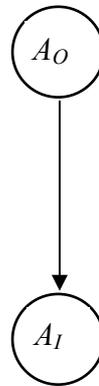
Fonte: Autor, 2012.

4.4.1 Estudo da Influência da Ocorrência de Anomalia de Chuva no Outono em Anomalia de Chuva no Inverno

A rede Bayesiana da Figura 4.3 serve de suporte para a avaliação da possibilidade de que uma anomalia de chuva no Outono possa prenunciar também anomalia de chuva no Inverno.

Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva no Inverno

Figura 4.3 – Influência de Anomalia de Chuva no Outono em Anomalia de Chuva no Inverno



Fonte: Autor, 2012.

As variáveis anomalias a cada nó e os correspondentes valores possíveis são:

A_O variável anomalia de chuva no Outono, com os valores:

A_O^- anomalia negativa de chuva no Outono,

\hat{A}_O inexistência de anomalia de chuva no Outono,

A_O^+ anomalia positiva de chuva no Outono,

$A_O = A_O^- \cup A_O^+$.

A_I variável anomalia de chuva no Inverno, que pode assumir os valores

A_I^- anomalia negativa de chuva no Inverno,

\hat{A}_I inexistência de anomalia de chuva no Inverno,

A_I^+ anomalia positiva de chuva no Inverno.

$A_I = A_I^- \cup A_I^+$.

A seguir os valores de probabilidade a priori envolvidos na estação Outono:

$P(A_O^-)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Outono;

$P(\hat{A}_O)$ = probabilidade de não ocorrência de anomalia de chuva no Outono;

$P(A_O^+)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Outono.

A seguir os valores de probabilidade a priori envolvidos na estação Inverno:

$P(A_I^-)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Inverno;

$P(\hat{A}_I)$ = probabilidade de não ocorrência de anomalia de chuva no Inverno;

$P(A_I^+)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Inverno.

Nos 100 anos observados, em 33 anos registraram-se anomalias nas ocorrências de chuvas no Verão, com 17 anos tendo chovido pouco e com 16 anos tendo se observado excesso de chuvas em relação ao histórico disponível.

A Tabela 4.4 indica os valores de probabilidade associados à Rede Bayesiana representada pela Figura 4.3.

Tabela 4.4 – Valores de probabilidade associados à variável A_I , a priori e depois de se conhecer A_O .

Valores de Probabilidade Associados à Estação Inverno				
Valor da variável A_I , de Anomalia de chuva no Inverno.	Probabilidade a priori de Anomalia de chuva no Inverno.	Probabilidade a posteriori de Anomalia de chuva no Inverno $P(A_I A_O)$, dado o valor de Anomalia de chuva no Outono.		
A_I	$P(A_I)$	A_O^-	\hat{A}_O	A_O^+
A_I^-	0,15	0,29	0,15	0
\hat{A}_I	0,69	0,70	0,72	0,56
A_I^+	0,16	0	0,13	0,44

Fonte, Autor, 2012.

Na Tabela 4.4 podem-se realçar os seguintes valores de probabilidade condicional:

$P(A_I^- | A_O^-)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Inverno dado que houve anomalia negativa de chuva no Outono.

Ao se verificar que choveu pouco no Inverno, cuja probabilidade a priori foi de 0,15, observou-se que esse valor passou para 0,29 ao se verificar que choveu pouco no Outono. Concluimos que houve influência da pouca chuva no Outono, na pouca chuva no Inverno. Praticamente essa chance dobrou.

$P(A_I^- | A_O^+)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Inverno dado que houve anomalia positiva de chuva no Outono.

Na série pluviométrica estudada, nunca se observou um Outono chuvoso com um subsequente Inverno com pouca chuva.

$P(A_I^+ | A_O^-)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Inverno dado que houve anomalia negativa de chuva no Outono.

Na série pluviométrica estudada, nunca se observou um Outono seco com um subsequente Inverno com muita chuva.

$P(A_I^+ | A_O^+)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Inverno dado que houve anomalia positiva de chuva no Outono.

No período utilizado nesta pesquisa, a ocorrência de probabilidade a priori de ocorrer anomalia positiva de chuva no Inverno foi de 0,16. Essa probabilidade passa para 0,44 ao se verificar que choveu muito no Outono. Observa-se então que houve influência no regime pluviométrico no Inverno, dado que choveu muito no Outono. Se tivermos muita chuva no Outono, existe uma grande chance de se ter um Inverno bem chuvoso.

$P(\hat{A}_I | A_O^+)$ = probabilidade de não ocorrência de anomalia de chuva no Inverno dado que houve anomalia positiva de chuva no Outono.

Ao se verificar que não houve anomalia de chuva no Inverno, cujo valor de probabilidade a priori foi de 0,69, esse valor passa para 0,56 ao se verificar a existência de

anomalia positiva de chuva no Outono. Logo, a normalidade do regime de chuva no Inverno não sofreu influência das chuvas acima da faixa média climatológica ocorrida no Outono.

4.5 Características da Estação Primavera

Sendo os eventos:

A_P variável anomalia de chuva na Primavera

A_P^- anomalia negativa de chuva na Primavera: período com precipitação abaixo da faixa média climatológica observada,

\hat{A}_P inexistência de anomalia de chuvas na Primavera,

A_P^+ anomalia positiva de chuva na Primavera: período com precipitação acima da faixa média climatológica observada,

$$A_P = A_P^- \cup A_P^+.$$

Valores de Probabilidade a priori da estação Primavera:

$P(A_P^-)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva na Primavera;

$P(\hat{A}_P)$ = probabilidade da não ocorrência de anomalia de chuva na Primavera;

$P(A_P^+)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva na Primavera.

Probabilidade condicional:

$P(A_P^-|A_P)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva na Primavera dado que se observa a ocorrência de anomalia de chuva na Primavera.

$P(A_P^+|A_P)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva na Primavera dado que se observa a ocorrência de anomalia de chuva na Primavera.

O Quadro 4.7 realça para a estação Primavera os eventos ocorridos nesse período, sejam eles de anomalia negativa, onde foram registradas 8 observações, ou de anomalia positiva, onde foram registrados 11 casos, como também períodos sem a ocorrência de anomalias, que foram em número de 81 observações. O Quadro mostra também as

ocorrências do fenômeno ENOS, que no caso dessa estação ocorreram em 34 períodos, distribuídos em 13 El Niño e 21 La Niña.

Sabendo-se da ocorrência de anomalia de chuva numa Primavera, é mais provável que essa Primavera seja chuvosa do que relativamente seca. Esta conclusão se baseia no fato de que $P(A_P^+|A_P) > 1,3P(A_P^-|A_P)$.

Em termos de períodos de meio século, cabe observar que a tendência de se ter mais Primavera chuvosa do que seca, nos casos de anomalia de chuva se manifestou na segunda metade do século. Enquanto nos anos de 1911 a 1960 se conta três primaveras chuvosas e seis primaveras secas, no período de 1961 a 2010 se conta oito primaveras chuvosas e apenas duas primaveras secas. Os dados sugerem um aumento da probabilidade de ocorrência de anomalia positiva na precipitação da Primavera. Das estações observadas neste trabalho, a estação Primavera apresentou o menor número de casos de anomalia de chuva, como também se caracterizou por ser a estação com menor índice de precipitação pluviométrica. Ou seja, geralmente chove menos na Primavera.

Em termos de décadas, observa-se para a Primavera que:

- As décadas de 1940 a 1949 e 1960 a 1969 foram as mais estáveis em termos de chuva, não tendo havido qualquer anomalia de chuva no período da Primavera (Outubro, Novembro e Dezembro);
- A década de 1980 a 1989 foi excepcionalmente chuvosa, com quatro primaveras chovendo acima da média e apenas um ano chovendo abaixo da média, ou seja, seco;
- Não houve nenhum ano de Primavera seca nas décadas do início e do fim do século observado.

**Quadro 4.7 – Anos com anomalias de chuva na Primavera e fenômenos ENOS
meses: Outubro, Novembro e Dezembro na série observada**

Anomalias de chuva na Primavera e fenômenos ENOS									
EN 1911	1912	1913	1914	1915	LN 1916	LN 1917	EN 1918	1919	1920
LN 1921	LN 1922	1923	LN 1924	EN 1925	1926	1927	LN 1928	LN 1929	1930
1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	LN 1938	1939	EN 1940
EN 1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	LN 1949	LN 1950
1951	1952	1953	1954	LN 1955	1956	1957	1958	1959	1960
1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	LN 1970
1971	1972	LN 1973	1974	LN 1975	1976	EN 1977	1978	1979	1980
1981	EN 1982	1983	1984	1985	EN 1986	1987	LN 1988	1989	1990
EN 1991	EN 1992	1993	1994	1995	1996	EN 1997	LN 1998	LN 1999	LN 2000
2001	EN 2002	2003	2004	2005	2006	LN 2007	LN 2008	EN 2009	LN 2010

Legenda: Sem anomalia Anomalia negativa (Seco) Anomalia positiva (Chuvoso)

EN = El Niño LN = La Niña

Fonte: Autor, 2012.

Quadro 4.8 – Anos com ocorrência de anomalias de chuva durante a Primavera

Anomalias nas chuvas de Primavera										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
191								+		
192						-	-			
193			-		+		-	-		+
194										
195									-	
196										
197	-						+			
198	+						+	-	+	+
199				+			+			
200		+								
201										

Legenda: 50 primeiros anos do século

últimos 50 anos do século

Primavera chuvosa

Primavera seca

Fonte: Autor, 2012.

4.5.1 Estudo da Influência da Ocorrência de Anomalia de Chuva no Inverno em Anomalia de Chuva na Primavera

A rede Bayesiana da Figura 4.4 serve de suporte para a avaliação da possibilidade de que uma anomalia de chuva no Inverno possa prenunciar também anomalia de chuva na Primavera.

Rede Bayesiana de Anomalia de chuva na Primavera

Figura 4.4 – Influência de Anomalia de Chuva no Inverno em Anomalia de Chuva na Primavera



Fonte: Autor, 2012.

As variáveis anomalias a cada nó e os correspondentes valores possíveis são:

A_I variável anomalia de chuva no Inverno, com os valores:

A_I^- anomalia negativa de chuva no Inverno,

\hat{A}_I inexistência de anomalia de chuva no Inverno,

A_I^+ anomalia positiva de chuva no Inverno,

$$A_I = A_I^- \cup A_I^+.$$

A_P variável anomalia de chuva na Primavera, que pode assumir os valores:

A_P^- anomalia negativa de chuva na Primavera,

\hat{A}_P inexistência de anomalia de chuva na Primavera,

A_P^+ anomalia positiva de chuva na Primavera.

$$A_P = A_P^- \cup A_P^+.$$

A seguir os valores de probabilidade a priori envolvidos na estação Inverno:

$P(A_I^-)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Inverno;

$P(\hat{A}_I)$ = probabilidade da não ocorrência de anomalia de chuva no Inverno;

$P(A_I^+)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Inverno.

A seguir os valores de probabilidade a priori envolvidos na estação Primavera:

$P(A_P^-)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva na Primavera;

$P(\hat{A}_P)$ = probabilidade da não ocorrência de anomalia de chuva na Primavera;

$P(A_P^+)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva na Primavera.

Nos 100 anos observados, em 31 anos registra-se anomalia nas ocorrências de chuvas no Inverno, com 15 anos tendo chovido pouco e com 16 anos tendo se observado excesso de chuvas em relação ao histórico disponível.

A Tabela 4.5 indica os valores de probabilidade associados à Rede Bayesiana representada pela Figura 4.4.

Tabela 4.5 – Valores de probabilidade associados à variável A_P , a priori e depois de se conhecer A_I .

Valores de Probabilidade Associados à Estação Primavera				
Valor da variável A_P , de Anomalia de chuva na Primavera.	Probabilidade a priori de Anomalia de chuva na Primavera.	Probabilidade a posteriori de Anomalia de chuva na Primavera $P(A_P A_I)$, dado o valor de Anomalia de chuva no Inverno.		
A_P	$P(A_P)$	A_I^-	\hat{A}_I	A_I^+
A_P^-	0,08	0,07	0,10	0
\hat{A}_P	0,81	0,80	0,83	0,75
A_P^+	0,11	0,13	0,07	0,25

Fonte: Autor, 2012.

Os seguintes valores de probabilidade da Tabela 4.5 merecem destaque:

$P(A_P^-|A_I^+)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva na Primavera dado que houve anomalia positiva de chuva no Inverno.

Verificamos que nos 100 anos pesquisados, nunca houve Primavera com pouca chuva quando o Inverno apresentou excesso de chuva.

$P(A_P^+|A_I^+)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva na Primavera dado que houve anomalia positiva de chuva no Inverno.

Na série utilizada nesta pesquisa, a ocorrência de probabilidade de anomalia positiva de chuva na Primavera foi de 0,11. Essa probabilidade passa para 0,25 ao se verificar que choveu muito no Inverno. Concluímos então que houve influência significativa no regime pluviométrico da Primavera, dado que choveu muito no Inverno. Uma vez que essa possibilidade mais que dobrou.

Muita chuva no Inverno passa bastante informação sobre as possibilidades de chuva na Primavera. Em compensação, pouca chuva no Inverno, na prática mantém nossa ignorância sobre as possibilidades de chuva na Primavera.

4.6 Médias Pluviométricas e Quadro de Anomalias de Chuva nas Estações na Série Climatológica

A Tabela 4.6 realça a média pluviométrica por Estação do Ano na série utilizada neste trabalho de pesquisa.

Tabela 4.6 – Médias pluviométricas por Estação do Ano na série climatológica

Estações do Ano e Média Pluviométrica			
Verão	Outono	Inverno	Primavera
93,48	283,15	191,83	47,35

Fonte: Autor, 2012.

Ao se analisar a Tabela 4.6 verifica-se que a Estação do Ano que apresenta o maior índice de precipitação pluviométrica é a Estação Outono e logo em seguida, a Estação Inverno. A Primavera apresentou o menor índice de precipitação pluviométrica.

Na Tabela 4.7 verificam-se duas situações relacionadas às médias pluviométricas por Estação do Ano. A primeira está relacionada com as médias pluviométricas dos primeiros 50

anos da série. A segunda está relacionada com as médias pluviométricas dos últimos 50 anos da série.

Tabela 4.7 – Médias pluviométricas por Estação do Ano e por período de 50 anos na série climatológica

Médias Pluviométricas das Estações do Ano por Período				
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Primeiros 50 anos	83,94	268,35	176,57	42,54
Últimos 50 anos	103,02	297,95	207,09	52,16

Fonte,: Autor, 2012.

Verifica-se através da Tabela 4.7 que nos primeiros 50 anos da série climatológica choveu menos que nos últimos 50 anos da série. Essa informação está em consonância com as informações contidas nos Quadros 4.2, 4.4, 4.6, 4.8 e 4.9, que retratam uma maior quantidade de anomalias positiva de chuva nos últimos 50 anos em todas as Estações do Ano.

O Quadro 4.9 registrou para a série pesquisada, 110 ocorrências de anomalia de chuva, dos quais 50 com anomalia negativa e 60 com anomalia positiva.

Ao se analisar o Quadro 4.9 verifica-se que a década de:

- 1910 a 1019 foram registradas 9 ocorrências de anomalia de chuva, dos quais 3 com anomalia negativa e 6 com anomalia positiva;
- 1920 a 1929 foram registrados 9 ocorrências de anomalia de chuva, dos quais 8 com anomalia negativa e 1 com anomalia positiva;
- 1930 a 1939 foram registrados 12 ocorrências de anomalia de chuva, dos quais 9 com anomalia negativa e 3 com anomalia positiva;
- 1940 a 1949 foram registrados 8 ocorrências de anomalia de chuva, dos quais 2 com anomalia negativa e 6 com anomalia positiva;
- 1950 a 1959 foram registrados 8 ocorrências de anomalia de chuva, dos quais 6 com anomalia negativa e 2 com anomalia positiva;
- 1960 a 1969 foram registrados 8 ocorrências de anomalia de chuva, dos quais 3 com anomalia negativa e 5 com anomalia positiva;
- 1970 a 1979 foram registrados 14 ocorrências de anomalia de chuva, dos quais 7 com anomalia negativa e 7 com anomalia positiva;

- 1980 a 1989 foram registrados 20 ocorrências de anomalia de chuva, dos quais 6 com anomalia negativa e 14 com anomalia positiva. Essa década apresentou o maior número de ocorrências de anomalia de chuva da série pesquisada;
- 1990 a 1999 foram registrados 15 ocorrências de anomalia de chuva, dos quais 6 com anomalia negativa e 9 com anomalia positiva;
- 2000 a 2009 foram registrados 7 ocorrências de anomalia de chuva, dos quais nenhum com anomalia negativa e 7 com anomalia positiva. Essa década apresentou o menor número de ocorrências de anomalia de chuva da série pesquisada.

Verifica-se pelo Quadro 4.9 que nos 50 primeiros anos da série registrou-se 28 ocorrências de anomalia negativa e 18 ocorrências de anomalia positiva, enquanto nos últimos 50 anos foram observadas 22 ocorrências de anomalia negativa e 42 ocorrências de anomalia positiva. Isso nos leva a acreditar que existe uma tendência de aumento na precipitação, ou seja, podemos dizer que choveu menos nos primeiros 50 anos que nos últimos 50 anos da série.

Características das Anomalias de Chuva por Estação do Ano na Região Leste do Estado de Alagoas

Quadro 4.9 – Anomalias de Chuva por Estação do Ano na Série Climatológica de 1911 a 2010

Registro de Anomalias de Chuva em um Século de Observação por Estação do Ano										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
191			+		+					+
192			+							
193										
194										
195										
196										
197										
198										
199										
200										

- Legenda:
- Estação Verão
 - Estação Outono
 - Anomalia positiva de chuva no Verão
 - Anomalia positiva de chuva no Outono
 - Anomalia negativa de chuva no Verão
 - Anomalia negativa de chuva no Outono
 - Estação Inverno
 - Estação Primavera
 - Anomalia positiva de chuva no Inverno
 - Anomalia positiva de chuva na Primavera
 - Anomalia negativa de chuva no Inverno
 - Anomalia negativa de chuva na Primavera

Fonte: Autor, 2012.

4.7 Interdependência com o Fenômeno ENOS

4.7.1 Influência do Fenômeno ENOS na Anomalia de Chuva no Verão

Através da Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva no Verão procura-se verificar a possível interferência de fenômeno ENOS nas anomalias de chuva dessa estação.

Rede Bayesiana de Influência do Fenômeno ENOS em Anomalia de Chuva no Verão

Figura 4.5 – Influência do Fenômeno ENOS em Anomalia de Chuva no Verão



Fonte: Autor, 2012.

As seguintes variáveis e valores correspondentes estão relacionados com a Rede Bayesiana representada pela Figura 4.5:

E_V Variável ENOS no Verão, podendo assumir os valores:

EN_V El Niño no Verão,

LN_V La Niña no Verão,

\hat{E}_V Inexistência de fenômeno ENOS no Verão,

$$E_V = EN_V \cup LN_V.$$

A_V Variável Anomalia de chuva no Verão, com os valores:

A_V^- anomalia negativa de chuva no Verão,

\hat{A}_V inexistência de anomalia de chuva no Verão,

A_V^+ anomalia positiva de chuva no Verão.

$$A_V = A_V^- \cup A_V^+.$$

A Tabela 4.8 indica os valores de probabilidade associados à Rede Bayesiana representada pela Figura 4.5.

Tabela 4.8 – Valores de probabilidade associados à variável A_V , a priori e depois de se conhecer E_V

Anomalias de chuva no Verão e fenômeno ENOS				
Anomalias de chuva no Verão		ENOS no Verão		
Probabilidade a Priori		Probabilidade a Posteriori		
A_V	$P(A_V)$	EN_V	LN_V	\hat{E}_V
A_V^-	0,11	0,15	0,10	0,10
\hat{A}_V	0,72	0,54	0,70	0,76
A_V^+	0,17	0,31	0,20	0,13

Fonte: Autor, 2012.

As variáveis abaixo relacionadas com anomalias de chuva no Verão e fenômeno ENOS apresentam valores de probabilidade discrepantes em relação aos correspondentes valores de probabilidade a priori. O que sugere que nessa situação o fenômeno ENOS apresenta alguma interferência no regime pluviométrico da Estação Verão.

$P(\hat{A}_V|EN_V)$ = probabilidade de não ocorrência de anomalia de chuva no Verão dado que houve ocorrência de El Niño no período.

No Verão, a probabilidade a priori de não ocorrer anomalia de chuva é de 0,72 (Tabela 4.2). Essa probabilidade passa para 0,54 dado que houve El Niño no período. Verificamos que, em períodos em que não existe anomalia de chuva no Verão, a existência de El Niño no período não contribui para a permanência de normalidade do regime pluviométrico.

$P(A_V^+|EN_V)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Verão dado que houve ocorrência de El Niño no período.

A probabilidade a priori de ocorrer anomalia positiva de chuva no Verão é 0,17 (Tabela 4.2). Esse valor passa para 0,31 ao se saber que houve El Niño no período. Em conclusão poderemos dizer que o fenômeno El Niño contribuiu no regime pluviométrico.

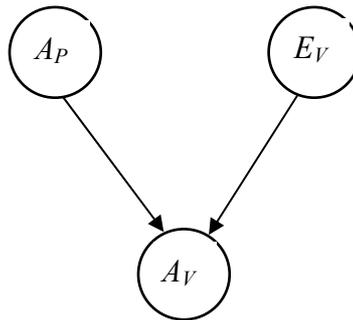
A Tabela 4.8 sugere alguma influência do fenômeno ENOS nas ocorrências de chuva no Verão, observando-se uma tendência de El Niño propiciar mais chuva no Verão.

4.7.2 Influência do Fenômeno ENOS e de Anomalia de Chuva na Primavera em Anomalia de Chuva no Verão

Nessa subseção procura-se verificar a possível interferência conjunta de Anomalias de Primavera e de fenômeno ENOS no Verão, nas anomalias de chuva no Verão. Embora, consciente de que eventuais efeitos de ocorrência simultânea de precipitação associada a fenômeno ENOS junto com informações de chuvas no período anterior, geralmente são raros e que podem nos levar a conclusões limitadas.

Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva no Verão

Figura 4.6 – Influência do Fenômeno ENOS e de Anomalia de Chuva na Primavera em Anomalia de Chuva no Verão



Fonte: Autor, 2012

As seguintes variáveis e valores correspondentes estão relacionados com a Rede Bayesiana representada pela Figura 4.6:

E_V Variável ENOS no Verão, que pode assumir os valores:

EN_V El Niño no Verão,

LN_V La Niña no Verão,

\hat{E}_V Inexistência de fenômeno ENOS no Verão,

$E_V = EN_V \cup LN_V$.

A_P Variável Anomalia de chuva na Primavera, com os valores:

A_P^- anomalia negativa de chuva na Primavera,

\hat{A}_P inexistência de anomalia de chuva na Primavera,

A_P^+ anomalia positiva de chuva na Primavera,

$$A_P = A_P^- \cup A_P^+.$$

A_V Variável Anomalia de chuva no Verão, com os valores:

A_V^- anomalia negativa de chuva no Verão,

\hat{A}_V inexistência de anomalia de chuva no Verão,

A_V^+ anomalia positiva de chuva no Verão,

$$A_V = A_V^- \cup A_V^+.$$

Na Tabela 4.9 estão relacionados os valores de probabilidade condicional relacionados com a Estação Verão. As informações sob a forma de fração pretende mostrar, no denominador, para os cem anos observados, qual a frequência absoluta dos eventos conjuntos Anomalia de Chuva no período anterior e existência de fenômeno ENOS no período de análise.

As variáveis a seguir estão relacionadas com a Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva no Verão extraídas da Figura 4.6, como também seus valores, contidos na Tabela 4.9. Foram relacionadas apenas as variáveis que apresentam valores significativos em termos de contribuição no regime pluviométrico no Verão.

$P(A_V^- | A_P^-, \hat{E}_V)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Verão dado que não houve fenômeno ENOS no período e anomalia negativa de chuva na Primavera, no período anterior.

A probabilidade a priori de chover pouco no Verão é 0,11(11/100), (Tabela 4.2). Esse valor passa para 0,17(1/6) ao se saber que não houve fenômeno ENOS no período e choveu pouco na Primavera no período anterior. Lembrando que na Tabela 4.2, temos $P(A_V^- | A_P^-) = 0,25$; aqui há indício de que a não existência de fenômeno ENOS reduz a chance de que a Primavera seca prenuncie também Verão seco.

Tabela 4.9 – Valores de frequências relativas relacionadas à Estação Verão

Anomalias de Chuva no Verão		Anomalias de Chuva na Primavera no Período Anterior e Fenômeno ENOS no Período								
A_V	$P(A_V)$	A_P^-, EN_V	A_P^-, \hat{E}_V	A_P^-, LN_V	\hat{A}_P, EN_V	\hat{A}_P, \hat{E}_V	\hat{A}_P, LN_V	A_P^+, EN_V	A_P^+, \hat{E}_V	A_P^+, LN_V
A_V^-	11/100	0	1/6	1/1	2/11	6/52	1/17	0	0	0
\hat{A}_V	72/100	1/1	5/6	0	6/11	40/52	13/17	0	5/8	1/2
A_V^+	17/100	0	0	0	3/11	6/52	3/17	1/1	3/8	1/2

Fonte: Autor, 2012.

$P(A_{\bar{V}}|A_{\bar{P}}, EN_V)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Verão dado que houve El Niño no período e anomalia negativa de chuva na Primavera no período anterior.

A probabilidade a priori de haver anomalia negativa de chuva no Verão é 0,11(11/100), (Tabela 4.2). Esse valor passa para zero ao se saber que houve El Niño no período e houve anomalia negativa de chuva na Primavera no período anterior. Observa-se que na Tabela 4.2, $P(A_{\bar{V}}|A_{\bar{P}}) = 0,25$. Esse valor sugere que a existência de El Niño no período impossibilita vislumbrar a chance de que uma Primavera seca prenuncie também um Verão seco.

$P(A_{\bar{V}}|A_{\bar{P}}^+, EN_V)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Verão dado que houve El Niño no período e anomalia positiva de chuva na Primavera no período anterior.

A probabilidade a priori de haver anomalia negativa de chuva no Verão é 0,11(11/100), (Tabela 4.2). Esse valor passa para zero ao se saber que houve El Niño no período e houve anomalia positiva de chuva na Primavera no período anterior. Observa-se que na Tabela 4.2, $P(A_{\bar{V}}|A_{\bar{P}}^+) = 0$. Esse valor sugere que a existência de El Niño no período impossibilita vislumbrar a chance de que uma Primavera chuvosa prenuncie um Verão seco.

$P(A_{\bar{V}}|A_{\bar{P}}^+, \hat{E}_V)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Verão dado que não houve fenômeno ENOS no período e anomalia positiva de chuva na Primavera no período anterior.

A probabilidade a priori de haver anomalia negativa de chuva no Verão é 0,11(11/100), (Tabela 4.2). Esse valor passa para zero ao se saber que não houve fenômeno ENOS no período e houve anomalia positiva de chuva na Primavera no período anterior. Observa-se que na Tabela 4.2, $P(A_{\bar{V}}|A_{\bar{P}}^+) = 0$. Esse valor sugere que a inexistência de fenômeno ENOS no período impossibilita vislumbrar a chance de que uma Primavera chuvosa prenuncie um Verão seco.

$P(A_V^-|A_P^+, LN_V)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Verão dado que houve La Niña no período e anomalia positiva de chuva na Primavera no período anterior.

A probabilidade a priori de haver anomalia negativa de chuva no Verão é 0,11(11/100), (Tabela 4.2). Esse valor passa para zero ao se saber que houve La Niña no período e houve anomalia positiva de chuva na Primavera no período anterior. Observa-se que na Tabela 4.2, $P(A_V^-|A_P^+) = 0$. Esse valor sugere que a existência de La Niña no período impossibilita vislumbrar a chance de que uma Primavera chuvosa prenuncie um Verão seco.

$P(\hat{A}_V|A_P^+, EN_V)$ = probabilidade de não ocorrência de anomalia de chuva no Verão dado que houve El Niño no período e anomalia positiva de chuva na Primavera no período anterior.

A probabilidade a priori de não haver anomalia de chuva no Verão é 0,72(72/100), (Tabela 4.2). Esse valor passa para zero ao se saber que houve El Niño no período e houve anomalia positiva de chuva na Primavera no período anterior. Observa-se que na Tabela 4.2, $P(\hat{A}_V|A_P^+) = 0,54$. Esse valor sugere que a existência de El Niño no período impossibilita vislumbrar a chance de que uma Primavera chuvosa prenuncie normalidade no regime pluviométrico no Verão.

$P(A_V^+|A_P^-, EN_V)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Verão dado que houve El Niño no período e anomalia negativa de chuva na Primavera no período anterior.

A probabilidade a priori de haver anomalia positiva de chuva no Verão é 0,17(17/100), esse valor passa para zero ao se saber que houve El Niño no período e houve anomalia negativa de chuva na Primavera no período anterior. Observa-se que na Tabela 4.2, $P(A_V^+|A_P^-) = 0$. Esse valor sugere que a existência de El Niño no período impossibilita vislumbrar a chance de que uma Primavera seca prenuncie um Verão chuvoso.

$P(A_V^+|A_P^+, \hat{E}_V)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Verão dado que não houve fenômeno ENOS no período e anomalia positiva de chuva na Primavera no período anterior.

A probabilidade a priori de haver anomalia positiva de chuva no Verão é 0,17 (Tabela 4.2). Esse valor passa para 0,38 ao se saber que não houve fenômeno ENOS no período e houve anomalia positiva de chuva na Primavera no período anterior. Observa-se que na Tabela 4.2, $P(A_V^+|A_P^+) = 0,45$, sugere que a não existência do fenômeno ENOS reduz a chance de que uma Primavera chuvosa prenuncie também um Verão chuvoso.

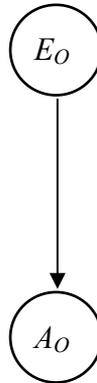
Os demais valores de probabilidade não são significativos, ou seja, não apresentaram influência significativa no regime pluviométrico no Verão.

4.7.3 Influência do Fenômeno ENOS na Anomalia de Chuva no Outono

Através da Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva no Outono procura-se verificar a possível interferência de fenômeno ENOS nas anomalias de chuva dessa estação.

Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva no Outono e Fenômeno ENOS

Figura 4.7 – Influência do Fenômeno ENOS em Anomalia de Chuva no Outono



Fonte: Autor, 2012.

As seguintes variáveis e valores estão relacionados com a Figura 4.7:

E_O Variável ENOS no Outono, que pode assumir os valores:

EN_O El Niño no Outono,

LN_O La Niña no Outono,

\hat{E}_O Inexistência de fenômeno ENOS no Outono,

$E_O = EN_O \cup LN_O$.

A_O Variável Anomalia no Outono, com os valores:

A_O^- anomalia negativa de chuva no Outono,

\hat{A}_O inexistência de anomalia de chuva no Outono,

A_O^+ anomalia positiva de chuva no Outono.

$$A_O = A_O^- \cup A_O^+$$

A Tabela 4.10 indica os valores de probabilidade associados à Rede Bayesiana representada pela Figura 4.7.

Tabela 4.10 – Valores de probabilidade associados à variável A_O , a priori e depois de se conhecer E_O

Anomalias de chuva no Outono e fenômeno ENOS				
Anomalias de chuva no Outono		ENOS no Outono		
Probabilidade a Priori		Probabilidade a Posteriori		
A_O	$P(A_O)$	EN_O	LN_O	\hat{E}_O
A_O^-	0,17	0,19	0,21	0,15
\hat{A}_O	0,67	0,57	0,64	0,71
A_O^+	0,16	0,24	0,14	0,14

Fonte: Autor, 2012.

As variáveis abaixo relacionadas com anomalias de chuva no Outono e fenômeno ENOS apresentam valores de probabilidade discrepantes em relação aos correspondentes valores de probabilidade a priori. O que sugere que nessa situação o fenômeno ENOS apresenta alguma interferência no regime pluviométrico da Estação Outono.

$P(A_O^+|EN_O)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Outono dado que houve El Niño no período

Ao se verificar que choveu bem no Outono, cuja probabilidade a priori foi de 0,16, ao se verificar a existência de fenômeno El Niño, a probabilidade passa para 0,24. Nesse caso a presença do fenômeno El Niño no Outono apresentou influência na probabilidade de se chover bem no referido período.

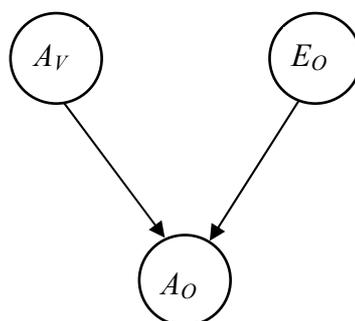
A Tabela 4.10 sugere alguma influência do fenômeno ENOS nas ocorrências de chuva no Outono, observando-se uma tendência de El Niño propiciar mais chuva no Outono.

4.7.4 Influência do Fenômeno ENOS e de Anomalia de Chuva no Verão em Anomalia de Chuva no Outono

Através da Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva no Outono procura-se verificar a possível interferência conjunta de Anomalias do Verão e de fenômeno ENOS no Outono, nas anomalias de chuva no Outono. Embora, consciente de que eventuais efeitos de ocorrência simultânea de precipitação associada a fenômeno ENOS junto com informações de chuvas no período, geralmente são raros e que podem nos levar a conclusões limitadas.

Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva no Outono

Figura 4.8 – Influência do Fenômeno ENOS e de Anomalia de Chuva no Verão em Anomalia de Chuva no Outono



Fonte: Autor, 2012.

As seguintes variáveis e valores correspondentes estão relacionados com a Rede Bayesiana representada pela Figura 4.8:

E_O Variável ENOS no Outono, que pode assumir os valores:

EN_O El Niño no Outono,

LN_O La Niña no Outono,

\hat{E}_O Inexistência de fenômeno ENOS no Outono.

$E_O = EN_O \cup LN_O$.

A_V Variável Anomalia de chuva no Verão, com os valores:

A_V^- anomalia negativa de chuva no Verão,

\hat{A}_V inexistência de anomalia de chuva no Verão,

A_V^+ anomalia positiva de chuva no Verão.

$$A_V = A_V^- \cup A_V^+.$$

A_O Variável Anomalia de chuva no Outono, com os valores:

A_O^- anomalia negativa de chuva no Outono,

\hat{A}_O inexistência de anomalia de chuva no Outono,

A_O^+ anomalia positiva de chuva no Outono,

$$A_O = A_O^- \cup A_O^+.$$

Na Tabela 4.11 estão relacionados os valores de probabilidade condicional relacionados com a Estação Outono. As informações sob a forma de fração pretende mostrar, no denominador, para os cem anos observados, qual a frequência absoluta dos eventos conjuntos Anomalia de Chuva no período anterior e existência de fenômeno ENOS no período de análise.

As variáveis a seguir estão relacionadas com a Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva no Outono representada pela Figura 4.8, como também seus valores, contidos na Tabela 4.11. Foram relacionadas apenas as variáveis que apresentam valores significativos em termos de contribuição no regime pluviométrico no Outono.

$P(A_O^- | A_V^-, \hat{E}_O) =$ probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Outono dado que não houve fenômeno ENOS no período e anomalia negativa de chuva no Verão.

A probabilidade a priori de haver anomalia negativa de chuva no Outono é 0,17(17/100), (Tabela 4.3). Esse valor passa para zero ao se saber que não houve fenômeno ENOS no período e houve anomalia negativa de chuva no Verão. Observa-se que na Tabela 4.3, $P(A_O^- | A_V^-) = 0,18$. Esse valor sugere que a não existência de fenômeno ENOS no período impossibilita vislumbrar a chance de que um Verão seco prenuncie um Outono seco.

$P(A_O^-|A_V^+, \hat{E}_O) =$ probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Outono dado que não houve fenômeno ENOS no período com anomalia positiva de chuva no Verão.

A probabilidade a priori de haver anomalia negativa de chuva no Outono é 0,17(17/100), (Tabela 4.3). Esse valor passa para 0,25(2/8) ao se saber que não houve fenômeno ENOS no período e houve anomalia positiva de chuva no Verão. Observa-se que na Tabela 4.3, $P(A_O^-|A_V^+) = 0,24$. Esse valor sugere que a não existência de fenômeno ENOS no período possibilite que um Verão chuvoso prenuncie um Outono seco.

$P(A_O^+|A_V^-, \hat{E}_O) =$ probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Outono dado que não houve fenômeno ENOS no período e anomalia negativa de chuva no Verão.

A probabilidade a priori de haver anomalia positiva de chuva no Outono é 0,16(16/100), (Tabela 4.3). Esse valor passa para 0,38(3/8) ao se saber que não houve fenômeno ENOS no período e houve anomalia negativa de chuva no Verão. Observa-se que na Tabela 4.3, $P(A_O^+|A_V^-) = 0,36$. Esse valor sugere que a não existência de fenômeno ENOS no período possibilite que um Verão seco prenuncie um Outono chuvoso.

$P(A_O^+|\hat{A}_V, EN_O) =$ probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Outono dado que houve El Niño no período e não houve anomalia de chuva no Verão.

A probabilidade a priori de haver anomalia positiva de chuva no Outono é 0,16(16/100), (Tabela 4.3). Esse valor passa para 0,23(3/13) ao se saber que houve El Niño no período e não houve anomalia de chuva no Verão. Observa-se que na Tabela 4.3, $P(A_O^+|\hat{A}_V) = 0,12$. Esse valor sugere que a existência de El Niño no período possibilite que um Verão sem anomalias de chuva prenuncie um Outono chuvoso.

$P(\hat{A}_O|\hat{A}_V, \hat{E}_O) =$ probabilidade de não ocorrência de anomalia de chuva no Outono dado que não houve fenômeno ENOS no período e não houve anomalia de chuva no Verão.

A probabilidade a priori de não haver anomalia de chuva no Outono é 0,67(67/100), (Tabela 4.3). Esse valor passa para 0,73(36/49) ao se saber que não houve fenômeno ENOS no período e não houve anomalia de chuva no Verão. Observa-se que na Tabela 4.3, $P(\hat{A}_O|\hat{A}_V) = 0,72$. Esse valor sugere que a inexistência de fenômeno ENOS no período possibilite que um Verão sem anomalias de chuva prenuncie um Outono sem anomalia de chuva.

$P(\hat{A}_O|\hat{A}_V, LN_O)$ = probabilidade de não ocorrência de anomalia de chuva no Outono dado que houve La Niña no período e não houve anomalia de chuva no Verão.

A probabilidade a priori de não haver anomalia de chuva no Outono é 0,67(67/100), (Tabela 4.3). Esse valor passa para 0,80(8/10) ao se saber que houve La Niña no período e não houve anomalia de chuva no Verão. Observa-se que na Tabela 4.3, $P(\hat{A}_O|\hat{A}_V) = 0,72$. Esse valor sugere que a existência de La Niña no período possibilite que um Verão sem anomalias de chuva prenuncie um Outono sem anomalia de chuva.

Tabela 4.11 – Valores de frequências relativas relacionadas à Estação Outono

Anomalias de Chuva no Outono		Anomalias de Chuva no Verão e Fenômeno ENOS no Outono								
A_o	$P(A_o)$	A_v^-, EN_o	A_v^-, \hat{E}_o	A_v^-, LN_o	\hat{A}_v, EN_o	\hat{A}_v, \hat{E}_o	\hat{A}_v, LN_o	A_v^+, EN_o	A_v^+, \hat{E}_o	A_v^+, LN_o
A_o^-	17/100	1/2	0	1/1	2/13	8/49	1/10	1/6	2/8	1/3
\hat{A}_o	67/100	0	5/8	0	8/13	36/49	8/10	4/6	5/8	1/3
A_o^+	16/100	1/2	3/8	0	3/13	5/49	1/10	1/6	1/8	1/3

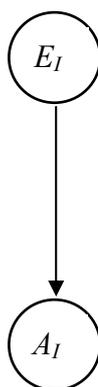
Fonte: Autor, 2012.

4.7.5 Influência do Fenômeno ENOS na Anomalia de Chuva no Inverno

Através da Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva no Inverno procura-se verificar a possível interferência de fenômeno ENOS nas anomalias de chuva dessa estação.

Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva no Inverno e Fenômeno ENOS

Figura 4.9 – Influência do Fenômeno ENOS em Anomalia de Chuva no Inverno



Fonte: Autor, 2012.

As seguintes variáveis e valores estão relacionados com a Figura 4.9:

E_I variável ENOS no Inverno, que pode assumir os valores:

EN_I El Niño no Inverno,

LN_I La Niña no Inverno,

\hat{E}_I Inexistência de fenômeno ENOS no Inverno.

$$E_I = EN_I \cup LN_I$$

A_I variável Anomalia de chuva no Inverno, com os valores:

A_I^- anomalia negativa de chuva no Inverno,

\hat{A}_I inexistência de anomalia de chuva no Inverno,

A_I^+ anomalia positiva de chuva no Inverno.

$$A_I = A_I^- \cup A_I^+$$

A Tabela 4.12 indica os valores de probabilidade associados à Rede Bayesiana representada pela Figura 4.9.

Tabela 4.12 – Valores de probabilidade associados à variável A_I , a priori e depois de se conhecer E_I

Anomalias de chuva no Inverno e fenômeno ENOS				
Anomalias de chuva no Inverno		ENOS no Inverno		
Probabilidade a Priori		Probabilidade a Posteriori		
A_I	$P(A_I)$	EN_I	LN_I	\hat{E}_I
A_I^-	0,15	0,05	0,10	0,20
\hat{A}_I	0,69	0,75	0,63	0,69
A_I^+	0,16	0,20	0,26	0,11

Fonte: Autor, 2012.

As variáveis abaixo relacionadas com anomalias de chuva no Inverno e fenômeno ENOS apresentam valores de probabilidade discrepantes em relação aos correspondentes valores de probabilidade a priori. O que sugere que nessa situação o fenômeno ENOS apresenta alguma interferência no regime pluviométrico da Estação Inverno.

$P(A_I^-|EN_I)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Inverno dado que houve ocorrência de El Niño.

A probabilidade a priori de ocorrer anomalia negativa de chuva no Inverno é 0,15 (Tabela 4.4). Essa probabilidade passa para 0,05 ao se verificar que houve El Niño no período. Essa informação sugere que a presença de El Niño não prenuncia interferência na baixa precipitação de chuva no Inverno.

$P(A_I^-|\hat{E}_I) =$ probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Inverno dado que não houve ocorrência de fenômeno ENOS.

A probabilidade a priori de ocorrer anomalia negativa de chuva no Inverno é 0,15 (Tabela 4.4). Essa probabilidade passa para 0,20 ao se verificar que não houve fenômeno ENOS no período. Essa informação sugere que a inexistência de fenômeno ENOS apresentou interferência na baixa precipitação de chuva no Inverno.

$P(A_I^+|LN_I) =$ probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Inverno dado que houve La Niña no período

A probabilidade a priori de ocorrer anomalia positiva de chuva no Inverno é 0,16 (Tabela 4.4). Essa probabilidade passa para 0,26 ao se verificar que houve La Niña no período. Podemos dizer que o fenômeno La Niña interferiu de forma significativa no excesso de chuva no Inverno.

$P(A_I^+|\hat{E}_I) =$ probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Inverno dado que não houve ocorrência de fenômeno ENOS.

A probabilidade a priori de ocorrer anomalia positiva de chuva no Inverno é 0,16 (Tabela 4.4). Essa probabilidade passa para 0,11 ao se verificar que não houve fenômeno ENOS no período. Essa informação sugere que a inexistência de fenômeno ENOS não prenuncia excesso de chuva no Inverno.

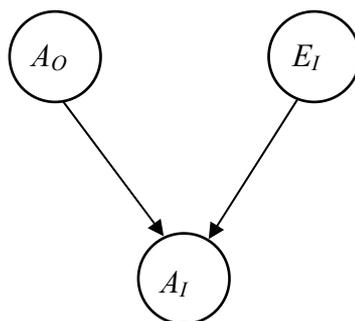
A Tabela 4.12 sugere alguma influência do fenômeno ENOS nas ocorrências de chuva no Inverno. Observa-se uma tendência de La Niña propiciar mais chuva no Inverno do que El Niño, embora se possa dizer que a ocorrência do El Niño tende a inibir a falta de chuvas.

4.7.6 Influência do Fenômeno ENOS e de Anomalia de Chuva no Outono em Anomalia de Chuva no Inverno

Através da Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva no Inverno procura-se verificar a possível interferência conjunta de Anomalias do Outono e de fenômeno ENOS no Inverno, em anomalias de chuva no Inverno. Embora, consciente de que eventuais efeitos de ocorrência simultânea de precipitação associada a fenômeno ENOS junto com informações de chuvas no período, geralmente são raros e que podem nos levar a conclusões limitadas.

Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva no Inverno

Figura 4.10 – Influência do Fenômeno ENOS e de Anomalia de Chuva no Outono em Anomalia de Chuva no Inverno



Fonte: Autor, 2012.

As seguintes variáveis e valores correspondentes estão relacionados com a Rede Bayesiana representada pela Figura 4.10:

E_I variável ENOS no Inverno, que pode assumir os valores:

EN_I El Niño no Inverno,

LN_I La Niña no Inverno,

\hat{E}_I Inexistência de fenômeno ENOS no Inverno,

$E_I = EN_I \cup LN_I$

A_O variável Anomalia de chuva no Outono, com os valores:

A_O^- anomalia negativa de chuva no Outono,

\hat{A}_O inexistência de anomalia de chuva no Outono,

A_O^+ anomalia positiva de chuva no Outono.

$$A_O = A_O^- \cup A_O^+.$$

A_I variável Anomalia de chuva no Inverno, com os valores:

A_I^- anomalia negativa de chuva no Inverno,

\hat{A}_I inexistência de anomalia de chuva no Inverno,

A_I^+ anomalia positiva de chuva no Inverno,

$$A_I = A_I^- \cup A_I^+.$$

Na Tabela 4.13 estão relacionados os valores de probabilidade condicional relacionados com a Estação Inverno.

As variáveis a seguir estão relacionadas com a Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva no Inverno representada pela Figura 4.10, como também seus valores, contidos na Tabela 4.13. Foram relacionadas apenas as variáveis que apresentam valores significativos em termos de contribuição no regime pluviométrico no Inverno.

$P(A_I^- | \hat{A}_O, \hat{E}_I)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Inverno dado que não houve fenômeno ENOS no período e não ocorreu anomalia de chuva no Outono.

Tabela 4.13 – Valores de frequências relativas relacionadas à Estação Inverno

Anomalias de Chuva no Inverno		Anomalias de Chuva no Outono e Fenômeno ENOS no Inverno								
A_I	$P(A_I)$	A_{O}^{-}, EN_I	A_{O}^{-}, \hat{E}_I	A_{O}^{-}, LN_I	\hat{A}_{O}, EN_I	\hat{A}_{O}, \hat{E}_I	\hat{A}_{O}, LN_I	A_{O}^{+}, EN_I	A_{O}^{+}, \hat{E}_I	A_{O}^{+}, LN_I
A_I^{-}	15/100	1/3	3/12	1/2	0	9/40	1/15	0	0	0
\hat{A}_I	69/100	2/3	9/12	1/2	10/12	28/40	10/15	3/5	5/9	1/2
A_I^{+}	16/100	0	0	0	2/12	3/40	4/15	2/5	4/9	1/2

Fonte: Autor, 2012.

A probabilidade a priori de haver anomalia negativa de chuva no Inverno é 0,15(15/100), (Tabela 4.4). Esse valor passa para 0,22(9/40) ao se saber que não houve fenômeno ENOS no período e não houve anomalia de chuva no Outono. Observa-se que na Tabela 4.4, $P(A_I^-|\hat{A}_O) = 0,15$. Esse valor sugere que a não existência de fenômeno ENOS no período aumenta a chance de que um Outono sem anomalias de chuva prenuncie um Inverno seco.

$P(A_I^-|\hat{A}_O, LN_I) =$ probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Inverno dado que houve La Niña no período e não houve anomalia de chuva no Outono.

A probabilidade a priori de haver anomalia negativa de chuva no Inverno é 0,15(15/100), (Tabela 4.4). Esse valor passa para 0,07(1/15) ao se saber que houve La Niña no período e não houve anomalia de chuva no Outono. Observa-se que na Tabela 4.4, $P(A_I^-|\hat{A}_O) = 0,15$. Esse valor sugere que a ocorrência de La Niña no período não prenuncia um Inverno seco.

$P(A_I^-|A_O^+, \hat{E}_I) =$ probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva no Inverno dado que não houve fenômeno ENOS no período, com anomalia positiva de chuva no Outono.

A probabilidade a priori de haver anomalia negativa de chuva no Inverno é 0,15(15/100), (Tabela 4.4). Esse valor passa para zero ao se saber que não houve fenômeno ENOS no período e houve anomalia positiva de chuva no Outono. Observa-se que na Tabela 4.4, $P(A_I^-|A_O^+) = 0$. Esse valor sugere que a não existência de fenômeno ENOS no período não prenuncia um Inverno seco.

$P(\hat{A}_I|A_O^-, \hat{E}_I) =$ probabilidade de não ocorrer anomalia de chuva no Inverno dado que não houve fenômeno ENOS no período e anomalia negativa de chuva no Outono.

A probabilidade a priori de não haver anomalia de chuva no Inverno é 0,69(69/100), (Tabela 4.4). Esse valor passa para 0,75(9/12) ao se saber que não houve fenômeno ENOS no período e houve anomalia negativa de chuva no Outono. Observa-se que na Tabela 4.4, $P(\hat{A}_I|A_O^-) = 0,70$. Esse valor sugere que a não existência de fenômeno ENOS no período aumenta a chance de que um Outono com pouca chuva prenuncie um Inverno com normalidade em seu regime pluviométrico.

$P(\hat{A}_I|\hat{A}_O, EN_I) =$ probabilidade de não ocorrer anomalia de chuva no Inverno dado que houve El Niño no período e não houve anomalia de chuva no Outono.

A probabilidade a priori de não haver anomalia de chuva no Inverno é 0,69(69/100), (Tabela 4.4). Esse valor passa para 0,83(10/12) ao se saber que houve El Niño no período e não houve anomalia de chuva no Outono. Observa-se que na Tabela 4.4, $P(\hat{A}_I|\hat{A}_O) = 0,72$. Esse valor sugere que a existência de El Niño no período aumenta a chance de que um Outono sem anomalias de chuva prenuncie um Inverno também sem anomalias de chuva.

$P(\hat{A}_I|A_O^+, \hat{E}_I) =$ probabilidade de não ocorrência de anomalia de chuva no Inverno dado que não houve fenômeno ENOS no período, com anomalia positiva de chuva no Outono.

A probabilidade a priori de não haver anomalia de chuva no Inverno é 0,69(69/100), (Tabela 4.4). Esse valor passa para 0,56(5/9) ao se saber que não houve fenômeno ENOS no período e houve anomalia positiva de chuva no Outono. Observa-se que na Tabela 4.4, $P(\hat{A}_I|A_O^+) = 0,56$. Esse valor não sugere que a não existência de fenômeno ENOS no período e um Outono com anomalias positiva de chuva prenuncie um Inverno sem anomalias de chuva.

$P(A_I^+|\hat{A}_O, \hat{E}_I) =$ probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Inverno dado que não houve fenômeno ENOS no período e não houve anomalia de chuva no Outono.

A probabilidade a priori de haver anomalia positiva de chuva no Inverno é 0,16(16/100), (Tabela 4.4). Esse valor passa para 0,08(3/40) ao se saber que não houve fenômeno ENOS no período e não houve anomalia de chuva no Outono. Observa-se que na Tabela 4.4, $P(A_I^+|\hat{A}_O) = 0,13$. Esse valor sugere que a não existência de fenômeno ENOS no período diminua a chance de que um Outono sem anomalias de chuva prenuncie um Inverno chuvoso.

$P(A_I^+|\hat{A}_O, LN_I) =$ probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Inverno dado que houve La Niña no período e não houve anomalia de chuva no Outono.

A probabilidade a priori de haver anomalia positiva de chuva no Inverno é 0,16(16/100), (Tabela 4.4). Esse valor passa para 0,27(4/15) ao se saber que houve La Niña

no período e não houve anomalia de chuva no Outono. Observa-se que na Tabela 4.4, $P(A_I^+ | \hat{A}_O) = 0,13$. Esse valor sugere que a existência de La Niña no período aumenta a chance de que um Outono sem anomalias de chuva prenuncie um Inverno chuvoso.

$P(A_I^+ | A_O^+, \hat{E}_I)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva no Inverno dado que não houve fenômeno ENOS no período e anomalia positiva de chuva no Outono.

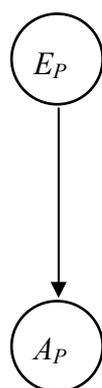
A probabilidade a priori de haver anomalia positiva de chuva no Inverno é $0,16(16/100)$, (Tabela 4.4). Esse valor passa para $0,44(4/9)$ ao se saber que não houve fenômeno ENOS no período e houve anomalia positiva de chuva no Outono. Observa-se que na Tabela 4.4, $P(A_I^+ | A_O^+) = 0,44$. Esse valor sugere que a não existência de fenômeno ENOS no período e um Outono com anomalia positiva de chuva prenuncie um Inverno chuvoso.

4.7.7 Influência do Fenômeno ENOS em Anomalia de Chuva na Primavera

Através da Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva na Primavera procura-se verificar a possível interferência de fenômeno ENOS nas anomalias de chuva dessa estação.

Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva na Primavera e Fenômeno ENOS

Figura 4.11 – Influência do Fenômeno ENOS em Anomalia de Chuva na Primavera



Fonte: Autor, 2012.

As seguintes variáveis e valores estão relacionados com a Figura 4.11:

E_P variável ENOS na Primavera, que pode assumir os valores:

EN_P El Niño na Primavera,

LN_P La Niña na Primavera,

\hat{E}_P Inexistência de fenômeno ENOS na Primavera,

$$E_P = EN_P \cup LN_P,$$

A_P variável Anomalia de chuva na Primavera, com os valores:

A_P^- anomalia negativa de chuva na Primavera,

\hat{A}_P inexistência de anomalia de chuva na Primavera,

A_P^+ anomalia positiva de chuva na Primavera.

$$A_P = A_P^- \cup A_P^+.$$

A Tabela 4.14 indica os valores de probabilidade associados à Rede Bayesiana representada pela Figura 4.11.

Tabela 4.14 – Valores de probabilidade associados à variável A_P , a priori e depois de se conhecer E_P

Anomalias de chuva na Primavera e fenômeno ENOS				
Anomalias de chuva na Primavera		ENOS na Primavera		
Probabilidade a Priori		Probabilidade a Posteriori		
A_P	$P(A_P)$	EN_P	LN_P	\hat{E}_P
A_P^-	0,08	0,08	0,05	0,09
\hat{A}_P	0,81	0,85	0,86	0,79
A_P^+	0,11	0,08	0,10	0,12

Fonte: Autor, 2012.

As variáveis abaixo relacionadas com anomalias de chuva na Primavera e fenômeno ENOS apresentam valores de probabilidade discrepantes em relação aos correspondentes valores de probabilidade a priori. O que sugere que nessa situação o fenômeno ENOS apresenta alguma interferência no regime pluviométrico da Estação Primavera.

$P(\hat{A}_p|LN_p)$ = probabilidade de não ocorrência de anomalia de chuva na Primavera dado que houve La Niña no período.

A probabilidade a priori de não ocorrer anomalia de chuva na Primavera é 0,81 (Tabela 4.5). Esse valor passa para 0,86 ao se verificar que houve La Niña no período. Podemos dizer que o fenômeno La Niña apresentou influência no regime normal de chuva na Primavera.

$P(A_p^-|LN_p)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia negativa de chuva na Primavera dado que houve La Niña no período.

A probabilidade a priori de ocorrer anomalia negativa de chuva na Primavera é 0,08 (Tabela 4.5). Esse valor passa para 0,05 ao se verificar que houve La Niña no período. Podemos dizer que o fenômeno La Niña não apresentou influência significativa na anomalia negativa de chuva na Primavera.

$P(A_p^+|LN_p)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva na Primavera dado que houve La Niña no período.

A probabilidade a priori de ocorrer anomalia positiva de chuva na Primavera é 0,11 (Tabela 4.5). Esse valor passa para 0,10 ao se verificar que houve La Niña no período. Podemos dizer que o fenômeno La Niña não apresentou influência significativa na anomalia positiva de chuva na Primavera.

A Tabela 4.14 sugere pouca influência do fenômeno ENOS nas ocorrências de chuva na Primavera, embora se observe uma leve tendência de La Niña propiciar mais chuva na Primavera.

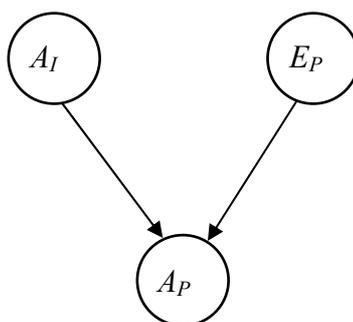
4.7.8 Influência do Fenômeno ENOS e de Anomalia de Chuva no Inverno em Anomalia de Chuva na Primavera

Através da Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva na Primavera procura-se verificar a possível interferência conjunta de Anomalias do Inverno e de fenômeno ENOS na Primavera, nas anomalias de chuva na Primavera. Embora, consciente de que eventuais efeitos de

ocorrência simultânea de precipitação associada a fenômeno ENOS junto com informações de chuvas no período, geralmente são raros e que podem nos levar a conclusões limitadas.

Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva na Primavera

Figura 4.12 – Influência do Fenômeno ENOS e de Anomalia de Chuva no Inverno em Anomalia de Chuva na Primavera



Fonte: Autor, 2012.

As seguintes variáveis e valores estão relacionados com a Figura 4.12:

E_P variável ENOS na Primavera, que pode assumir os valores:

EN_P El Niño na Primavera,

LN_P La Niña na Primavera,

\hat{E}_P Inexistência de fenômeno ENOS na Primavera,

$$E_P = EN_P \cup LN_{IP},$$

A_I variável Anomalia de chuva no Inverno, com os valores:

A_I^- anomalia negativa de chuva no Inverno,

\hat{A}_I inexistência de anomalia de chuva no Inverno,

A_I^+ anomalia positiva de chuva no Inverno.

$$A_I = A_I^- \cup A_I^+.$$

A_P variável Anomalia de chuva na Primavera, com os valores:

A_P^- anomalia negativa de chuva na Primavera,

\hat{A}_P inexistência de anomalia de chuva na Primavera,

A_P^+ anomalia positiva de chuva na Primavera,

$$A_P = A_P^- \cup A_P^+.$$

Na Tabela 4.15 estão relacionados os valores de probabilidade condicional relacionados com a Estação Primavera.

As variáveis a seguir estão relacionadas com a Rede Bayesiana de Anomalia de Chuva na Primavera extraídas da Figura 4.12, como também seus valores, contidos na Tabela 4.15. Foram relacionadas apenas as variáveis que apresentam valores significativos em termos de contribuição no regime pluviométrico no Inverno.

$P(\hat{A}_P | \hat{A}_I, LN_P)$ = probabilidade de não ocorrer anomalia de chuva na Primavera dado que houve La Niña no período e não houve anomalia de chuva no Inverno.

A probabilidade a priori de não haver anomalia de chuva na Primavera é 0,81(81/100), (Tabela 4.5). Esse valor passa para 0,88(14/16) ao se saber que houve La Niña no período e não houve anomalia de chuva no Inverno. Observa-se que na Tabela 4.5, $P(\hat{A}_P | \hat{A}_I) = 0,83$. Esse valor sugere que a existência de La Niña no período aumenta a chance de que um Inverno sem anomalias de chuva prenuncie uma Primavera também sem anomalias de chuva.

$P(A_P^+ | A_I^-, \hat{E}_P)$ = probabilidade de ocorrência de anomalia positiva de chuva na Primavera dado que não houve fenômeno ENOS no período e ocorreu anomalia negativa de chuva no Inverno.

A probabilidade a priori de haver anomalia positiva de chuva na Primavera é 0,11(11/100), (Tabela 4.5). Esse valor passa para 0,14(2/14) ao se saber que não houve fenômeno ENOS no período e houve anomalia negativa de chuva no Inverno. Observa-se que na Tabela 4.5, $P(A_P^+ | A_I^-) = 0,13$. Esse valor sugere que a não ocorrência de fenômeno ENOS no período aumenta a chance de que um Inverno com anomalia negativa de chuva prenuncie uma Primavera chuvosa.

O Quadro 4.10 mostra as anomalias de chuva que ocorreram na série climatológica pesquisada, identificando-as por estação do ano, relacionando-as com os períodos de El Niño, procurando mostrar uma visão espacial para esses fenômenos. Observa-se através da visão espacial do Quadro 4.10, ou seja, nos trechos em cor amarela, que nos últimos 50 anos houve uma maior concentração de fenômenos El Niño.

O Quadro 4.11 mostra as anomalias de chuva que ocorreram na série climatológica pesquisada, identificando-as por estação do ano, relacionando-as com os períodos de La Niña, procurando mostrar uma visão espacial para esses fenômenos.

Observa-se através dos trechos em cor alaranjada no Quadro 4.11 que, existe para os últimos 50 anos da série, uma maior concentração nos eventos de La Niña, correspondendo assim, à maior concentração de eventos pluviométricos com valores acima da média climatológica. Embora que a quantidade de eventos El Niño e La Niña apresente conjuntamente uma maior incidência nos últimos 50 anos da série, La Niña aparece com maior frequência.

Tabela 4.15 – Valores de frequências relativas relacionadas à Estação Primavera

Anomalias de Chuva na Primavera		Anomalias de Chuva no Inverno e Fenômeno ENOS na Primavera								
A_P	$P(A_P)$	A_I^-, EN_P	A_I^-, \hat{E}_P	A_I^-, LN_P	\hat{A}_I, EN_P	\hat{A}_I, \hat{E}_P	\hat{A}_I, LN_P	A_I^+, EN_P	A_I^+, \hat{E}_P	A_I^+, LN_P
A_P^-	8/100	indefinida	1/14	0	1/11	5/42	1/16	0	0	0
\hat{A}_P	81/100	indefinida	11/14	1/1	10/11	33/42	14/16	1/2	8/10	3/4
A_P^+	11/100	indefinida	2/14	0	0	4/42	1/16	1/2	2/10	1/4

Fonte: Autor, 2012.

4.8 Estação Verão e Classificação SPI-3

A tabela 4.16 quantifica a frequência e a probabilidade de anomalias de chuva no Verão com suas respectivas classificações de SPI-3.

Tabela 4.16 – Classificação SPI-3 e Anomalias de Chuvano Verão

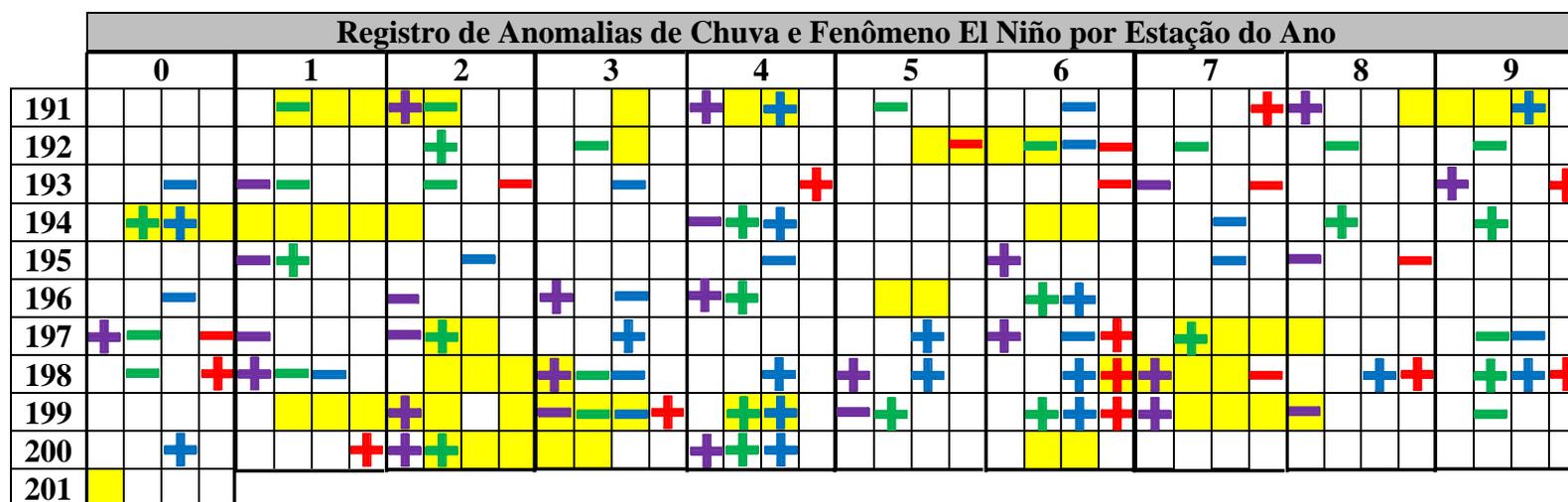
VERÃO – meses: Janeiro, Fevereiro e Março								
Classificação SPI-3	Anos com Anomalia				Anos sem Anomalia		TOTAL	
	Positiva		Negativa					
Extremamente úmido			11	1	27	0,37	38	0,38
Muito úmido	1	0,06			10	0,14	11	0,11
Moderadamente úmido	2	0,12			11	0,15	13	0,13
Próximo ao normal	12	0,70			18	0,25	30	0,30
Moderadamente seco	1	0,06			4	0,06	5	0,05
Muito seco	1	0,06			2	0,03	3	0,03
Extremamente seco							–	–
TOTAL	17	1	11	1	72	1	100	1

Fonte: Autor, 2012.

Ao se analisar a Tabela 4.16 verifica-se que no Verão ocorreram 38 eventos em que o solo segundo a classificação do SPI, ficou caracterizado como “Extremamente úmido”. A região Leste do Estado de Alagoas, onde fica localizada a estação pluviométrica utilizada neste trabalho, é privilegiada em termos de regime pluvial. Mesmo nos períodos em que não houve anomalia de chuva, cuja probabilidade a priori foi de 0,81; temos também associado a esse fato a probabilidade de anomalia positiva de chuva que foi de 0,17 contra 0,11 de anomalia negativa de chuva, além da média climatológica da estação que foi 93,48mm de chuva e o fato de que essa estação apresenta uma boa distribuição pluviométrica conforme o Gráfico 4.2. Pode ser que o conjunto desses eventos possa ter contribuído para a classificação do SPI em Extremamente úmido em 38 eventos ocorridos na Estação Verão.

Características das Anomalias de Chuva por Estação do Ano e o Fenômeno El Niño na Região Leste do Estado de Alagoas

Quadro 4.10 – Anomalias de Chuva por Estação do Ano e Fenômeno El Niño na Série Climatológica de 1911 a 2010



Legenda:

- | | |
|---|---|
|  Estação Verão |  Estação Outono |
|  Anomalia positiva de chuva no Verão |  Anomalia positiva de chuva no Outono |
|  Anomalia negativa de chuva no Verão |  Anomalia negativa de chuva no Outono |
|  Estação Inverno |  Estação Primavera |
|  Anomalia positiva de chuva no Inverno |  Anomalia positiva de chuva na Primavera |
|  Anomalia negativa de chuva no Inverno |  Anomalia negativa de chuva na Primavera |
|  Fenômeno El Niño | |

Fonte: Autor, 2012.

Características das Anomalias de Chuva por Estação do Ano e o Fenômeno La Niña na Região Leste do Estado de Alagoas

Quadro 4.11 – Anomalias de Chuva por Estação do Ano e Fenômeno La Niña na Série Climatológica de 1911 a 2010

Registro de Anomalias de Chuva e Fenômeno La Niña por Estação do Ano										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
191										
192										
193										
194										
195										
196										
197										
198										
199										
200										
201										

Legenda:

- Estação Verão
- Estação Outono
- Anomalia positiva de chuva no Verão
- Anomalia positiva de chuva no Outono
- Anomalia negativa de chuva no Verão
- Anomalia negativa de chuva no Outono
- Estação Inverno
- Estação Primavera
- Anomalia positiva de chuva no Inverno
- Anomalia positiva de chuva na Primavera
- Anomalia negativa de chuva no Inverno
- Anomalia negativa de chuva na Primavera
- Fenômeno La Niña

Fonte: Autor, 2012.

Tomando como referência ainda a Tabela 4.16, verificamos que 30 eventos ficaram classificados segundo o SPI, como “Próximo ao normal”. Verifica-se que esse fato fica plenamente em consonância com o resultado do SPI uma vez que a probabilidade a priori de não ocorrer anomalia de chuva no Verão foi de 0,72. Observa-se que os anos sem anomalia de chuva ocorrem em maior quantidade e estão associados, pelo SPI, à umidade do solo. Este fato é plenamente justificado uma vez que a estação Verão apresenta uma boa incidência de chuva.

A tabela 4.17 quantifica a frequência e a probabilidade de fenômeno ENOS no Verão com suas respectivas classificações de SPI-3.

Tabela 4.17 – Classificação SPI-3 e Fenômeno ENOS no Verão

VERÃO – meses: Janeiro, Fevereiro e Março								
Classificação SPI-3	Anos com ENOS				Anos sem ENOS		TOTAL	
	El Niño		La Niña					
Extremamente úmido	4	0,31	5	0,25	29	0,44	38	0,38
Muito úmido	4	0,31			7	0,10	11	0,11
Moderadamente úmido	1	0,07	3	0,15	9	0,13	13	0,13
Próximo ao normal	3	0,24	8	0,40	19	0,29	30	0,30
Moderadamente seco	1	0,07	3	0,15	1	0,01	5	0,05
Muito seco			1	0,05	2	0,03	3	0,03
Extremamente seco								
TOTAL	13	1	20	1	67	1	100	1

Fonte: Autor, 2012.

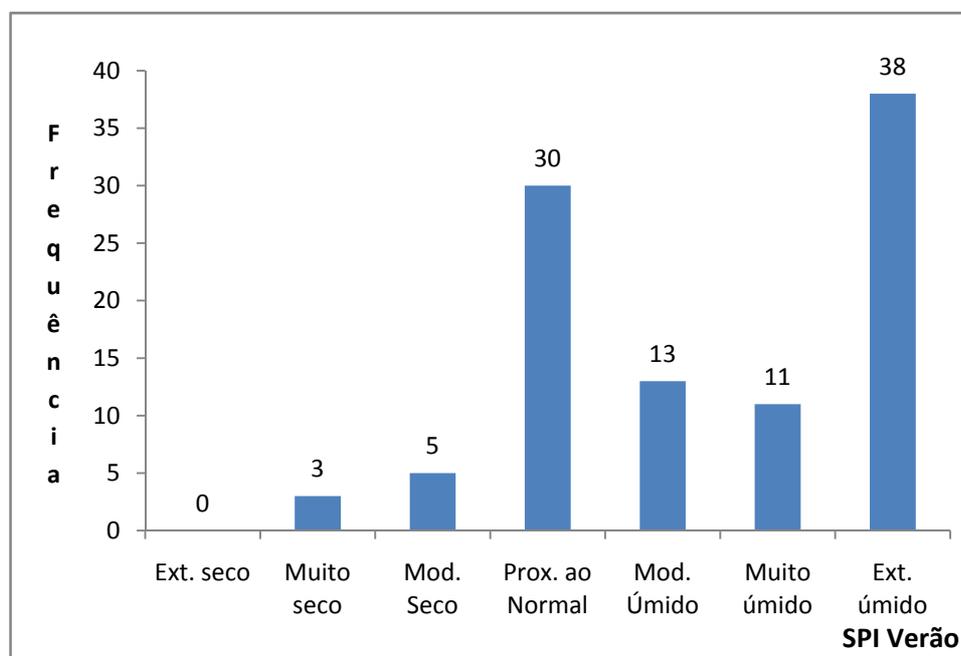
Ao se analisar a Tabela 4.17 verifica-se que no Verão ocorreram 33 eventos ENOS. Desses, os que poderiam contribuir para respaldar a classificação do SPI em “Extremamente úmido” são os 5 eventos de La Niña, juntamente com os 29 eventos sem ENOS. Lembrando que, a estação Verão apresenta um bom regime pluviométrico, como mostra o Gráfico 4.1.

As demais informações constantes nessa tabela, embora em menor ocorrência, seguem proporcionalmente a mesma correspondência entre os eventos e a classificação do SPI.

Aceituno (1992), Oliveira (1999) e Silva (2000), afirmam que para o Semiárido do Nordeste brasileiro, o fenômeno El Niño está associado à ocorrência de chuva abaixo da média climatológica, enquanto que o fenômeno La Niña está associado a ocorrência de chuva

acima da média climatológica. De alguma forma, esses fatos aconteceram na região em estudo neste trabalho.

Gráfico 4.2 – Classificação SPI-3 para o Verão



Fonte: Autor, 2012.

O Gráfico 4.2 quantifica as frequências das ocorrências das condições de umidade do solo segundo a classificação do SPI na estação Verão da série climatológica. Pelo gráfico se verifica que na série climatológica ocorreram 38 verões com o solo classificado segundo o SPI em “Extremamente úmido” e 30 verões classificados em “Próximo ao normal”. O que nos chama a atenção no Gráfico 4.2 é que essa estação não apresentou nenhuma frequência de classificação de solo em “Extremamente seco”. Pelo Gráfico 4.2 podemos dizer que a estação Verão se comportou na série pesquisada como uma estação relativamente úmida.

4.9 Estação Outono e Classificação SPI-3

A tabela 4.18 quantifica a frequência e a probabilidade de anomalias de chuva no Outono com suas respectivas classificações de SPI-3.

Tabela 4.18 – Classificação SPI-3 e Anomalias de Chuva no Outono

OUTONO – meses: Abril, Maio e Junho								
Classificação SPI – 3	Anos com Anomalia				Anos sem Anomalia		TOTAL	
	Positiva		Negativa					
Extremamente úmido			1	0,06	1	0,02	2	0,02
Muito úmido	1	0,06	1	0,06	3	0,04	5	0,05
Moderadamente úmido			2	0,12	12	0,18	14	0,14
Próximo ao normal	13	0,82	9	0,53	38	0,57	60	0,60
Moderadamente seco	2	0,12	3	0,17	6	0,09	11	0,11
Muito seco					3	0,04	3	0,03
Extremamente seco			1	0,06	4	0,06	5	0,05
TOTAL	16	1	17	1	67	1	100	1

Fonte: Autor, 2012.

Ao se analisar a Tabela 4.18 verifica-se que no Outono ocorreram 14 eventos em que o solo segundo a classificação do SPI, ficou caracterizado como “Moderadamente úmido”. Observamos também que ocorreram 17 eventos com anomalia negativa de chuva, 16 eventos com anomalia positiva de chuva e 67 eventos sem anomalia. Pelo fato de que nessa estação o valor da média climatológica foi de 283,15mm de chuva, ou seja, dentre as quatro estações foi a que mais choveu; esse fato deve ter contribuído com certa relevância para o método SPI caracterizar 14 eventos em “Moderadamente úmido”.

Tomando como referência ainda a Tabela 4.18, verificamos que 60 eventos ficaram classificados segundo o SPI, como “Próximo ao normal”. Verifica-se que esse fato fica plenamente em consonância com o resultado do SPI uma vez que a probabilidade a priori de não ocorrer anomalia de chuva no Outono foi de 0,67. As demais informações constantes nessa tabela, embora em menor ocorrência, seguem proporcionalmente a mesma correspondência, ou seja, o SPI associa de forma satisfatória as condições de umidade do solo com o regime pluviométrico associado.

A tabela 4.19 quantifica a frequência e a probabilidade de fenômeno ENOS no Outono com suas respectivas classificações de SPI-3.

Tabela 4.19 – Classificação SPI-3 e Fenômeno ENOS no Outono

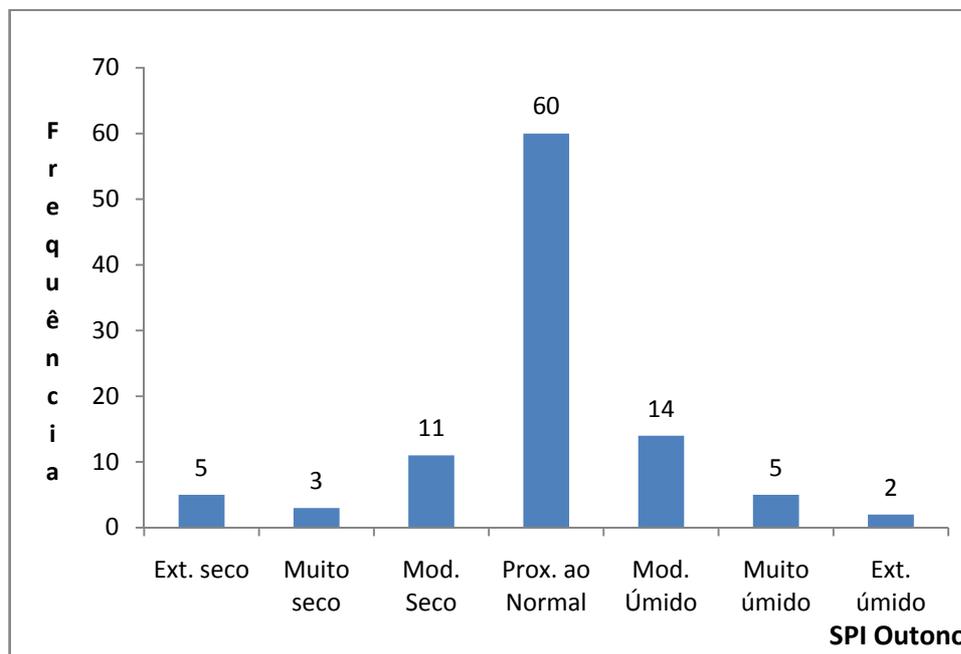
OUTONO – meses: Abril, Maio e Junho								
Classificação SPI-3	Anos com ENOS				Anos sem ENOS		TOTAL	
	El Niño		La Niña					
Extremamente úmido			1	0,07	1	0,01	2	0,02
Muito úmido			2	0,14	3	0,05	5	0,05
Moderadamente úmido	3	0,14	2	0,14	9	0,14	14	0,14
Próximo ao normal	13	0,62	5	0,37	42	0,65	60	0,60
Moderadamente seco	3	0,14	2	0,14	6	0,09	11	0,11
Muito seco	1	0,05			2	0,03	3	0,03
Extremamente seco	1	0,05	2	0,14	2	0,03	5	0,05
TOTAL	21	1	14	1	65	1	100	1

Fonte: Autor, 2012.

Ao se analisar a Tabela 4.19 verifica-se que no Outono ocorreram 35 eventos ENOS. Desses, os que poderiam contribuir para respaldar a classificação do SPI em “Moderadamente úmido” são os 2 eventos de La Niña, juntamente com os 12 eventos sem ENOS. Associado a esses fatos e supondo que os 20 eventos de La Niña ocorridos no Verão, possam ter contribuído com o padrão de umidade do solo detectado pelo SPI, tornando assim justificável a classificação dada pelo SPI. Os 5 eventos de La Niña juntamente com os 42 eventos sem ENOS, podem ter contribuído para deixar o solo em condições de umidade propícias para fazer com que o SPI classificasse o solo como “Próximo ao normal”.

Observamos também na Tabela 4.19 que 5 eventos de La Niña estão assim distribuídos, 1 evento está classificado como “Extremamente úmido”, 2 eventos como “Muito úmido” e 2 eventos como “Moderadamente unido”, contra 3 eventos de El Niño classificados como “Moderadamente úmido”. O que nos leva de certa forma a correlacionar o evento La Niña com as condições de maior umidade do solo.

As demais informações constantes nessa tabela, embora em menor ocorrência, seguem proporcionalmente a mesma correspondência entre os eventos e a classificação do SPI, ou seja, o SPI associa de forma satisfatória as condições de umidade do solo com os fenômenos relacionados com a chuva.

Gráfico 4.3 – Classificação SPI-3 para o Outono

Fonte: Autor, 2012.

O Gráfico 4.3 quantifica as frequências das ocorrências das condições de umidade do solo segundo a classificação do SPI na estação Outono da série climatológica. Pelo gráfico se verifica que na série climatológica ocorreram 60 outonos com o solo classificado segundo o SPI em “Próximo ao normal”, logo após vem 14 outonos classificados como “Moderadamente úmido”. O que nos chama a atenção no Gráfico 4.3 é que a frequência das condições de umidade do solo se comporta em forma de curva normal, caracterizando essa estação como bem distribuída em termos das condições de umidade do solo.

4.10 Estação Inverno e Classificação SPI-3

A tabela 4.20 quantifica a frequência e a probabilidade de anomalias de chuva no Inverno com suas respectivas classificações de SPI-3.

Tabela 4.20 – Classificação SPI-3 e Anomalias de Chuva no Inverno

INVERNO – meses: Julho, Agosto e Setembro								
Classificação SPI-3	Anos com Anomalia				Anos sem Anomalia		TOTAL	
	Positiva		Negativa					
Extremamente úmido			2	0,13	1	0,02	3	0,03
Muito úmido	2	0,12			4	0,06	6	0,06
Moderadamente úmido	1	0,06			7	0,10	8	0,08
Próximo ao normal	14	0,82	13	0,87	33	0,49	60	0,60
Moderadamente seco					13	0,19	13	0,13
Muito seco					7	0,10	7	0,07
Extremamente seco					3	0,04	3	0,03
TOTAL	17	1	15	1	67	1	100	1

Fonte: Autor, 2012.

Ao se analisar a Tabela 4.20 verifica-se que no Inverno ocorreram 13 eventos em que o solo segundo a classificação do SPI, ficou caracterizado como “Moderadamente seco” e 7 eventos como “Muito seco”. Em contrapartida, foram registrados 8 eventos como “Moderadamente úmido”, 6 eventos como “Muito úmido”. No período do Inverno foram registrados 17 eventos com anomalia positiva de chuva, desses, 2 eventos foram classificados pelo SPI como “Muito úmido”, 1 evento foi classificado como “Moderadamente úmido” e 14 como “Próximo ao normal”. Em contrapartida, nesse mesmo período foram registrados 15 eventos com anomalia negativa de chuva, dos quais 2 eventos classificados pelo SPI como “Extremamente úmido” e 13 eventos classificados como “Próximo ao normal”. O que caracteriza de certa forma uma relação entre chuva acima da média climatológica e as condições de umidade do solo identificadas pelo método SPI. Esses dados estão em consonância com a média climatológica da estação que foi 191,83mm de chuva; a segunda maior estação em termos de precipitação pluviométrica.

Tomando como referência ainda a Tabela 4.20, verificamos que 60 eventos ficaram classificados segundo o SPI, como “Próximo ao normal”. Verifica-se que esse fato fica plenamente de acordo com o resultado do SPI uma vez que a probabilidade a priori de não ocorrer anomalia de chuva no Inverno foi de 0,69. As demais informações constantes nessa tabela, embora em menor ocorrência, seguem proporcionalmente a mesma correspondência, ou seja, o SPI associa de forma satisfatória as condições de umidade do solo com o regime pluviométrico associado.

A tabela 4.21 quantifica a frequência e a probabilidade de fenômeno ENOS no Inverno com suas respectivas classificações de SPI-3.

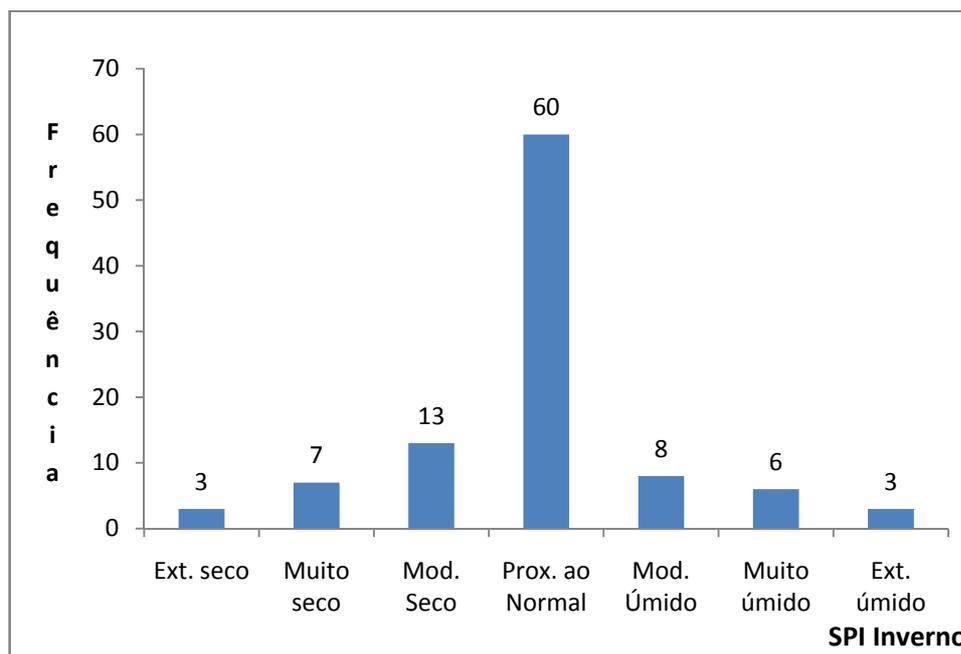
Tabela 4.21 – Classificação SPI-3 e Fenômeno ENOS no Inverno

INVERNO – meses: Julho, Agosto e Setembro								
Classificação SPI-3	Anos com ENOS				Anos sem ENOS		TOTAL	
	El Niño		La Niña					
Extremamente úmido	3	0,15					3	0,03
Muito úmido					6	0,10	6	0,06
Moderadamente úmido	1	0,05	1	0,05	6	0,10	8	0,08
Próximo ao normal	12	0,60	12	0,64	36	0,59	60	0,60
Moderadamente seco	3	0,15	2	0,10	8	0,13	13	0,13
Muito seco	1	0,05	4	0,21	2	0,03	7	0,07
Extremamente seco					3	0,05	3	0,03
TOTAL	20	1	19	1	61	1	100	1

Fonte: Autor, 2012.

Ao se analisar a Tabela 4.21 verifica-se que no Inverno ocorreram 39 eventos ENOS. Desses, os que poderiam contribuir para respaldar a classificação do SPI em “Moderadamente seco” e “Muito seco” são, possivelmente, os 21 eventos de El Niño, que se desencadearam ao longo da série nessa estação. Mas se observa também que, 6 eventos foram classificados como “Muito úmido” e 8 eventos como “Moderadamente úmido”. Observa-se também os 60 Invernos em que a classificação da umidade do solo foi calculada pelo SPI como “Próximo ao normal”, o interessante é contrapor essa informação com o registro na série nessa estação de 69 Invernos sem anomalia de chuva. O que se deduz que o SPI caracteriza, mais uma vez, de forma satisfatória, as condições de umidade do solo.

As demais informações constantes nessa tabela, embora em menor ocorrência, seguem proporcionalmente a mesma correspondência entre os eventos e a classificação do SPI.

Gráfico 4.4 – Classificação SPI-3 para o Inverno

Fonte: Autor, 2012.

O Gráfico 4.4 quantifica as frequências das ocorrências das condições de umidade do solo segundo a classificação do SPI na estação Inverno da série climatológica. Pelo gráfico se verifica que na série climatológica ocorreram 60 invernos com o solo classificado segundo o SPI em “Próximo ao normal”, logo após vem 13 invernos classificados como “Moderadamente seco”. O que nos chama a atenção no Gráfico 4.4 é que a frequência das condições de umidade do solo se comporta em forma de curva normal, caracterizando essa estação como bem distribuída em termos das condições de umidade do solo.

4.11 Estação Primavera e Classificação SPI-3

A tabela 4.22 quantifica a frequência e a probabilidade de anomalias de chuva na Primavera com suas respectivas classificações de SPI-3.

Tabela 4.22 – Classificação SPI-3 e Anomalias de Chuva na Primavera

PRIMAVERA – meses: Outubro, Novembro e Dezembro								
Classificação SPI-3	Anos com Anomalia				Anos sem Anomalia		TOTAL	
	Positiva		Negativa					
Extremamente úmido							–	–
Muito úmido							–	–
Moderadamente úmido	3	0,27					3	0,03
Próximo ao normal	5	0,45			2	0,02	7	0,07
Moderadamente seco	3	0,27			5	0,06	8	0,08
Muito seco					8	0,10	8	0,08
Extremamente seco			8	1	66	0,82	74	0,74
TOTAL	11	1	8	1	81	1	100	1

Fonte: Autor, 2012.

Ao se analisar a Tabela 4.22 verifica-se que na Primavera ocorreram 74 eventos em que o solo, segundo as condições de umidade, foi classificado pelo SPI como “Extremamente seco”, 8 eventos como “Muito seco” e 8 eventos como “Moderadamente seco”. Observa-se também nessa tabela que foram registrados 7 eventos classificados pelo SPI como “Próximo ao normal”. A estação Primavera é a que apresenta o menor número de eventos de anomalia de chuva. Na série climatológica foram registradas apenas 19 ocorrências de anomalia de chuva nessa estação. A média climatológica dessa estação foi 47,35mm de chuva. Mesmo tendo ocorrido 11 eventos de anomalia positiva de chuva, não foram suficientes para mudar a classificação do SPI, uma vez que pode ter havido uma possível associação entre o baixo valor da média climatológica com número de eventos de anomalia negativa de chuva, que foram em número de 8, além da possível contribuição do Inverno em termos de anomalia negativa de chuva, cuja probabilidade foi de 0,15. Existe uma grande chance de que o conjunto desses eventos, entre outros, bem como a sua distribuição e combinação, possa ter contribuído para as classificações do SPI contidas na Tabela 4.22.

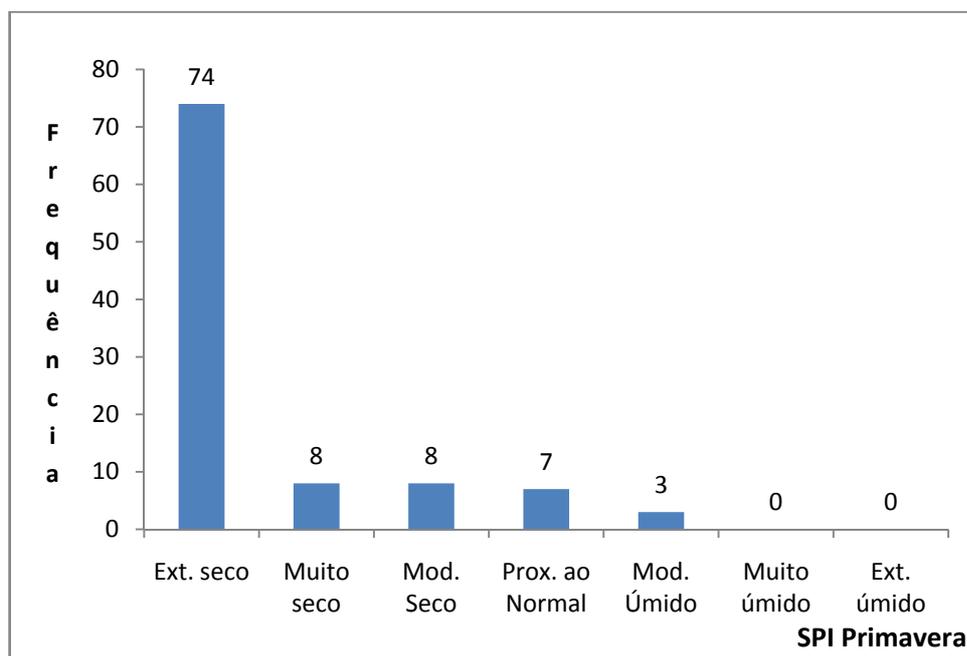
A tabela 4.23 quantifica a frequência e a probabilidade de fenômeno ENOS na Primavera com suas respectivas classificações de SPI-3.

Tabela 4.23 – Classificação SPI-3 e Fenômeno ENOS na Primavera

PRIMAVERA – meses: Outubro, Novembro e Dezembro								
Classificação SPI-3	Anos com ENOS				Anos sem ENOS		TOTAL	
	El Niño		La Niña					
Extremamente úmido							–	–
Muito úmido							–	–
Moderadamente úmido					3	0,04	3	0,03
Próximo ao normal	1	0,08	2	0,09	4	0,06	7	0,07
Moderadamente seco			2	0,09	6	0,09	8	0,08
Muito seco			3	0,14	5	0,08	8	0,08
Extremamente seco	12	0,92	14	0,68	48	0,73	74	0,74
TOTAL	13	1	21	1	66	1	100	1

Fonte: Autor, 2012.

Ao se analisar a Tabela 4.23 verifica-se que na Primavera ocorreram 34 eventos ENOS. Desses, os que poderiam contribuir para respaldar a classificação do SPI em “Extremamente seco”, “Muito seco” e “Moderadamente seco” são, possivelmente, os 13 eventos de El Niño, que se desencadearam ao longo da série nessa estação. Mas se observa também que, 7 eventos foram classificados como “Próximo ao normal”. Existe a possibilidade de que os 20 El Niños, ocorridos no Inverno, tenha desencadeado anomalia negativa de chuva na Primavera, juntamente com outros fenômenos aqui não registrados. Observa-se que a estação Primavera se comporta de forma atípica em relação às demais. Embora as condições de baixa umidade do solo, que foi bem caracterizada pelo SPI, estejam relacionadas, principalmente com a baixíssima média climatológica dessa estação. O que evidencia mais uma vez, de forma satisfatória, a classificação do método SPI, na determinação das condições de umidade do solo.

Gráfico 4.5 – Classificação SPI-3 para a Primavera

Fonte: Autor, 2012.

O Gráfico 4.5 quantifica as frequências das ocorrências das condições de umidade do solo segundo a classificação do SPI na estação Primavera da série climatológica. Pelo gráfico se verifica que na série climatológica ocorreram 74 primaveras com o solo classificado segundo o SPI em “Extremamente seco”. Observa-se também que não houve registro de eventos classificados pelo SPI como “Muito úmido” como também não houve registro de eventos classificados pelo SPI como “Extremamente úmido”. O que nos leva a caracterizar essa estação como a mais seca entre as demais.

5 CONCLUSÃO

O foco principal deste trabalho foi o estudo da interdependência entre as ocorrências de fenômenos ENOS e eventuais mudanças nos padrões de precipitação pluviométrica na região Leste do Estado de Alagoas. Apesar de os dados de chuvas observados se referirem a um único ponto de coleta, o que limita a validade de nossas conclusões, cabe realçar a significativa amplitude do horizonte de tempo observado. Embora o foco principal do trabalho tenha revelado pouca influência dos fenômenos ENOS nas precipitações na região Leste do Estado de Alagoas, neste trabalho não ficou plenamente caracterizado que exista uma relação entre anomalia de chuva e a classificação de umidade do solo, determinada pelo método Standardized Precipitation Index – SPI, para a região pesquisada.

Esse estudo revelou, como subproduto, algum conhecimento sobre indícios de mudanças climáticas e também sobre as possibilidades de se ganhar informação, com base nas chuvas observadas numa estação, sobre as possibilidades de chuvas na estação subsequente.

No âmbito dos indícios das propaladas mudanças climáticas cabe observar que, ao longo dos últimos cem anos, todas as estações do ano apresentaram uma tendência comum, choveu mais na segunda metade do século do que na primeira. Outras informações extraídas dessa Tabela é que nos últimos 50 anos da série, na Estação Verão, choveu a mais 22,71%, na Estação Outono, choveu a mais 11,03%, na Estação Inverno, choveu a mais 17,28% e na Estação Primavera, choveu a mais 22,61%.

Verificou-se também que em todas as estações do ano a maior quantidade de anomalias positivas de chuva ocorreu na segunda metade do século.

Para a estação Verão, a série climatológica utilizada neste trabalho caracteriza alguma assimetria nas situações de anomalia, mostrando que, quando existe anomalia de chuva no Verão, é mais provável que essa anomalia seja positiva do que negativa. Mas ao se dividir o século em duas metades, observa-se que a tendência de se ter mais Verão chuvoso do que seco, nos casos de anomalia de chuva, se manifestou de fato na segunda metade do século. Enquanto nos anos de 1911 a 1960 se conta cinco verões chuvosos e também cinco verões secos, no período de 1961 a 2010 contam-se doze verões chuvosos e apenas seis verões secos. Os dados sugerem um aumento da probabilidade de ocorrência de anomalia na precipitação de

Verão, havendo no caso de anomalias nos últimos cinquenta anos, o dobro de chance de se ter um Verão chuvoso do que se ter um Verão seco.

No âmbito da informação que se ganha sobre chuvas futuras ao se observar a precipitação de uma estação em curso cabe destaque à interdependência realçada entre as estações da Primavera e do Verão. Por serem as estações do ano com menor precipitação pluviométrica, o conhecimento sobre essas estações se reveste de particular importância para o interesse econômico da agricultura regional, para a construção civil e o turismo.

Verificamos que a probabilidade a priori de chover pouco no Verão é de apenas 0,11, mas, essa probabilidade sobe para 0,25 ao se saber que choveu pouco na Primavera. Dessa forma, saber que choveu pouco na Primavera é um prenúncio de que poderá chover pouco no Verão subsequente, já que mais que dobra a chance de que esse Verão tenha pouca chuva.

Vimos que a probabilidade a priori de chover pouco no Outono foi de apenas 0,17. Mas ao se saber que choveu pouco no Verão, a probabilidade a posteriori de que haja pouca chuva no Outono subsequente passa para 0,46. Em conclusão, a observação de que houve pouca chuva no Verão aumenta o grau de crença de que poderá também haver um Outono com pouca chuva.

Na série pluviométrica estudada, nunca se observou um Outono chuvoso com um subsequente Inverno com pouca chuva. Como também, nunca se observou um Outono seco com um subsequente Inverno com muita chuva.

Verificamos que no Inverno, a probabilidade a priori de ocorrência de muita chuva foi de 0,16. Essa probabilidade passa para 0,44 ao se observar que choveu muito no Outono anterior. Concluimos então que muita chuva no Outono é prenúncio de que poderá haver chuvas copiosas no Inverno subsequente.

Para a estação Primavera, a série climatológica utilizada neste trabalho também caracteriza a tendência de que, quando há anomalia de chuva na Primavera, é mais provável que essa anomalia seja positiva do que negativa.

Na série climatológica utilizada neste trabalho, que representa as condições pluviométricas da região Leste do Estado de Alagoas, não ficou caracterizada a significativa interferência do fenômeno ENOS no regime climatológico da região. Esse fato pode estar

associado à grande variedade de mecanismos que interferem no regime pluviométrico do Nordeste. Este trabalho, de alguma forma, veio corroborar a literatura que informa que o fenômeno ENOS não altera o regime pluviométrico da região costeira do Nordeste brasileiro de forma isolada.

REFERÊNCIAS

- ACEITUNO, P. El Niño, the Southern Oscillation and ENSO: confusing names for a complex ocean-atmosphere interaction. **Bull. Amer. Meteor. Soc.** v. 73, n. 4, p. 483-485, 1992. ISSN 1520-0477.
- ALLEY, W. M. The Palmer Severity Index: limitations and assumptions. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v.23, n. 7, p. 1100-1109, 1984. ISSN 1558-8432.
- ANJO, R. J.; SANTOS, F. A. S. Uso do SPI (Índice de Precipitação Padronizada) na determinação de períodos críticos de umidade em situações de EL Niño e LA Niña. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 2001 Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2001.
- ASSIS, F. N.; ARRUDA H. V.; PEREIRA A. R. **Aplicações de estatística à climatologia**. Pelotas: UFPEL, 1996. p. 61-69.
- BANKS, J.; CARSON, J. S. **Discrete**: event system simulation. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1984.
- BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. **Time series analysis**: forecasting and control. 3th ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1994.
- CALHEIROS, A. F. et al. Alteração temporal da quadra chuvosa no município de Rio Largo-AL, nos últimos oito anos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2006.
- CAVALCANTI, A. S.; LEMES, M. A. M.; MOLION, L. C. B. Análise dos fenômenos meteorológicos interventores na produção sucroalcooleira do estado de Alagoas. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2002.
- CHAGAS, E. V. et al. Mudança temporal da quadra chuvosa em Alagoas nos últimos cinco anos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, 2003.
- CHAN, S. C. **Análises de distúrbios ondulatórios de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul**. São José dos Campos. 1990. 104 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1990.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria & aplicações**. 2. ed. São Paulo: Bravarte, 2007.
- DRACUP, J. A.; LEE, K. S.; PAULSON, E. G. On the definition of droughts. **Water Resources Research**, v. 16, n. 2, p. 297-302, 1980. ISSN 1944-7973.
- FREITAS, F. P. J. de F. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas, com aplicações em arena**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E. **Vórtice ciclônico da alta troposfera no Oceano Atlântico Sul**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 1, n. 1, p. 19-29, 1986. ISSN 0102-7786.

GLANTZ, M. H., **Currents of change**: El Niño's impact on climate and society. Cambridge: University Press, 1996.

GOIS, G. et al. Variação interanual da precipitação pluvial em alguns municípios do estado de Alagoas. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 14.; MOSTRA CIENTÍFICA DA PÓS-GRADUAÇÃO, 4.; SIMPÓSIO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA, 2. , 2004, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG, 2004.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

GRANGER, C. W. J.; NEWBOLD, J. P. Forecasting transformed series. **Journal of the Royal Statistical Society**, Series B, v. 38, p. 189-203, 1976. ISSN 1467-9868.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climate hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society**. v. 103, p. 77-92, 1977. 1477-870X.

_____.; LAMB, P. J. **Climatic atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans**. Madison: The University of Wisconsin Press, 1977. p. 177.

HINKLEY, D. On quick choice of power transformation. **Applied Statistics**, v. 26, p. 67-69, 1977. ISSN 1467-9876.

JAIN, R. **The art of computer systems performance analysis**, New York: J. Wiley & Sons, 1991.

JENKINS, G. M. **Practical experiences with modelling and forecasting time series**. Jersey. Channel Islands: GJP , 1979.

JENSEN, F. V.; OLSEN, K. G.; ANDERSEN, S. K. **An algebra of bayesian belief universes for knowledge-based systems**. New York: J. Wiley & Sons, 1990. v. 20, p. 637-659.

SILVA JÚNIOR, J. L. C. et al. Avaliação da ocorrência de secas no município de Viçosa-MG, utilizando o índice de precipitação padronizada (SPI). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOLOGIA, 14., 2004, Campinas. **Anais...** Campinas, 2004.

KANE, R. P. Limited effectiveness of El Niños in causing droughts in NE Brazil and the prominent role of atlantic parameters. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v.19, n. 2, May/Aug. 2001. ISSN 0102-261X.

_____. Relationship between the southern oscillation/El Niño and rainfall in some tropical and midlatitude regions. **Journal of Earth System Science**, v. 98, n. 3, p. 223-235, 1989. ISSN 0973-774X.

LOPES, P. A. **Probabilidade & estatística**. Rio de Janeiro: Reichmann & Affonso, 2001.

LUNA, H. P. L. **Inteligência computacional**: notas de aula. Maceió, 2008.

MAGALHÃES, M. N. **Probabilidade e variáveis aleatórias**. 3. ed. São Paulo: EDUSP, 2011.

_____.; LIMA, A. C. P. de. **Noções de probabilidade e estatística**. 7. ed. São Paulo: EDUSP, 2010.

MAKRIDAKIS, S.; HIBON, M. Accuracy of forecasting: an empirical investigation. **Journal of the Royal Statistical Society: Series A**, v. 142, p. 97-145, 1979. ISSN 1467-985X.

MARENGO, J. A. et al.: **Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI**: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais: Relatório 5. Brasília, DF: MMA/SBF/DCBio, 2007a.

MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; NOVA, N. A. V. Influência dos fenômenos El Niño e La Niña no clima de Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 15, n. 1, p. 123-129, 2000. ISSN 0102-7786.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8th., 1993, Anaheim. **Proceedings...** Anaheim: American Meteorological Society, 1993. p. 179-184.

MINUZZI, R. B. et al. Influência da La niña na estação chuvosa da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia** São José dos Campos, v. 22, n. 3, p. 345-353. 2007. ISSN 0102-7786.

MOLION, L. C. B., BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 17, n.1, p. 1-10, 2002. ISSN 0102-7786.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: E. Blucher, 2006.

MOURA, M. A. L. et al. Pluviometria em Alagoas (Brasil) em anos de ocorrência do evento El Niño. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2004.

OLAPIDO, E. O. A comparative performance analysis of three meteorological drought indices. **J. Climatology**, v.5, p. 655-664, 1985. ISSN 1097-0088.

OLIVEIRA, G. S. de. **O El Niño e você**: o fenômeno climático. São Paulo: Transtec, 1999.

ORTOLANI, A. A.; CAMARGO, M. B. P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: CASTRO, P.R.C. et al. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Potafos, 1987. p. 71-81.

PEARL, J. Fusion, propagation and structuring in belief networks. **Artificial Intelligence**. v. 29, p. 241-288, 1986. ISSN 0004-3702.

PEARL, J. **Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible inference**. San Mateo: M. Kaufmann, 1988.

PLOSSER, C. I. Short-term forecasting and seasonal adjustment. **Journal of the American Statistical Association**, v. 74, n. 365, p. 15-24, 1979. ISSN 1537-274X.

RODRIGUES DA SILVA, V. P.; MACIEL, G. F.; GUEDES, M. J. F. Influência dos eventos fortes do fenômeno El Niño na precipitação pluvial do Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10.; e CONGRESSO DA FEDERAÇÃO LATINOAMERICANA E IBÉRICA DE SOCIEDADES DE METEOROLOGIA, 8., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998. CD-ROOM.

ROTONDO, V. H., SEILER, R. A. Uso del índice estandarizado de precipitación para caracterizar sequias agrometeorológicas en Rio Cuarto (Argentina). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1999.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Inteligência artificial**. 3. ed. São Paulo: Campus, 2004.

SEDIYAMA, G. C. **Notas de aula: métodos quantitativos em climatologia**. Viçosa, MG, 2005.

SEILER, R. A.; Y BRESSAN, L. A. Uso del índice estandarizado de precipitación para la evolución permanente del riego de inundaciones. **Revista de la Facultad de Agronomía**, Buenos Aires, v. 20, n. 2, p.299-234, 2000.

SILVA, D. D.; et al. Chuvas intensas no estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.**, Campina Grande: UFCG, v. 6, n. 2, p. 362-367, 2002. ISSN 1807-1929. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>> Acesso em: 25 jul 2011.

SILVA, J. de F. da. **El Niño, o fenômeno climático do século**. Brasília: Thesaurus, 2000.

SOONG, T. T. **Modelos probabilísticos em engenharia e ciências**. São Paulo: L.T.C. 1986.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1994.

THOM, H. C. S. A note on the gamma distribution. **Monthly Weather Review**, Washington, v. 86, n. 4, p.117-122, 1958.

THOM, H. C. S. **Some methods of climatological analysis**. Roma: FAO, 1986. (FAO. Technical Notes 81).

TRENBERTH, K. E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**. Colorado, v. 78, n.12, p. 2771-2777, 1997.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M.H. Understanding the drought phenomenon: The role definitions. In: _____ . et al. **Planning for drought toward a reduction of societal vulnerability**. Colorado: Westview, 1987. cap. 2, p. 11-14.

YAMAZAKI, Y.; RAO, V. B. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**. v. 55, n. 2, p. 205-207, 1977.

APÊNDICE

Índice de Oscilação Sul - IOS

Monthly Southern Oscillation Index

Bureau of Meteorology - Australia
National Climate Centre
Climate Analysis Section

Índice de Oscilação Sul Mensal

Apêndices - Os valores positivos do índice indicam eventos de La Niña e os valores negativos eventos de El Niño. A região do neutro está situada entre -5 e 5 no índice.

(continua)

Ano	Jan Aug	Fev Set	Mar Out	Abr Nov	Mai Dez	Jun	Jul
1876	11,3 12,3	11,0 10,5	0,2 -8,0	9,4 -2,7	6,8 -3,0	17,2	-5,6
1877	-9,7 -8,2	-6,5 -17,2	-4,7 -16,0	-9,6 -12,6	3,6 -12,6	-16,8	-10,2
1878	-8,7 13,0	-21,1 17,7	-15,5 10,9	-8,8 15,1	2,1 17,9	-3,1	15,9
1879	12,7 22,6	14,3 18,9	13,2 15,2	12,7 9,8	2,1 -5,5	16,4	21,8
1880	10,8 14,3	7,7 8,1	14,3 4,8	5,3 7,2	12,3 -1,9	9,1	1,6
1881	-7,3 -11,4	-5,5 -13,6	1,8 -23,9	0,3 7,2	-4,3 9,8	-4,7	-5,6
1882	-6,8 -25,6	-1,3 -14,8	5,1 -2,5	1,2 2,6	6,8 10,3	-12,0	-21,3
1883	6,0 1,4	9,1 -8,2	-25,3 4,8	14,4 5,2	13,9 -15,2	3,4	-10,2
1884	-12,5 -5,0	-5,0 -7,0	9,4 4,2	-15,4 -1,4	1,3 -12,6	9,1	-3,0
1885	-16,3 -9,5	1,6 -4,0	5,1 -17,8	-0,5 -15,9	-4,3 5,2	-14,4	-5,0
1886	-0,6 13,6	1,6 13,5	2,9 13,4	4,5 10,5	6,0 14,4	5,0	7,4
1887	12,2 4,6	11,0 5,1	10,0 4,8	9,4 -5,3	-4,3 5,2	5,0	4,8
1888	-3,0 -8,9	-2,2 -9,4	-11,7 -14,7	-23,6 -12,6	-9,8 -2,4	-16,0	-16,7
1889	-25,9 2,1	-1,7 11,1	-27,5 4,2	-0,5 23,0	-1,9 22,0	22,0	1,6
1890	20,8 -3,1	11,0 9,3	14,3 3,6	6,9 2,6	3,6 0,6	5,8	-2,3
1891	15,6 -8,9	-3,6 -10,6	-9,5 0,6	4,5 -4,7	-0,3 -4,5	-1,5	-6,3
1892	2,7 5,9	-10,2 6,3	11,1 8,5	6,9 -0,7	10,0 3,7	19,6	7,4
1893	11,3 7,8	7,7 5,7	-1,4 7,9	1,2 2,6	-3,5 1,6	10,7	14,0

Apêndices - Os valores positivos do índice indicam eventos de La Niña e os valores negativos eventos de El Niño. A região do neutro está situada entre -5 e 5 no índice.

(continuação)

1894	17,5	10,0	5,6	-3,0	-5,1	-1,5	-2,3
	-5,7	-1,6	1,8	7,2	0,1		
1895	5,6	3,0	-0,3	-7,1	-8,2	-4,7	-0,4
	-6,3	-4,0	-5,6	-8,6	-3,5		
1896	1,3	4,9	-6,3	-8,8	-42,2	-30,6	-20,6
	-22,4	-19,0	-19,0	-11,9	-14,2		
1897	-12,5	-7,4	-16,6	-17,8	-16,9	0,2	-2,3
	0,8	0,2	1,8	-8,0	10,3		
1898	7,0	6,3	19,2	11,1	-1,9	-2,3	6,1
	2,1	3,2	-0,7	-2,7	-0,4		
1899	13,2	9,1	13,8	4,5	-7,4	-10,4	-5,6
	-10,1	-1,6	6,1	15,8	-3,0		
1900	-7,3	-6,5	-25,3	-18,7	-7,4	26,1	10,0
	7,8	-16,6	-17,2	-6,0	-5,5		
1901	-0,1	3,0	9,4	4,5	-0,3	19,6	14,6
	9,8	-16,0	-22,1	-8,6	-1,9		
1902	17,0	-2,2	11,6	7,8	7,6	2,6	1,6
	-8,9	-17,8	-7,4	-3,4	-3,0		
1903	-9,2	-10,2	17,6	17,7	7,6	-0,6	6,1
	0,1	8,7	4,2	1,3	15,9		
1904	14,1	16,2	9,4	31,7	9,2	-7,1	-8,9
	0,8	0,2	1,2	-17,2	2,6		
1905	-9,2	-16,8	-30,2	-42,6	-37,4	-31,4	-21,3
	-7,6	-7,0	-5,6	-17,9	-13,1		
1906	-3,5	-7,4	-5,2	-8,8	1,3	-3,9	6,8
	15,5	18,3	9,1	21,7	4,7		
1907	5,1	1,6	-0,3	4,5	10,0	8,3	-4,3
	-8,2	0,2	0,6	-2,0	8,8		
1908	-10,6	7,7	0,2	16,8	-1,1	-2,3	2,2
	5,3	17,7	7,9	2,6	-5,5		
1909	-2,5	-3,2	-0,3	-14,5	2,1	22,8	10,7
	9,8	0,8	4,2	9,2	4,7		
1910	5,6	15,2	12,7	5,3	0,5	22,0	20,5
	9,8	15,3	10,3	19,7	15,9		
1911	3,2	1,6	3,5	2,0	-8,2	-12,0	-12,8
	-12,1	-8,8	-11,7	-7,3	-1,4		
1912	-9,7	-17,3	-9,0	-21,1	-13,0	-6,3	-0,4
	-7,6	-4,0	-8,0	2,6	-8,0		
1913	-3,5	-5,0	1,3	-6,3	-8,2	-3,9	-1,7
	-7,6	-9,4	-9,2	-11,9	-7,0		
1914	-5,4	2,0	9,4	-14,5	-0,3	-16,8	-18,0
	-17,2	-12,4	-8,6	-11,9	-1,4		
1915	-21,6	-2,2	-20,4	-17,8	-12,2	6,6	14,0
	7,2	7,5	2,4	-14,6	9,8		
1916	5,6	-3,6	-6,3	-0,5	6,8	9,1	25,7
	16,2	4,5	6,1	9,8	15,4		
1917	5,1	10,0	18,1	21,8	21,8	21,2	28,3
	34,8	29,7	15,2	21,0	22,5		
1918	14,6	16,6	-2,0	16,8	10,0	-4,7	-14,1
	-4,4	-8,2	-5,0	1,3	-8,0		
1919	-14,9	-11,2	-12,8	-3,0	-7,4	-10,4	-8,9
	-6,9	-5,8	-10,5	-11,3	-9,1		
1920	1,8	-1,7	-4,1	0,3	-2,7	6,6	9,4
	5,3	5,1	-4,3	-0,1	9,8		

Apêndices - Os valores positivos do índice indicam eventos de La Niña e os valores negativos eventos de El Niño. A região do neutro está situada entre -5 e 5 no índice.

(continuação)

1921	10,8	6,7	8,9	-7,1	2,1	22,0	2,9
	-6,9	5,1	9,7	8,5	8,2		
1922	8,0	9,1	5,6	-5,5	-5,1	5,8	2,2
	-1,2	5,1	6,1	8,5	11,8		
1923	5,6	4,4	8,9	8,6	2,1	1,0	-11,5
	-18,5	-14,8	-6,2	-12,6	2,1		
1924	-5,4	1,1	2,4	-15,4	11,5	8,3	7,4
	10,4	8,1	7,9	11,8	5,2		
1925	5,6	13,8	14,9	14,4	-1,1	-4,7	-13,4
	-10,8	-6,4	-12,9	-9,3	-7,0		
1926	-5,4	-14,5	-13,3	-7,1	-2,7	-7,1	-1,0
	-7,6	1,4	4,2	1,3	6,2		
1927	5,1	1,1	18,1	6,9	6,0	8,3	6,1
	-5,0	-0,4	-4,3	-8,0	7,7		
1928	-10,1	10,5	13,8	11,9	-2,7	-7,9	-0,4
	9,8	8,1	9,1	2,6	11,8		
1929	16,0	18,0	5,1	4,5	-12,2	1,0	1,6
	0,1	-0,4	7,9	11,1	5,7		
1930	12,7	7,7	1,8	-3,8	2,1	-5,5	-4,3
	-1,8	-7,0	3,6	1,9	-1,4		
1931	7,0	-14,9	5,6	8,6	13,1	18,8	9,4
	0,1	5,1	-12,9	-4,7	4,7		
1932	1,8	-3,6	-2,5	-2,1	2,8	-4,7	-5,0
	-6,9	-8,8	-4,3	-4,7	3,2		
1933	-11,1	4,9	-2,0	3,6	6,0	-3,9	3,5
	-0,5	2,0	3,6	7,2	8,2		
1934	6,5	0,1	0,2	6,1	-7,4	10,7	2,9
	-22,4	-6,4	4,2	13,1	-2,4		
1935	6,5	-4,6	12,2	2,8	-6,6	-2,3	-0,4
	2,1	6,3	7,3	3,9	-4,0		
1936	-2,0	0,6	1,8	22,6	4,4	-1,5	4,2
	-8,9	2,6	-0,1	-13,9	0,6		
1937	9,4	-5,0	6,2	2,0	-0,3	3,4	-5,6
	3,3	0,8	-2,5	-2,0	6,7		
1938	7,5	3,4	-3,6	3,6	13,1	18,0	18,5
	13,0	7,5	12,8	1,9	13,8		
1939	17,0	7,7	11,6	9,4	-1,1	-1,5	8,1
	-0,5	-9,4	-14,7	-8,0	-8,6		
1940	-0,1	-4,1	-10,6	-9,6	-14,5	-19,3	-15,4
	-18,5	-19,6	-18,4	-6,7	-29,4		
1941	-9,7	-15,4	-10,6	-11,2	-6,6	-14,4	-20,6
	-19,1	-8,2	-20,2	-9,3	-8,6		
1942	-13,0	-3,6	-5,8	-5,5	5,2	8,3	-1,0
	4,0	8,7	8,5	-4,0	13,8		
1943	9,4	10,5	4,0	13,5	2,8	-7,9	2,9
	7,8	5,7	9,1	3,9	-8,6		
1944	-8,2	3,9	5,6	-5,5	-1,1	-3,9	-8,9
	3,3	2,6	-8,6	-6,7	4,2		
1945	5,1	6,3	13,2	-7,1	-0,3	8,3	3,5
	11,7	8,7	2,4	-3,4	6,7		
1946	-2,5	4,4	-2,0	-9,6	-11,4	-9,6	-10,2
	-4,4	-16,0	-12,3	-1,4	-5,5		
1947	-4,9	-4,1	11,6	-4,6	-13,7	2,6	9,4
	7,2	11,7	-1,9	9,2	5,2		

Apêndices - Os valores positivos do índice indicam eventos de La Niña e os valores negativos eventos de El Niño. A região do neutro está situada entre -5 e 5 no índice.

(continuação)

1948	-3,0	-2,7	-4,1	2,8	3,6	-4,7	0,9
	-4,4	-7,6	6,1	4,6	-5,5		
1949	-7,3	2,0	5,6	1,2	-5,8	-12,0	-1,7
	-4,4	2,0	5,4	-6,0	7,7		
1950	5,1	17,6	17,6	16,8	7,6	26,9	21,1
	12,3	6,9	17,1	12,5	23,0		
1951	16,5	9,6	-1,4	-1,3	-6,6	5,0	-8,2
	-0,5	-7,0	-8,0	-3,4	-3,0		
1952	-9,2	-7,9	0,2	-8,8	6,0	7,4	3,5
	-3,7	-3,4	1,8	-0,7	-12,6		
1953	2,2	-6,0	-5,8	-0,5	-31,9	-2,3	-1,0
	-17,2	-13,0	-0,1	-2,0	-4,0		
1954	6,0	-3,6	-0,9	6,9	4,4	-1,5	4,2
	10,4	4,5	1,8	3,9	12,8		
1955	-5,4	15,2	2,9	-3,0	13,1	16,4	19,2
	14,9	14,1	15,2	15,1	9,3		
1956	11,3	12,4	9,4	11,1	17,9	12,3	12,6
	11,0	0,2	18,3	1,9	10,3		
1957	5,6	-2,2	-0,9	1,2	-12,2	-2,3	0,9
	-9,5	-10,6	-1,3	-11,9	-3,5		
1958	-16,8	-6,9	-1,4	1,2	-8,2	0,2	2,2
	7,8	-3,4	-1,9	-4,7	-6,5		
1959	-8,7	-14,0	8,4	3,6	2,8	-6,3	-5,0
	-5,0	0,2	4,2	11,1	8,2		
1960	0,3	-2,2	5,6	7,8	5,2	-2,3	4,8
	6,6	6,9	-0,7	7,2	6,7		
1961	-2,5	6,3	-20,9	9,4	1,3	-3,1	2,2
	0,1	0,8	-5,0	7,2	13,8		
1962	17,0	5,3	-1,4	1,2	12,3	5,0	-0,4
	4,6	5,1	10,3	5,2	0,6		
1963	9,4	3,0	7,3	6,1	2,8	-9,6	-1,0
	-2,4	-5,2	-12,9	-9,3	-11,6		
1964	-4,0	-0,3	8,4	13,5	2,8	7,4	6,8
	14,3	14,1	12,8	2,6	-3,0		
1965	-4,0	1,6	2,9	-12,9	-0,3	-12,8	-22,6
	-11,4	-14,2	-11,1	-17,9	1,6		
1966	-12,0	-4,1	-13,9	-7,1	-9,0	1,0	-1,0
	4,0	-2,2	-2,5	-0,1	-4,0		
1967	14,6	12,9	7,8	-3,0	-3,5	6,6	1,6
	5,9	5,1	-0,1	-4,0	-5,5		
1968	4,1	9,6	-3,0	-3,0	14,7	12,3	7,4
	0,1	-2,8	-1,9	-3,4	2,1		
1969	-13,5	-6,9	1,8	-8,8	-6,6	-0,6	-6,9
	-4,4	-10,6	-11,7	-0,1	3,7		
1970	-10,1	-10,7	1,8	-4,6	2,1	9,9	-5,6
	4,0	12,9	10,3	19,7	17,4		
1971	2,7	15,7	19,2	22,6	9,2	2,6	1,6
	14,9	15,9	17,7	7,2	2,1		
1972	3,7	8,2	2,4	-5,5	-16,1	-12,0	-18,6
	-8,9	-14,8	-11,1	-3,4	-12,1		
1973	-3,0	-13,5	0,8	-2,1	2,8	12,3	6,1
	12,3	13,5	9,7	31,6	16,9		
1974	20,8	16,2	20,3	11,1	10,7	2,6	12,0
	6,6	12,3	8,5	-1,4	-0,9		

Apêndices - Os valores positivos do índice indicam eventos de La Niña e os valores negativos eventos de El Niño. A região do neutro está situada entre -5 e 5 no índice.

(continuação)

1975	-4,9	5,3	11,6	14,4	6,0	15,5	21,1
	20,7	22,5	17,7	13,8	19,5		
1976	11,8	12,9	13,2	1,2	2,1	0,2	-12,8
	-12,1	-13,0	3,0	9,8	-3,0		
1977	-4,0	7,7	-9,5	-9,6	-11,4	-17,7	-14,7
	-12,1	-9,4	-12,9	-14,6	-10,6		
1978	-3,0	-24,4	-5,8	-7,9	16,3	5,8	6,1
	1,4	0,8	-6,2	-2,0	-0,9		
1979	-4,0	6,7	-3,0	-5,5	3,6	5,8	-8,2
	-5,0	1,4	-2,5	-4,7	-7,5		
1980	3,2	1,1	-8,5	-12,9	-3,5	-4,7	-1,7
	1,4	-5,2	-1,9	-3,4	-0,9		
1981	2,7	-3,2	-16,6	-5,5	7,6	11,5	9,4
	5,9	7,5	-5,0	2,6	4,7		
1982	9,4	0,6	2,4	-3,8	-8,2	-20,1	-19,3
	-23,6	-21,4	-20,2	-31,1	-21,3		
1983	-30,6	-33,3	-28,0	-17,0	6,0	-3,1	-7,6
	0,1	9,9	4,2	-0,7	0,1		
1984	1,3	5,8	-5,8	2,0	-0,3	-8,7	2,2
	2,7	2,0	-5,0	3,9	-1,4		
1985	-3,5	6,7	-2,0	14,4	2,8	-9,6	-2,3
	8,5	0,2	-5,6	-1,4	2,1		
1986	8,0	-10,7	0,8	1,2	-6,6	10,7	2,2
	-7,6	-5,2	6,1	-13,9	-13,6		
1987	-6,3	-12,6	-16,6	-24,4	-21,6	-20,1	-18,6
	-14,0	-11,2	-5,6	-1,4	-4,5		
1988	-1,1	-5,0	2,4	-1,3	10,0	-3,9	11,3
	14,9	20,1	14,6	21,0	10,8		
1989	13,2	9,1	6,7	21,0	14,7	7,4	9,4
	-6,3	5,7	7,3	-2,0	-5,0		
1990	-1,1	-17,3	-8,5	-0,5	13,1	1,0	5,5
	-5,0	-7,6	1,8	-5,3	-2,4		
1991	5,1	0,6	-10,6	-12,9	-19,3	-5,5	-1,7
	-7,6	-16,6	-12,9	-7,3	-16,7		
1992	-25,4	-9,3	-24,2	-18,7	0,5	-12,8	-6,9
	1,4	0,8	-17,2	-7,3	-5,5		
1993	-8,2	-7,9	-8,5	-21,1	-8,2	-16,0	-10,8
	-14,0	-7,6	-13,5	0,6	1,6		
1994	-1,6	0,6	-10,6	-22,8	-13,0	-10,4	-18,0
	-17,2	-17,2	-14,1	-7,3	-11,6		
1995	-4,0	-2,7	3,5	-16,2	-9,0	-1,5	4,2
	0,8	3,2	-1,3	1,3	-5,5		
1996	8,4	1,1	6,2	7,8	1,3	13,9	6,8
	4,6	6,9	4,2	-0,1	7,2		
1997	4,1	13,3	-8,5	-16,2	-22,4	-24,1	-9,5
	-19,8	-14,8	-17,8	-15,2	-9,1		
1998	-23,5	-19,2	-28,5	-24,4	0,5	9,9	14,6
	9,8	11,1	10,9	12,5	13,3		
1999	15,6	8,6	8,9	18,5	1,3	1,0	4,8
	2,1	-0,4	9,1	13,1	12,8		
2000	5,1	12,9	9,4	16,8	3,6	-5,5	-3,7
	5,3	9,9	9,7	22,4	7,7		
2001	8,9	11,9	6,7	0,3	-9,0	1,8	-3,0
	-8,9	1,4	-1,9	7,2	-9,1		

Apêndices - Os valores positivos do índice indicam eventos de La Niña e os valores negativos eventos de El Niño. A região do neutro está situada entre -5 e 5 no índice.

(continuação)

2002	2,7	7,7	-5,2	-3,8	-14,5	-6,3	-7,6
	-14,6	-7,6	-7,4	-6,0	-10,6		
2003	-2,0	-7,4	-6,8	-5,5	-7,4	-12,0	2,9
	-1,8	-2,2	-1,9	-3,4	9,8		
2004	-11,6	8,6	0,2	-15,4	13,1	-14,4	-6,9
	-7,6	-2,8	-3,7	-9,3	-8,0		
2005	1,8	-29,1	0,2	-11,2	-14,5	2,6	0,9
	-6,9	3,9	10,9	-2,7	0,6		
2006	12,7	0,1	13,8	15,2	-9,8	-5,5	-8,9
	-15,9	-5,1	-15,3	-1,4	-3,0		
2007	-7,3	-2,7	-1,4	-3,0	-2,7	5,0	-4,3
	2,7	1,5	5,4	9,8	14,4		
2008	14,1	21,3	12,2	4,5	-4,3	5,0	2,2
	9,1	14,1	13,4	17,1	13,3		
2009	9,4	14,8	0,2	8,6	-5,1	-2,3	1,6
	-5,0	3,9	-14,7	-6,7	-7,0		
2010	-10,1	-14,5	-10,6	15,2	10,0	1,8	20,5
	18,8	25,0	18,3	16,4	27,1		
2011	19,9	22,3					