

WALTER BATISTA JÚNIOR

**IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS FATORES DE OCORRÊNCIA DE
SECAS NA BACIA DO RIO GUANDU - ESPÍRITO SANTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

B333i
2012

Batista Júnior, Walter, 1963-

Identificação e avaliação dos fatores de ocorrência de secas
na bacia do rio Guandu-Espírito Santo / Walter Batista Júnior.
– Viçosa, MG, 2012.
xix, 127f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Flávio Barbosa Justino.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 118-127

1. Mudanças climáticas. 2. Impacto ambiental. 3. Secas.
4. Defesa civil. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

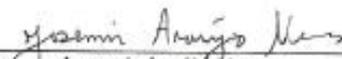
CDD 22. ed. 632.1

WALTER BATISTA JÚNIOR

**IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS FATORES DE OCORRÊNCIA DE
SECAS NA BACIA DO RIO GUANDU – ESPÍRITO SANTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

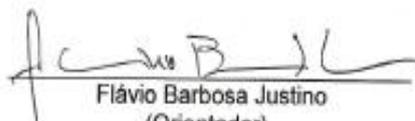
APROVADA: 20 de julho de 2012.


Josemir Araújo Neves


Welliam Chaves Monteiro da Silva


Genelício Crusóe Rocha


Júlio César Lima Neves
(Coorientador)


Flávio Barbosa Justino
(Orientador)

***“O caminho da sabedoria não consiste em crer, não crer ou duvidar!
O caminho da sabedoria consiste em inquirir, analisar, meditar e experimentar.
A verdade é o desconhecido de momento a momento.
A verdade nada tem que ver com o que alguém acredita ou o que deixe de
acreditar, nem tampouco com o ceticismo.
A verdade não é questão de aceitar ou de rejeitar.
A verdade é questão de experimentar, viver e compreender”.***

Samael Aun Weor

À minhas crianças

Sofia, Maha, Áian e Gandhi.

Que o caminho seja brando aos teus pés.

Que o vento sopra leve em teus ombros.

Que o Sol brilhe cálido em tuas faces.

Que as chuvas caiam serenas em teus campos.

E, até nos vermos novamente, que DEUS

os guarde nas Palmas das Mãos!

Dedico!

AGRADECIMENTOS

“E os que foram vistos dançando foram julgados insanos pelos que não conseguiam ouvir a música”
Friedrich Nietzsche

Ao Deus que habita em mim. Por me possibilitar saúde e força nesta travessia.
Aos meus pais Walter Batista e Natalina Aparecida Gonçalves Batista, que tanto lutaram para me ensinar a diferença entre o certo e errado. Vocês são o caminho norteador de minhas decisões ao longo desta vida.

À Alessandra, que tanto se esforça para que eu aprenda a controlar minha impaciente energia criadora.

À minha família Wiliam Jorge Batista e Maria Lúcia Batista, Ronaldo, Natalia, Ana Luiza e Dal, aos meus amigos Landão, João Wagner e Zé Manoel por agirem em diferentes formas na essência de minha vida.

À Dona Amélia; seu José Aziz e dona Iría; Michele, Flávio e Filipe; Aziz; Tio Paulo e Tia Maria; Tio Michel e Tia Neusa; Zizinho e Telma, por terem me aceitado com tanto carinho e respeito em sua família.

Ao seu Toninho e dona Nana, meus pais de “coração” em Viçosa.

A dona Regina, Didi, Ariadne, Wesley, Kamila, Anderson e Darcilene, Luiz Fernando e Carminha, Edu e Cristine, querido amigos que sempre estão em minhas preces.

Aos amigos Fabio Ahnert e Ricardo Valory, por acreditarem que podemos tornar o Espírito Santo um lugar melhor.

Ao prof. Vicente Wagner Dias Casali, por permitir nosso trabalho no Grupo Entre Folhas, melhor parte dos conhecimentos adquiridos neste período.

Aos Professores José Maria Nogueira da Costa e Flávio Barbosa Justino, que se revezaram no processo de orientação desta tese.

Aos amigos e Profs. Júlio Cesar Lima Neves e Genelício Crusoé Rocha, do Departamento de Solos da UFV e ao Dr. Clóvis Angeli Sansígolo, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela fundamental ajuda no processo de lapidação desta tese.

Ao Dr. Josemir Araujo Neves, da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), pilar da criação desta nova visão para, encararmos a seca no Estado do Espírito Santo.

A Maria de Fátima dos Santos, da EMPARN, que com paciência e dedicação construiu o mapa de Aptidão Agrícola do Estado do Espírito Santo, sem o qual não poderíamos realizar este novo índice.

Ao amigo Luiz Henrique Nobre Boff, do Instituto Estadual de meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo - IEMA pela inestimável ajuda no entendimento da dinâmica dos dados de precipitação desta tese.

Aos funcionários e professores do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, pelo apoio, pela amizade, pelos momentos de descontração e, em especial, a nossa secretária do Programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola Graça Soares – a funcionária pública mais eficiente deste país – sem você eu e muitos colegas do programa, teríamos perdidos todos os prazos deste doutorado.

Aos meus colegas Evandro Tche, Leo Rondônia, Paulo Ciclone, Evandro, Davi e Manuel por terem-me suportado nos momentos bons e ruins.

Ao amigo Gustavo “Tatá” D’angiolella, pois esta tese é tanto minha como sua. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro, para o desenvolvimento deste projeto e à UFV, pelos conhecimentos recebidos.

Ao Dr. José Gerado Ferreira da Silva e ao meteorologista Hugo Ely Ramos da Incaper.

Por fim, a todas as pessoas que de alguma forma incentivaram e contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho, humildemente agradeço!

BIOGRAFIA

Walter Batista Júnior nasceu a 27 de junho de 1963, filho de Walter Batista e Natalina Aparecida Gonçalves Batista, na cidade de São Paulo, São Paulo, onde passou sua infância e adolescência e aprendeu sobre a filosofia e arte Paulistana.

Em 1984 ingressou na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG, para em janeiro de 1989 colar grau como Engenheiro Agrônomo. Neste período aprendeu o poder da cultura Mineira.

Em março de 2001 volta à Viçosa, para ingressar no programa de pós-graduação em Fitotecnia, da UFV para, em 31 de julho de 2003, tornar-se mestre em Fitotecnia.

Em 2004 ingressa no Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo – IEMA, para atuar como apoio a tomada de decisão dos comitês de bacias hidrográficas, do Estado. Neste período funda o Fórum Capixaba de Mudanças Climáticas, pelo qual conhece vários municípios do Espírito Santo, aprendendo um pouco mais da vida do povo capixaba.

Em agosto de 2008 retorna mais uma vez à Viçosa, para ingressar no programa de pós-graduação em Meteorologia Agrícola, da UFV, para em julho de 2012 tornar-se doutor em Meteorologia Agrícola.

Continua sua caminhada por este Brasil, sempre exercendo a maravilhosa profissão de Engenheiro Agrônomo, na procura do aprendizado do que é ser Brasileiro.

SUMÁRIO

| | |
|---|-------|
| LISTA DE FIGURAS | xi |
| LISTA DE TABELAS | xiv |
| LISTA DE QUADROS | xv |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS | xvi |
| RESUMO | xviii |
| ABSTRACT | xix |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Por que a bacia do Rio Guandu e regiões adjacentes? | 4 |
| 1.1.1. Dados socioeconômicos da população | 5 |
| 1.1.2. Solos | 6 |
| 1.1.3. Clima | 6 |
| 1.1.4. Rede hidrográfica | 7 |
| 1.1.5. Hidrogeologia | 7 |
| 1.1.6. Usos das águas | 8 |
| 1.2. Hipótese da tese | 9 |
| 1.3. Objetivos gerais | 9 |
| 1.4. Objetivos específicos | 9 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 10 |
| 2.1. Desastres naturais | 10 |
| 2.2. Desastres naturais no Estado do Espírito Santo | 11 |
| 2.3. A ocorrência do fenômeno da seca no Espírito Santo | 11 |
| 2.4. A seca como um desastre natural | 15 |
| 2.5. Caracterizando o fenômeno da seca | 18 |
| 2.6. Tipos de seca | 16 |
| 2.6.1. Seca meteorológica | 20 |
| 2.6.2. Seca agrícola | 20 |
| 2.6.3. Seca hidrológica | 20 |
| 2.6.4. Seca socioeconômica | 21 |
| 2.7. Tipos de impactos ocasionados pelo fenômeno da seca | 21 |
| 2.8. Elaboração de planos para convivência com a seca | 23 |
| 2.9. Classificação das medidas de mitigação da seca | 23 |
| 2.9.1. Classificação em função do objetivo das medidas | 24 |
| 2.9.2. Classificações em função da abordagem de implementação | 25 |
| 2.9.3. Classificação baseada no prazo de execução das medidas | 26 |
| 2.10. Sistemas de alerta precoce contra a Seca | 28 |

| | |
|--|----|
| 2.11. Sistema de monitoramento de secas | 29 |
| 2.12. Indicadores de severidade de seca | 31 |
| 2.12.1. Índice de Precipitação Normalizada (SPI) | 34 |
| 2.12.2. Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca – ISFS | 41 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 44 |
| 3.1. Região de Estudo | 44 |
| 3.2. Obtenção e tratamento da base de dados climatológicos | 46 |
| 3.3. Uso de médias móveis para o calculo do SPI | 48 |
| 3.4. Uso de uma biblioteca do R para cálculo do SPI | 49 |
| 3.5. Desenvolvendo o calculo do SPI | 49 |
| 3.6. Análise Preliminar dos Dados de Precipitação | 51 |
| 3.7. Calculo da frequência dos eventos de seca | 52 |
| 3.8. Desenvolvendo o Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca (ISFS), para aplicação na bacia do rio Guandu | 54 |
| 3.8.1. Considerações iniciais | 54 |
| 3.8.2. Parametrização do Subindicador de Natureza Física – PV11 | 55 |
| 3.8.3. Parametrização do Subindicador de Natureza Climatológica – PV12 | 63 |
| 3.8.4. Parametrização do Subindicador de Natureza Socioeconômica – Efeito sobre a base Rural - PV131 | 64 |
| 3.8.5. Parametrização do Subindicador de Natureza Socioeconômica – Efeito Sobre a Base Econômica - PV132 | 65 |
| 3.8.6. Parametrização do Subindicador de Natureza Socioeconômica – Condições Municipais de Atenuação dos Efeitos da Seca - PV133 | 67 |
| 3.8.7. Parametrização do Subindicador: Risco de Perda da Produção Agrícola - PV21 | 68 |
| 3.8.8. Parametrização do Subindicador: Risco de Falta de Água para Consumo Humano e Animal - PV22 | 70 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 73 |
| 4.1. Considerações Iniciais | 73 |
| 4.1.1. Caracterização da precipitação na região em estudo | 73 |
| 4.2. Estudo do SPI para os diferentes tratamentos | 78 |
| 4.2.1. Estudo do SPI3 | 79 |
| 4.2.1.1. Estudo do SPI3 - Período em análise (1970-2002) | 79 |
| 4.2.1.2. Estudo do SPI3 - Décadas de 70, 80 e 90 | 82 |
| 4.2.2. Estudo do SPI6 | 86 |
| 4.2.2.1. Estudo do SPI6 - Período em análise (1970-2002) | 86 |
| 4.2.2.2. Estudo do SPI6 - Décadas de 70, 80 e 90 | 89 |
| 4.2.3. Estudo do SPI12 | 94 |

| | |
|---|-----|
| 4.2.3.1. Estudo do SPI12 - Período em análise (1970-2002) | 94 |
| 4.2.3.2. Estudo do SPI12 - Décadas de 70, 80 e 90 | 96 |
| 4.3. Desenvolvimento do Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca adaptado para o âmbito da bacia Hidrográfica do rio Guandu | 101 |
| 4.3.1. Resultados do ISFS – Períodos: 1993-1994, 1994-1995, 1996-1997 | 105 |
| 5. CONCLUSÕES | 117 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 118 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Participação no PIB (2005) – valores correntes set/2008 | 6 |
| Figura 2: Composição percentual da retirada de água na bacia do rio Guandu. | 8 |
| Figura 3: Desastres naturais (enchentes) no município de Cachoeiro do Itapemirim, em dezembro de 2010. Fonte: SILVA et al., 2011 | 11 |
| Figura 4: Distribuição dos eventos de estiagem e o número de suas ocorrências, nos municípios do Estado do Espírito Santo, período de 2000 a 2009. Os municípios apresentados em branco significam falta de informação. Fonte: Silva et al., 2011. | 12 |
| Figura 5: Prejuízos sociais, em milhões de Reais, causados pela estiagem, durante o período de 2000 a 2009. Fonte: Silva et al., 2011 | 13 |
| Figura 6: Prejuízos econômicos, em milhões de Reais, causados pela estiagem, durante o período de 2000 a 2009. Fonte: Silva et al., 2011 | 14 |
| Figura 7: Danos ambientais, em milhões de Reais, causados pela estiagem, durante o período de 2000 a 2009. Fonte: Silva et al., 2011 | 14 |
| Figura 8: Danos materiais, em milhões de Reais, causados pela estiagem, durante o período de 2000 a 2009. Fonte: Silva et al., 2011 | 15 |
| Figura 9: Proposta de sequência temporal dos diversos tipos de seca (adaptado de www.drought.unl.edu , 2010) | 19 |
| Figura 10: Processo de planejamento e gestão dos riscos das secas. Fonte: Neves, 2010. Adaptado de Rossi <i>et al.</i> , 2007. | 24 |
| Figura 11: Arquitetura do ISFS. Fonte: Neves, 2010. | 34 |
| Figura 12: Distribuição normal com o SPI tendo uma média de 0 e uma variância de 1 (Fonte: Fernandes, <i>et al.</i> , 2009). | 40 |
| Figura 13: Estrutura do ISFS - Fluxograma de Cálculo. Fonte: Neves, 2010. | 43 |
| Figura 14: Localização da região em estudo. | 44 |
| Figura 15: Mapa de localização das estações Pluviométricas da Agência Nacional de Água (ANA), presentes na área de estudo. | 47 |
| Figura 16: Pagina inicial do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (HidroWeb), da Agencia Nacional de Águas (ANA). | 50 |
| Figura 17: Visualização do Software Estatístico R, utilizado para o calculo do SPI. | 52 |
| Figura 18: Mapa de Aptidão Agrícola dos Solos Espírito Santo. | 55 |
| Figura 19: Gráfico da escala de pontuação o subindicador “Natureza Física - PV11”. | 59 |
| Figura 20: Distribuição do subindicador “Natureza Física” - PV11. | 59 |
| Figura 21: Gráfico da escala de pontuação para o subindicador “Natureza Climatológica - PV12”. | 63 |
| Figura 22: Histograma de distribuição do subindicador “Natureza Climatológica - PV12” | 64 |
| Figura 23: Histograma de distribuição do subindicador PV131. | 65 |

| | |
|---|-----|
| Figura 24: Gráfico da escala de pontuação utilizada para o subindicador “Natureza Socioeconômica” - Efeito Sobre a Base Econômica - PV132..... | 66 |
| Figura 25: Histograma de distribuição do subindicador “Natureza Socioeconômica” - Efeito Sobre a Base Econômica - PV132..... | 66 |
| Figura 26: Gráfico da escala de pontuação utilizada para o subindicador “Natureza Socioeconômica” - Condições Municipais de Atenuação dos Efeitos da Seca - PV133..... | 67 |
| Figura 27: Histograma de distribuição do subindicador “Natureza Socioeconômica” - Condições Municipais de Atenuação dos Efeitos da Seca - PV133..... | 68 |
| Figura 28: Gráfico da escala de pontuação utilizada para o subindicador - Risco de Perda da Produção Agrícola - PV21. Fonte: NEVES, 2010..... | 70 |
| Figura 29: Gráfico da escala de pontuação utilizada para o subindicador - Risco de Falta de Água para Consumo Humano e Animal - PV22. Fonte: NEVES, 2010... | 72 |
| Figura 30: Histograma de distribuição do subindicador “Risco de falta de água para consumo humano e animal” PV22..... | 72 |
| Figura 31: Mapas de precipitação (mm) na região em análise – anual, período chuvoso e seco..... | 75 |
| Figura 32: Mapa de localização e altitude (m) das estações em análise..... | 78 |
| Figura 33: Distribuição das frequências(%) de ocorrência de eventos de precipitação para o SPI3, durante o período em análise (1970-2002)..... | 79 |
| Figura 34: Distribuição das frequências(%) de ocorrência de eventos de precipitação para o SPI3, durante as Décadas de 70, 80 e 90. Os valores da classe “Normal” estão à frente do nome de cada estação pluviométrica..... | 82 |
| Figura 35: SPI 3 Frequências(%) médias na análise por décadas..... | 85 |
| Figura 36: Distribuição das frequências(%) de ocorrência de eventos de precipitação para o SPI6, durante o período em análise (1970-2002). Os valores da classe “Normal” estão à frente do nome de cada estação pluviométrica..... | 86 |
| Figura 37: Distribuição das frequências(%) de ocorrência de eventos de precipitação para o SPI6, durante as Décadas de 70, 80 e 90. Os valores da classe “Normal” estão à frente do nome de cada estação pluviométrica..... | 89 |
| Figura 38: SPI 6 Frequências(%) médias na análise por décadas..... | 92 |
| Figura 39: Distribuição das frequências(%) de ocorrência de eventos de precipitação para o SPI12, durante o período em análise (1970-2002). Os valores da classe “Normal” estão à frente do nome de cada estação pluviométrica..... | 94 |
| Figura 40: Distribuição das frequências(%) de ocorrência de eventos de precipitação para o SPI12, durante as Décadas de 70, 80 e 90. Os valores da classe “Normal” estão à frente do nome de cada estação pluviométrica..... | 96 |
| Figura 41: Frequências(%) médias na análise por décadas..... | 99 |
| Figura 42: Mapas de SPI mensais – Período: out/ 1994 à mar/1995..... | 102 |
| Figura 43: Mapas de SPI mensais – Período: out/ 1993 à mar/1994..... | 102 |
| Figura 44: Mapas de SPI mensais – Período: out/ 1996 à mar/1997..... | 103 |
| Figura 45: Índice de Distribuição de Chuvas (IDC) - Ano: 1994..... | 105 |

| | |
|--|-----|
| Figura 46: Índice de Distribuição de Chuvas (IDC) - Ano: 1995..... | 105 |
| Figura 47: Índice de Distribuição de Chuvas (IDC) - Ano: 1997..... | 106 |
| Figura 48: ISFS – 1994 – Resultado Preliminar..... | 107 |
| Figura 49: ISFS - 1995– Resultado Preliminar. | 107 |
| Figura 50: ISFS - 1997– Resultado Preliminar. | 108 |
| Figura 51: ISFS – 1994 – Mapa Final. | 108 |
| Figura 52: ISFS – 1995 – Mapa Final..... | 109 |
| Figura 53: ISFS – 1997 – Mapa Final..... | 109 |
| Figura 54: Perfil do ISFS pra o ano de 1994, município de Laranja da Terra. | 111 |
| Figura 55: Perfil do ISFS pra o ano de 1994, município de Baixo Guandu. | 111 |
| Figura 56: Perfil do ISFS pra o ano de 1995, município de Afonso Cláudio. | 112 |
| Figura 57: Perfil do ISFS pra o ano de 1995, município de Brejetuba. | 113 |
| Figura 58: Perfil do ISFS pra o ano de 1995, município de Baixo Guandu. | 113 |
| Figura 59: Perfil do ISFS pra o ano de 1995, município de Laranja da Terra. | 114 |
| Figura 60: Perfil do ISFS pra o ano de 1995, município de Afonso Cláudio. | 114 |
| Figura 61: Perfil do ISFS pra o ano de 1995, município de Baixo Guandu. | 115 |
| Figura 62: Perfil do ISFS pra o ano de 1997, município de Brejetuba. | 115 |
| Figura 63: Perfil do ISFS pra o ano de 1997, município de Laranja da Terra. | 116 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1: Distribuição da população na Bacia do Guandu | 4 |
| Tabela 2: Tabela com as definições de valores e classes do SPI. | 34 |
| Tabela 3: Descrição das estações da Agência Nacional de Águas – ANA | 45 |
| Tabela 4: Séries temporais do SPI utilizados no estudo | 49 |
| Tabela 5: Correlação entre as estações, para preenchimento de falhas. | 51 |
| Tabela 6: Descrição dos Grupos de Aptidão Agrícola utilizadas no Espírito Santo | 56 |
| Tabela 7: Resultado da classificação da aptidão agrícola de solos do ES. | 57 |
| Tabela 8: Resultados do subindicador “Natureza Física - PV11” | 60 |
| Tabela 9: Classificação utilizada para o Índice de Distribuição de Chuvas..... | 69 |
| Tabela 10: Altitudes (m) e Médias de precipitação (mm), para as estações em estudo. Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2011)..... | 74 |
| Tabela 11: Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos dados de SPI3, (1970-2002) considerando as estações pluviométricas da bacia do rio Guandu/ES. | 80 |
| Tabela 12: Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos dados de SPI3, para as Décadas de 70, 80 e 90, considerando as estações pluviométricas da bacia do rio Guandu/ES..... | 84 |
| Tabela 13: Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos dados de SPI6, (1970-2002) considerando as estações pluviométricas da bacia do rio Guandu/ES. | 87 |
| Tabela 14: Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos dados de SPI6, para as Décadas de 70, 80 e 90, considerando as estações pluviométricas da bacia do rio Guandu/ES..... | 91 |
| Tabela 15: Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos dados de SPI12, (1970-2002) considerando as estações pluviométricas da bacia do rio Guandu/ES. | 95 |
| Tabela 16: Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos dados de SPI12, para as Décadas de 70, 80 e 90, considerando as estações pluviométricas da bacia do rio Guandu/ES..... | 98 |
| Tabela 17: Tabela de referência para classificação do ISFS, ajustada as condições da Bacia do rio Guandu | 103 |
| Tabela 18: Variáveis consideradas nos cálculos do ISFS. | 104 |
| Tabela 19: Resultados da classificação do ISFS..... | 110 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1: Impactos econômicos, ambientais e sociais da seca. | 22 |
| Quadro 2: Classificação consolidada das medidas de mitigação da seca. | 25 |
| Quadro 3: Medidas de mitigação propostas pelo Grupo de Escasses de Água da Comunidade Européia. | 28 |
| Quadro 4: Resumo dos índices de seca, sendo: P – Precipitação, T – Temperatura, US – Umidade do Solo, S – Semanal, M – Mensal, A – Anual. | 32 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

| | |
|-----------|--|
| \bar{x} | Média aritmética da precipitação pluvial (mm); |
| AMUNES | Associação dos Municípios do Estado do Espírito Santo |
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| AR4 | Quarto Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas |
| CBH | Comitês das Bacias Hidrográficas |
| CERH | Conselho Estadual de Recursos Hídricos |
| CESAN | Companhia Espírito Santense de Saneamento |
| CRED | Centro para a Investigação sobre a Epidemiologia dos Desastres |
| D | Índice dos Decis |
| DNOS | Departamento Nacional de Obras de Saneamento |
| EM-DAT | <i>Emergency Events Database</i> |
| EMPARN | Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte |
| FAES | Federação da Agricultura e Pecuária do Estado |
| FETAES | Federação dos Trabalhadores na Agricultura do Estado |
| $G(x)$ | Distribuição cumulativa teórica |
| $H(x)$ | Distribuição de probabilidade cumulativa; |
| IAC | Instituto Agrônômico de Campinas |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IBM | Índice de Bhalme e Mooley |
| IDAF | Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal |
| IEMA | Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos |
| IFS | Índice FUNCEME de Severidade à Seca |
| IMERG | Indicador de Emergência |
| IMP | Instituto de Meteorologia de Portugal |
| INCAPER | Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| IPCC | Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas |
| IPN | Índice de Percentagem Normal |
| ISFS | Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca |
| JRC | Joint Research Centre |
| ln | Logaritmo neperiano; |

| | |
|------------------|--|
| m | Número de ordem dos valores de zero em uma série climatológica |
| MPE | Ministério Público Estadual |
| MPF | Ministério Público Federal |
| N | Número de observações de precipitação |
| n | Tamanho da amostra. |
| NDI | Índice de Seca NOAA |
| OECD | Organization for Economic Co-Operation and Development |
| ONG | Organização Não Governamental |
| ONU | Organizações das Nações Unidas |
| PARH | Plano de Ação de Recursos Hídricos |
| PDSI | Índice de Severidade de Seca de Palmer |
| PSA | Pagamento Por Serviços Ambientais |
| q | Probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros); |
| R | Programa Estatístico Livre |
| RUNOFF | Escoamento Superficial |
| SAAE | Serviço Autônomo de Água e Esgoto |
| SEAG | Agricultura, do Abastecimento, Aquicultura e Pesca |
| SEAMA | Secretaria do meio Ambiente |
| SEDU | Secretaria da Educação |
| SEDURB | Secretaria de Estado de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano |
| SPI | Índice de Precipitação Normalizada |
| SUORE | Subgerência de Outorga e de Hidrológica |
| TAC | Termo de Ajustamento de Conduta |
| UA | Unidade de Análise |
| UNCCD | Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação |
| VCAN | Vórtice Ciclônico em Altos Níveis |
| $X > 0$ | Total de precipitação (mm); |
| Z | Índice de anomalia de umidade |
| Z | Variável aleatória normalizada, com média zero e desvio padrão 1 |
| ZCAS | Zona de Convergência do Atlântico Sul |
| $\alpha > 0$ | Parâmetro de forma (adimensional); |
| $\beta > 0$ | Parâmetro de escala (mm); |
| $\Gamma(\alpha)$ | Função gama. |

RESUMO

BATISTA JUNIOR, Walter, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2012. **Identificação e avaliação dos fatores de ocorrência de secas na bacia do rio Guandu - Espírito Santo.** Orientador: Flávio Barbosa Justino. Coorientador: Júlio Cesar Lima Neves e José Geraldo Ferreira da Silva.

A fim de compreender a dinâmica de seca relacionada com o clima e para identificar o grau de suscetibilidade dos municípios que configuraram a bacia do Rio Guandu para o fenômeno da seca, este estudo aplicou o Índice Padronizado de Precipitação (SPI em Inglês) e o Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca (ISFS). A partir da utilização de series temporal das precipitações mensais, de 33 anos de dados, oriundas de 14 estações pluviométricas da Agência Nacional de águas (ANA) dispostas dentro e no entorno da Bacia do Rio Guandu. As séries resultantes do SPI foram obtidas a partir das médias móveis de 3, 6 e 12 meses (SPI3, SPI6 e SPI12) em diferentes tratamentos para o estudo das décadas de 70, 80 e 90. A avaliação dos tratamentos realizados, para o SPI apresentam os seguintes resultados: Incidência de maior ocorrência de secas meteorológicas ou agrícolas, nas partes central e norte da bacia, com reflexos diretos sobre as culturas de ciclo curto; as secas hidrológicas podem acontecer ao longo de toda a bacia, com reflexos diretos sobre culturas perenes; maior incidência de eventos secos e chuvosos na década de 90, colocando a região em estudo sobre ameaça de ocorrência de secas (meteorológicas, agrícolas e hidrológicas), mais intensas e de enchentes mais frequentes. Como consequência, os resultados aqui encontrados validam a utilização do SPI, para caracterização de diferentes tipos de secas, com o auxílio de médias móveis de precipitação para o cálculo do índice. Com relação ao estudo do ISFS, os resultados demonstram a viabilidade de sua utilização para estudos no âmbito de bacias hidrográficas e também validam a sua utilização em regiões exteriores ao semiárido nordestino.

ABSTRACT

BATISTA JUNIOR, Walter, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2012.
Identification and evaluation of factors in the occurrence of droughts Guandu River Basin– Espírito Santo. Advisor: Flávio Barbosa Justino.
Co-advisors: Júlio Cesar Lima Neves and José Geraldo Ferreira da Silva.

In order to understand the dynamics of climate-related drought and to identify the degree of susceptibility of the municipalities that configured the Guandu River basin to the drought phenomenon, this study applied the Standardized Precipitation Index (SPI) and the Index of Susceptibility to Drought (ISD), by using time series of monthly precipitation from 33 years of data, derived from 14 rainfall stations of the National Water Agency (ANA) in and in the vicinity of the Guandu River Basin. It has been utilized series of SPI obtained from moving averages of 3, 6 and 12 months (SPI3, SPI6 and SPI12) under different treatments to study the 1970, 1980 and 1990 decades. Based on these evaluation has been concluded: Higher frequency of occurrence of droughts, in the central and northern basin, with direct consequences on the crops of short cycle, hydrological droughts can happen over throughout the basin, with direct consequences on perennial crops. The 90's decade showed greater incidence of dry and wet events as compared to 70's and 80's, which may reveal that the region is experience higher occurrence of drought (meteorological, hydrological and agricultural), well as more intense and frequent floods. Consequently, the present results validate the use of SPI to characterize different types of droughts, by using moving averages to calculating the precipitation rate. Concerning the study of the ISFs, the results demonstrate the feasibility of its use in the context of hydrological basin and also in semiarid regions outside of the Northeast in Brazil.

1. INTRODUÇÃO

Desde o início do século XXI, em função da massiva divulgação através da mídia ou pelo sucesso de programas de educação ambiental promovidas pelo governo ou por ONGs, o cidadão comum começa a tomar consciência da necessidade do monitoramento ambiental. Não obstante, ainda é difícil assumir a responsabilidade pelo uso incorreto dos recursos naturais indispensáveis ao desenvolvimento sustentável.

Há algumas décadas a consciência coletiva sobre as relações humanas com o meio ambiente vem ganhando força. Em muito se deve à apresentação pública do Quarto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (AR4 - IPCC, em inglês) sobre as causas e impactos das mudanças climáticas globais. Os modelos matemáticos utilizados pelo IPCC indicam que até o ano de 2100, poderemos observar uma elevação na temperatura média da Terra em uma faixa que vai de 1,8 a 4°C. Sendo que no pior dos cenários, essa elevação pode chegar a 6,4°C, com consequências catastróficas para os ecossistemas e a humanidade (IPCC, 2007).

Várias projeções, com diferentes cenários e taxas de emissão de gases pela atividade humana que causam o efeito-estufa, têm previsto um aquecimento global na superfície terrestre. Outras alterações previstas nessas simulações são o aumento da precipitação, maior ocorrência de precipitações intensas originadas por processos convectivos, maior frequência de cheias e ocorrências de secas mais severas e mais prolongadas (HOUGHTON *et al.*, 1996; KARL *et al.*, 1996).

Na esteira das repercussões destes estudos formou-se uma discussão em torno do tema, na qual diferentes grupos com visões antagônicas tentam influenciar as decisões a serem tomadas. Independente de qual corrente prevaleça neste debate, o que tem sido observado é um aumento na quantidade de desastres naturais (como chuvas intensas, vendavais e furacões, grandes secas, dentre outros) com grande poder de destruição. À intensidade desses eventos, soma-se a dificuldade de gerenciamento de planos para a adaptação e a atenuação de seus efeitos, devido à impossibilidade de prevê-los com exatidão (BRASIL, 2008).

Este aumento gradativo, na quantidade de eventos climáticos extremos e sua relação com as mudanças climáticas globais não foram, até o momento, totalmente compreendidos. Isto torna premente a implantação de políticas públicas de adaptação a esta nova realidade (KOBİYAMA *et al.*, 2006).

Segundo Marengo *et al.*, (2007) o aumento da temperatura, decorrente das mudanças climáticas, já está afetando globalmente sistemas físicos (clima, recursos hídricos, nível do mar), biológicos (ecossistemas naturais, distribuição de espécies), assim como a sociedade (saúde humana, disponibilidade hídrica, transporte fluvial, desastres naturais).

Estudos indicam que o Brasil já está vulnerável ao atual cenário de mudanças climáticas, especialmente quanto aos extremos climáticos. As áreas mais vulneráveis compreendem a Amazônia e o Nordeste do Brasil, como mostrado em estudos recentes (AMBRIZZI *et al.*, 2007; MARENGO, 2007; MARENGO *et al.*, 2007).

Segundo o IPCC (IPCC, 2007a), os impactos socioambientais das mudanças climáticas devem aumentar significativamente até o final do século, já que todos os modelos climáticos preveem um clima mais quente, excesso ou falta de chuva em diferentes áreas, um ciclo hidrológico mais intenso e um aumento do nível do mar, mesmo no cenário mais otimista. É importante ressaltar, contudo, que os diversos modelos utilizados no IPCC-AR4 divergem com relação à intensidade destas mudanças e quando e onde irão acontecer, especialmente para precipitação (IPCC, 2007b).

Dessa forma, o conhecimento sobre possíveis cenários climático-hidrológicos futuros e as suas incertezas pode ajudar a estimar demandas de água no futuro e também a definir políticas ambientais de uso e gerenciamento de água para o futuro (SANTOS; SANSIGOLO, 2011).

Dentro deste contexto, a seca é um fenômeno de origem “natural” que se caracteriza pela diminuição da disponibilidade média de água num determinado território e durante certo período de tempo. A combinação das alterações do clima, na forma de falta de chuva ou pouca chuva acompanhada de altas temperaturas e altas taxas de evaporação, e com competição por recursos hídricos, pode levar a uma crise potencialmente catastrófica, sendo a agricultura o setor mais vulnerável (MARENGO *et al.*, 2007).

A seca, é portanto, um fenômeno decorrente das alterações nos padrões de precipitação e a redução da quantidade de água precipitada, nas suas diferentes formas (chuva, granizo, neve) em relação aos níveis habituais. Situações de stress hídrico podem provocar alterações nos ecossistemas que dependem direta ou indiretamente da chuva (rios, lagos, floresta), e assim causar perturbações no funcionamento normal das atividades humanas, tais como a agricultura; a navegação, a produção de energia elétrica, entre outros (WILHITE *et al.*, 1993).

Ao contrário de outros desastres naturais; como enchentes, terremotos e furações, a seca tem um efeito silencioso, porém não menos grave que esses fenômenos anteriormente citados. A explicação está no seu comportamento lento e na sua periodicidade (NEVES, 2010).

Devido à elevada complexidade relativa ao estudo do fenômeno, Blain (2005) concorda sobre a inexistência de uma definição (universal) da seca, que seja válida para toda e qualquer região, período e atividade humana.

Em consequência, o estabelecimento de um procedimento padrão para o monitoramento e quantificação dessa anomalia climática, tem se mostrado, extremamente difícil (BLAIN, 2011).

Além do monitoramento, o planejamento de ações para minimizar os efeitos da seca requer a previsão de sua ocorrência com certa antecedência. Atualmente, o desenvolvimento de ferramentas apropriadas para a previsão e alerta antecipado contra seca permanece um desafio (MORAIS *et al.*, 2008).

Como pressuposto para o desenvolvimento deste trabalho, entende-se que as mudanças climáticas, causadas pelo aquecimento global, tendem a aumentar a temperatura e, conseqüentemente, a evaporação da água presente no solo e mananciais, com provável redução da disponibilidade hídrica (déficit hídrico). Isto está diretamente associado a impactos sociais, econômicos e ambientais e, provavelmente, na qualidade de vida das populações de diferentes regiões.

É certo notar que em pequenas escalas espaciais, os transtornos causados pela seca são ainda maiores. Por exemplo, no Estado do Espírito Santo, região de estudo são constantemente observados conflitos causados em decorrência do uso da água e diversas localidades rurais (VALORY, 2010).

1.1. Por que a bacia do Rio Guandu e regiões adjacentes?

Com uma área aproximada de 46.078 km², aproximadamente 0,53% do território brasileiro, e inserido em um dos mais importantes polos de desenvolvimento econômico e social do país, a região sudeste, o Estado do Espírito Santo reúne municípios que compõe a chamada Região de Entorno das áreas semiáridas e subúmidas secas, cujas características climáticas apontam uma elevada susceptibilidade ao processo de desertificação (BRASIL, 2004; MOREIRA; TARGINO, 2010; IICA, 2012).

A região de atuação do presente projeto está localizada na Bacia do Rio Guandu, a qual é composta pelos municípios Afonso Cláudio, Brejetuba, Laranja da Terra e Baixo Guandu, totalizando uma área de 2148,61km² cuja economia está voltada para a produção de café, pecuária e fruticultura, com predomínio da agricultura familiar. Esta região, que é um afluente do Rio Doce, foi escolhida para o desenvolvimento desta pesquisa por apresentar considerável grau de degradação ambiental e por se mostrar vulnerável às secas.

As regiões adjacentes à bacia do rio Guandu, também terão suas condições pluviométricas estudadas e posterior caracterização de seus eventos extremos. Os dados são provenientes da Agência Nacional de Águas e são compatíveis aos encontrados nas estações no interior da bacia.

Uma bacia hidrográfica deve ser estudada não só do ponto de vista de sua rede de drenagem, mas também, conforme sua complexidade ambiental, física, socioeconômica e cultural (NASCIMENTO, 2010).

Dentro desta perspectiva, a metodologia de trabalho aqui utilizada, considera que enquanto os desastres naturais não puderem ser evitados, as avaliações de risco e as medidas de prevenção e mitigação podem evitar perdas de vidas e danos socioeconômicos.

A condição essencial para tais ações é a existência de um sistema de monitoramento capaz de fornecer informações precisas e seguras, com o tempo necessário para se tomar as devidas medidas.

Dentro deste contexto, em função de eventos de extremos de precipitação e pelo mau uso dos recursos hídricos, a região da bacia hidrográfica do rio Guandu está sendo negativamente impactada por repetidas ocorrências de cheias e em especial de estiagem (Silva *et al.*, 2011) além de acirramento de conflitos pelo uso da água.

As informações abaixo foram obtidas junto ao relatório referente ao Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Análise Guandu - PARH Guandu (2010), o qual é parte integrante do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e Planos de Ações para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce.

1.1.1. Dados socioeconômicos da população

A região da bacia do rio Guandu abrange total ou parcialmente 4 municípios (Afonso Cláudio, Baixo Guandu, Brejetuba e Laranja da Terra), com uma população aproximada de 71 mil pessoas.

Observa-se uma disparidade entre a população urbana e rural residente nos municípios da Bacia conforme demonstram os dados na Tabela 1. É sabido que historicamente, o meio rural é mais dependente/vulnerável a eventos extremos de seca.

Desta forma a avaliação da ocorrência destes eventos ao longo das 3 últimas décadas é extremamente relevante, no que tange a formulação de políticas públicas de mitigação dos efeitos da seca.

Tabela 1: Distribuição da população na Bacia do Guandu.

| Município | Total | Urbana | Rural |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Afonso Cláudio | 29.150 | 14.030 | 15.120 |
| Baixo Guandu | 20.506 | 15.451 | 5.055 |
| Brejetuba | 10.949 | 2.785 | 8.164 |
| Laranja da Terra | 10.802 | 3.018 | 7.784 |
| Total | 71.407 | 35.284 | 36.123 |

A soma dos PIB municipais na bacia revela um perfil onde predominam o setor de serviços, respondendo por 55% do PIB. O setor agropecuário responde por 30%, e o industrial por 11% (Figura 1).

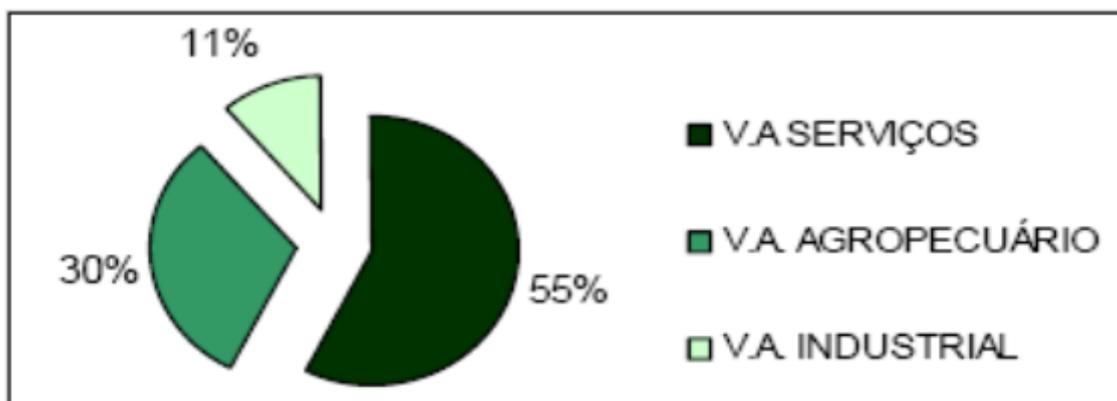


Figura 1: Participação no PIB (2005) – valores correntes set/2008.

1.1.2. Solos

Os solos são apresentados de forma sucinta a seguir, devido sua relação com os processos erosivos e a qualidade e a quantidade de água superficial. A região da Bacia do Rio Guandu desenvolve-se sobre terreno forte ondulado a montanhoso, bastante movimentado, sobre argissolos vermelhos, cambissolos háplicos e latossolos vermelho-amarelos. Destas classes, os Argilossolos são os de maior erodibilidade e os Latossolos, os de menor.

Em geral, os solos da bacia são bem desenvolvidos, profundos e bem drenados. Quimicamente, predominam solos ácidos, com limitações de fertilidade. A principal limitação destes solos é o relevo. Tendo em vista que a quase totalidade da área ocupada está em relevo forte ondulado e/ou montanhoso, e, devido ao problema da grande susceptibilidade à erosão que esses tipos de solos apresentam, sua utilização torna-se restrita ao uso com pastagens e culturas permanentes de ciclo longo, tais como café e citrus.

1.1.3. Clima

Sua diversidade climática é decorrente da topografia acidentada, da simultaneidade da influência marítima e continental e da localização da mesma. Com relação ao regime pluvial, verifica-se a existência de dois períodos bem definidos: um chuvoso, de outubro a março, com as maiores precipitações, ocorrendo em dezembro; e um período de estiagem, que se estende de abril a setembro, com mínimas registradas em agosto.

As chuvas que ocorrem durante o período chuvoso (que compreende as estações da primavera e verão no Hemisfério Sul) estão associadas principalmente à instabilidade termodinâmica (altas temperaturas e umidade do

ar) e os principais sistemas atmosféricos atuantes durante este período são a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e ao Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN), que durante este período está localizado no nordeste do Brasil (NÓBREGA *et al.*, 2008).

Estas chuvas costumam ocorrer em forma de pancadas e de maneira localizada, geralmente acompanhadas de fortes rajadas de vento, trovoadas e com ocasional queda de granizo (chuvas convectivas). São chuvas que ocorrem principalmente no final da tarde.

Conforme os dados de precipitação estudados, a distribuição de chuva na bacia é heterogênea, variando entre 68,48 mm a 183,02 mm no mês menos chuvoso (fevereiro e março) e entre 163,26 mm a 256,52 mm nos meses mais chuvosos (novembro e dezembro).

Já no período seco (que compreende as estações do outono e inverno no Hemisfério Sul), as chuvas costumam ocorrer principalmente no período da noite e da madrugada, ocorrendo de maneira mais duradoura e em forma de garoa. Os índices médios da precipitação neste período costumam variar entre 9,49 mm a 30,25 mm nos meses mais secos (junho e julho) e entre 27,14 mm e 103,94 mm no mês menos seco (abril), Tabela10.

1.1.4. Rede hidrológica

O regime fluvial da região acompanha a pluviosidade. Os níveis máximos ocorrem em janeiro e fevereiro e decrescem a partir de abril quando se inicia a época mais seca, atingindo o seu mínimo geralmente em setembro. O rio Guandu, principal rio da região, estende-se por cerca de 160 km desde suas nascentes até a foz no rio Doce, drenando uma área de 2.136 km². Seus principais afluentes na porção alta da sub-bacia são os rios São Domingos, do Peixe e Boa Sorte.

1.1.5. Hidrogeologia

Cerca de 96% da bacia rio Guandu situa-se sobre os sistemas aquíferos fissurados das rochas cristalinas, cujo substrato são rochas granitoides de composições diversas. Os restantes 4% estão localizados sobre aquíferos granulares ou porosos.

Os aquíferos granulares ou porosos são bons produtores de água subterrânea, podendo ser utilizados para exploração de água para usos consuntivos. Neste sentido, mudanças na quantidade de água disponível ao longo do rio podem causar sérios riscos às águas subterrâneas.

1.1.6. Usos das águas

O uso predominante da água na bacia do rio Guandu é a irrigação, representando 86,3 % das retiradas estimadas. O abastecimento humano é o segundo maior uso consuntivo, respondendo por aproximadamente 9 % das retiradas. O uso industrial e a dessedentação animal são pouco expressivos na unidade, Figura 2.

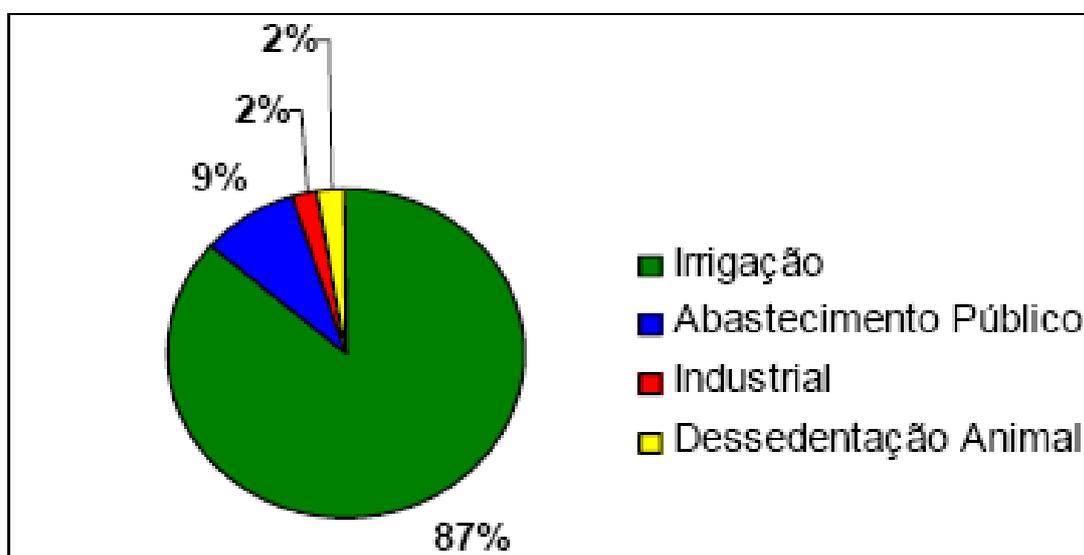


Figura 2: Composição percentual da retirada de água na bacia do rio Guandu.

Com relação às outorgas pelo uso da água, segundo informações obtidas junto à subgerência de outorga e rede hidrometeorológica (SUORE) do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA), até o primeiro semestre de 2012 existiam cerca de 500 processos de outorga de direito de uso de recursos hídricos na bacia do rio Guandu, sendo que 164 usuários já estão regularizados.

A vazão de referência para outorga no Estado do Espírito Santo é a Q90, sendo passíveis de outorga 50% desta, conforme a Instrução Normativa IEMA nº. 013/09, de 10 de dezembro de 2009, que altera a Instrução Normativa nº. 019/05.

Segundo PROJETO ÁGUAS LIMPAS (2009), a Q90 estimada é em torno de 7,0 m³/s, ou seja, 7.000,0 l/s, portanto o limite de consumo de água passível de ser outorgada é em torno de 3500,0 l/s na foz da Bacia do Rio Guandu.

1.2. Hipótese da tese

É possível desenvolver um diagnóstico de eventos de secas, na bacia do rio Guandu através do uso de Índice de Precipitação Normalizada (SPI em Inglês) e do Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca (ISFS), que forneça subsídios aos gestores públicos na tomada de decisão, quando da ocorrência deste evento na região.

1.3. Objetivos gerais

O presente trabalho teve por objetivo desenvolver uma metodologia para aplicação do Índice de Precipitação Normalizada (SPI), no diagnóstico de eventos de secas na bacia do Rio Guandu e adaptar o Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca (ISFS), para utilização no âmbito de bacias hidrográficas, com o intuito de propor diretrizes para ações mitigadoras deste fenômeno, fornecer técnicas de manejo de risco e não de crise, ou seja, estar preparado para lidar com a seca antes que ela se estabeleça.

1.4. Objetivos específicos

1) Avaliar a frequência de eventos extremos de seca na bacia do Rio Guandu, através do uso do Índice de Precipitação Normalizada – SPI, para o período de 1970 a 2002;

2) Adaptar o Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca – ISFS, para utilização a nível das bacias hidrográficas, em especial para a bacia do Rio Guandu – Espírito Santo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Desastres naturais

Os desastres naturais são distinguidos principalmente em função de sua origem, isto é, da natureza do fenômeno que o desencadeia (TOBIN; MONTZ, 1997), estando diretamente vinculados à história do homem e ao seu modo de apropriação dos recursos naturais. Esta situação data desde a formação dos primeiros agrupamentos humanos até a concepção das atuais cidades modernas.

Ao longo da história humana, inúmeros são os exemplos, em que os desastres naturais causaram centenas de milhares de perdas de vidas humanas. Entretanto, nas últimas décadas, as pesquisas e os fatos têm demonstrado que houve um aumento considerável não só na frequência dos desastres naturais, mas também em sua intensidade. Isto resultou em sérios danos e prejuízos socioeconômicos. De acordo com o IPCC, este cenário pode estar vinculado ao aquecimento global, como uma das consequências diretas das mudanças climáticas (IPCC, 2007).

Os desastres naturais fazem parte do ambiente em que vivemos afetando a vida de um grande número de pessoas em todo o mundo. Em geral, suas principais implicações estão relacionadas a prejuízos materiais, econômicos e perdas de vidas humanas. Dentre todos os desastres naturais, aproximadamente 85% estão diretamente relacionados ou associados com adversidades climáticas, sendo inundações e secas os fenômenos ambientais mais impactantes (KOGAN, 1997).

Longos períodos chuvosos acarretam prejuízos para a infraestrutura das cidades. Por outro lado, períodos de estiagem prolongada afetam principalmente a gestão da energia hidroelétrica, o abastecimento de água, a agricultura e pecuária. Uma melhor compreensão da variabilidade dos extremos de chuvas pode auxiliar tanto a ação da defesa civil quanto fornecer elementos para o planejamento de infraestrutura adequada para lidar com os eventos intensos com um mínimo de perdas (ALTAMIRANO, 2010).

2.2. Desastres naturais no Estado do Espírito Santo

O passivo histórico materializado pela construção de cidades inteiras às margens de importantes rios ou nas íngremes encostas das montanhas faz do Espírito Santo um Estado com muitas áreas de risco. E a situação de risco têm se comprovado em diversas oportunidades ao longo da história capixaba, principalmente em eventos relacionados a deslizamentos de terra e inundações (Figura 3) provocados por chuvas (SILVA *et al.*, 2011).

Após levantamentos de dados, analisados pela Defesa Civil Estadual referente aos desastres que atingiram o Estado do Espírito Santo entre os anos 2000 e 2009, constata-se que sete tipos de desastres atingem o Estado do Espírito Santo: inundação gradual, inundação brusca, vendaval, granizo, deslizamento, estiagem e erosão marinha. (SILVA *et al.*, 2011).



Figura 3: Desastres naturais (enchentes) no município de Cachoeiro do Itapemirim, em dezembro de 2010. Fonte: SILVA *et al.*, 2011.

2.3. A ocorrência do fenômeno da seca no Espírito Santo

Segundo Silva *et al.*, (2011) a estiagem gerou ao longo da década de 2000 à 2009, significativos prejuízos econômicos sociais e ambientais em diferentes regiões do Estado do Espírito Santo. A seca foi o segundo desastre que mais ocorreu no Estado: 69 ocorrências na última década.

Os danos humanos ocasionados pela estiagem são menores quando comparados com os danos provocados pelas chuvas fortes, mas os prejuízos econômicos e sociais são grandes.

Esse tipo de desastre tem efeitos prolongados sobre a sociedade, devido, por exemplo, à perda de colheitas e dificuldade de pagar financiamentos realizados em função do investimento em sementes e fertilizantes. E na maioria dos casos a produção agrícola se revela como única fonte de renda dos afetados, o que faz com que os efeitos do desastre reverberem no tempo.

Na Figura 4 pode-se observar a distribuição espacial da estiagem e sua quantidade de ocorrências no Estado.

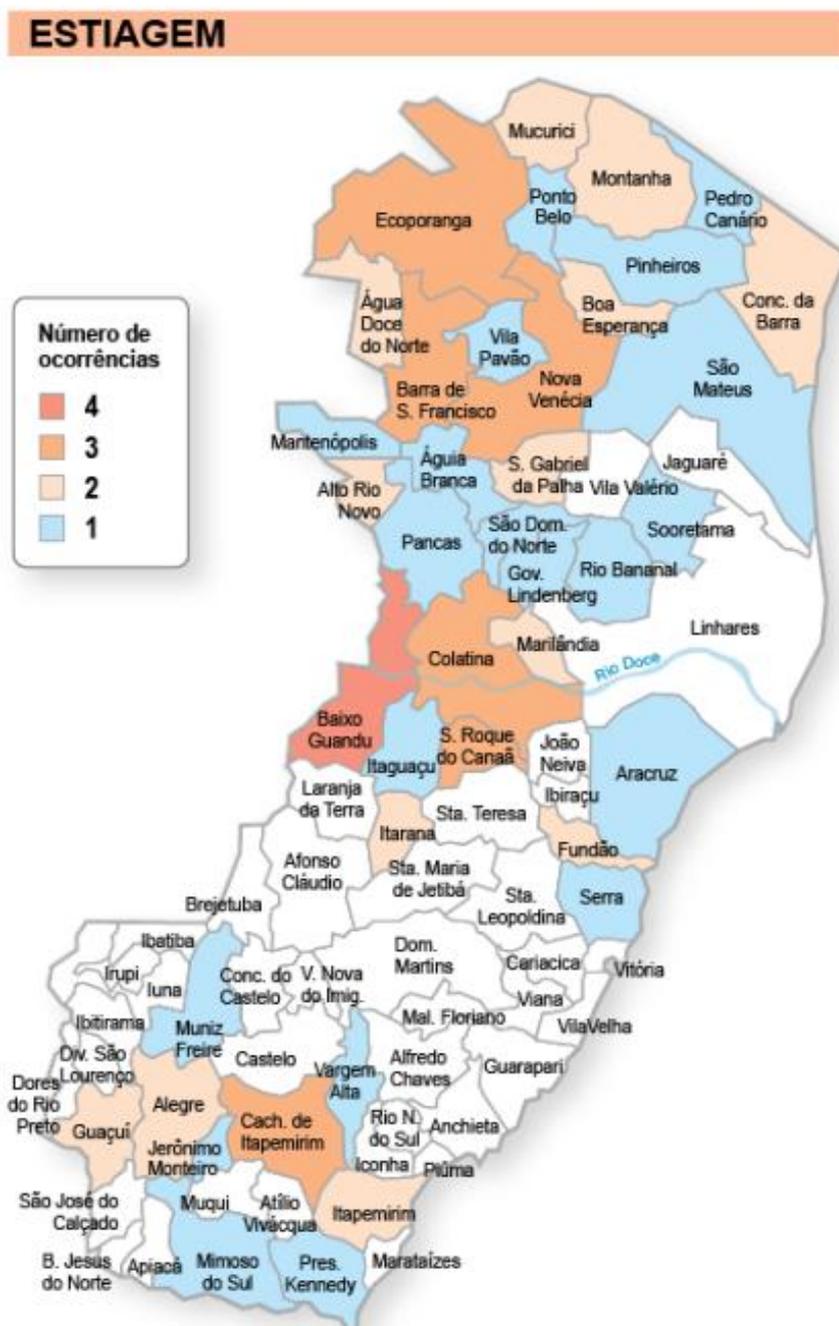


Figura 4: Distribuição dos eventos de estiagem e o número de suas ocorrências, nos municípios do Estado do Espírito Santo, período de 2000 a 2009. Os municípios apresentados em branco significam falta de informação. Fonte: *Silva et al., 2011.*

Os números apresentados a seguir, foram coletados em documentos oficiais de decretação de situação anormal, os quais podem ser originários de uma situação de emergência ou estado de calamidade pública (Silva *et al.*, 2011).

Segundo informações obtidas junto ao Corpo de Bombeiros do Espírito Santo, em função da falta de estrutura de órgãos locais de defesa civil, combinada com estruturas deficientes de secretarias municipais de meio ambiente e de agricultura, diferentes municípios deixaram de formatar esses processos ou o fizeram com números subdimensionados.

Assim, a realidade dos prejuízos causados pela estiagem, no Estado do Espírito Santo devem ser mais impactantes.

O montante dos prejuízos sociais, econômicos e danos ambientais e matérias, bem como os segmentos mais afetados pelo fenômeno, são apresentados nos Figuras 5, 6 e 7, a seguir.

Os prejuízos sociais se referem aos serviços essenciais que deixaram de ser prestados, como transporte, comunicação, esgoto, gás, coleta e tratamento de lixo, saúde, interrupção de aulas e prejuízos em pontos de abastecimento públicos de alimentos.

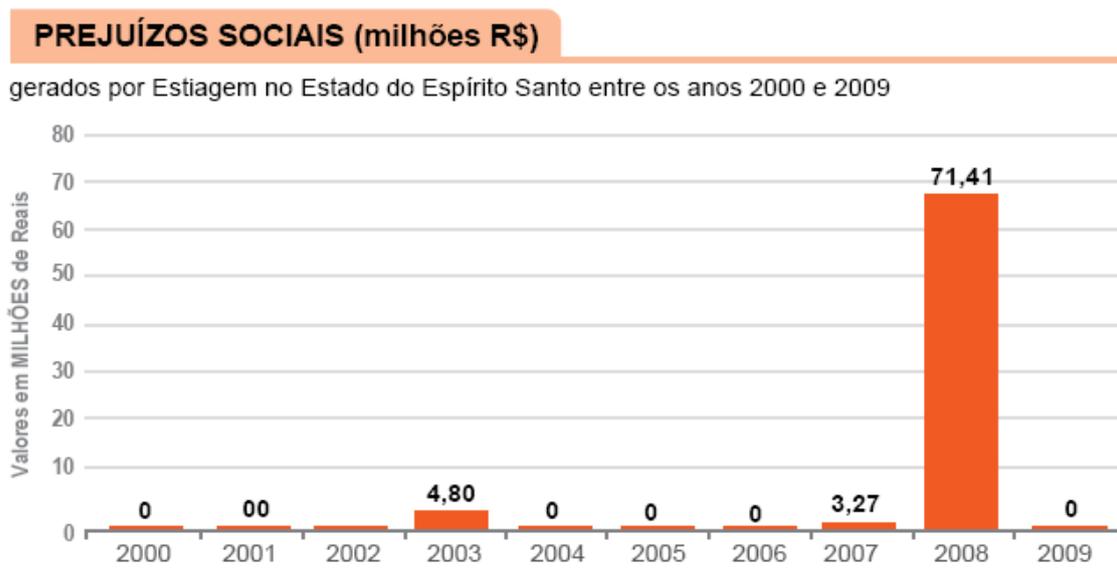


Figura 5: Prejuízos sociais, em milhões de Reais, causados pela estiagem, durante o período de 2000 a 2009. Fonte: Silva *et al.*, 2011.

Os prejuízos econômicos são calculados pela produção estimada em tempo de normalidade, relacionados a indústrias, comércio, bancos, pecuária e agricultura.

PREJUÍZOS ECONÔMICOS (milhões R\$)

segmento gerados por Estiagem no Estado do Espírito Santo entre os anos 2000 e 2009

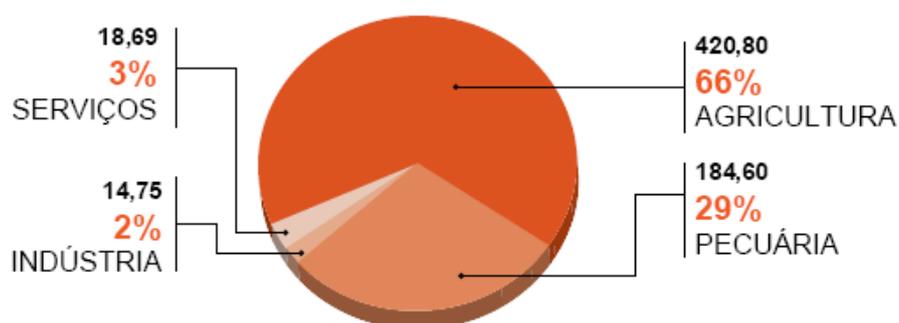


Figura 6: Prejuízos econômicos, em milhões de Reais, causados pela estiagem, durante o período de 2000 a 2009. Fonte: Silva *et al.*, 2011.

Danos ambientais expressos em função do valor que seria necessário para reabilitar o ecossistema. Referem-se à poluição da água por esgotos e resíduos químicos, e do solo, por erosão e contaminação.

DANOS AMBIENTAIS (milhões R\$)

causados por Estiagem no Estado do Espírito Santo entre os anos 2000 e 2009

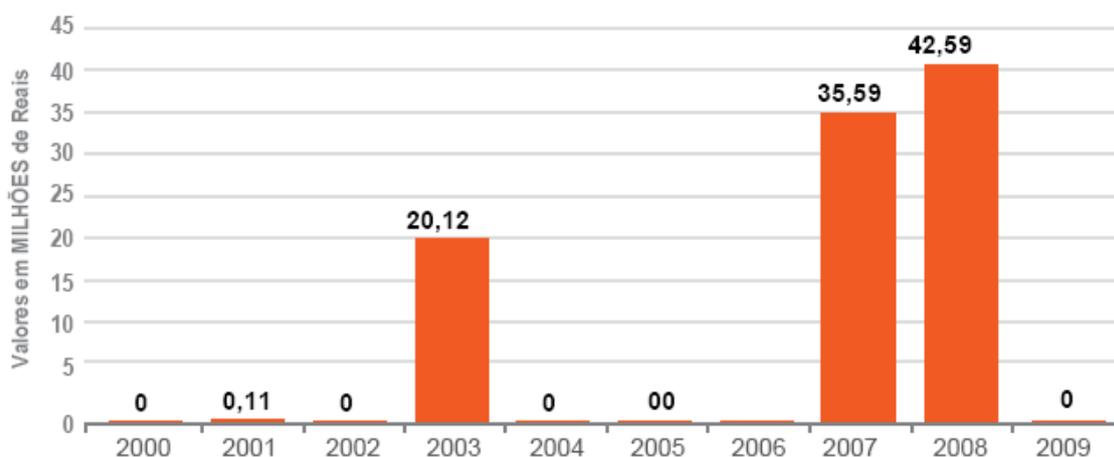


Figura 7: Danos ambientais, em milhões de Reais, causados pela estiagem, durante o período de 2000 a 2009. Fonte: Silva *et al.*, 2011.

Danos materiais expressos em função do valor que seria necessário para recuperá-los ou reconstruí-los de acordo com o valor de mercado à época.

Referem-se principalmente aos danos em residências, hospitais, escolas, pontes e estradas.

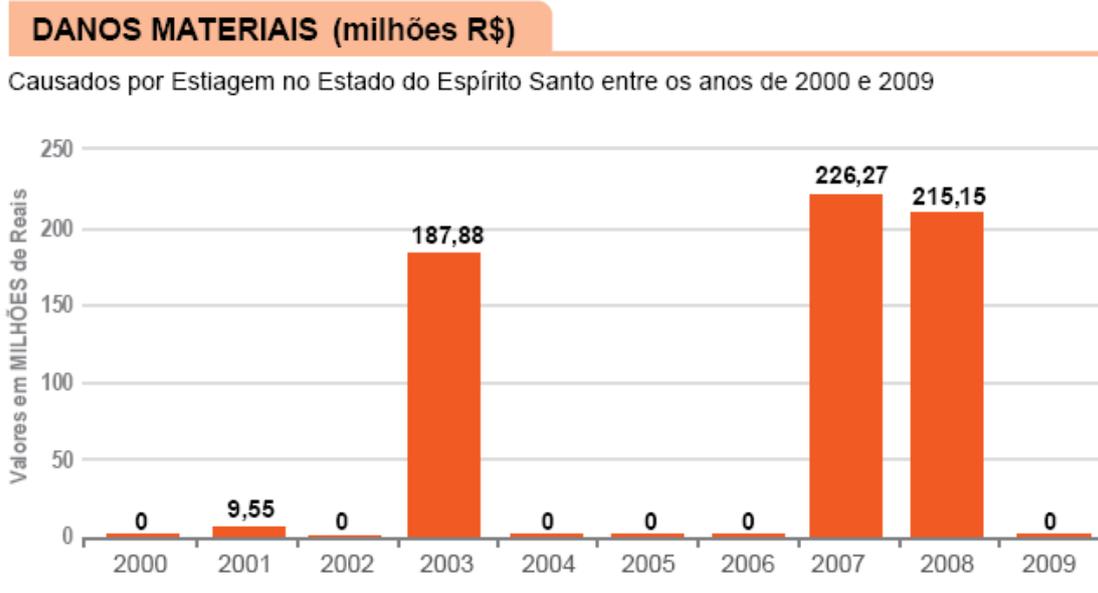


Figura 8: Danos materiais, em milhões de Reais, causados pela estiagem, durante o período de 2000 a 2009. Fonte: Silva *et al.*, 2011.

2.4. A seca como um desastre natural

A ocorrência dessa anomalia climática em várias regiões do globo terrestre na década de setenta evidenciou a vulnerabilidade do homem a esse risco climático (WILHITE; GLANTZ, 1987).

A seca diferencia-se de outros riscos naturais em diversos aspectos. Por se tratar de um “fenômeno gradual” torna difícil determinar seu início e fim. Os efeitos da seca vão se acumulando lentamente ao longo de um período considerável de tempo e podem perdurar anos após a finalização do evento.

Soma-se a isto, que os impactos da seca são menos evidentes e se espalham em uma área geográfica maior que os danos causados por outros riscos naturais. A seca raramente provoca danos na infraestrutura. Por essas razões, a quantificação dos impactos e das ações emergenciais de ajuda é uma tarefa mais difícil do que em outras catástrofes naturais.

As estratégias de mitigação aos efeitos da seca são numerosas e vão do nível individual ou doméstico até o nível nacional. Parry e Carter (1987) classificaram as políticas dos governos em respostas à variabilidade climática ou a eventos climáticos extremos em três grandes tipos:

1) Programas governamentais pré-impacto visando a redução do impacto: são definidos como aqueles que tentam amenizar os efeitos futuros de variações climáticas. Exemplos relacionados com a seca incluem o desenvolvimento de um sistema de alerta, aumento das reservas hídricas, redução da demanda (por exemplo, programas de conservação de água) e seguros para as lavouras.

2) Intervenções governamentais pós-impacto: se referem aos programas de reação à seca ou às táticas implementadas pelo governo em resposta à seca ou a algum outro evento climático extremo. Isto inclui uma ampla gama de medidas emergenciais de reação à seca tais como créditos a juros baixos, subsídios para o transporte de gado e ração animal, fornecimento de alimentos, transporte de água e poços para irrigação e o abastecimento de água ao público.

3) Medidas de contingência ou planos de preparação para a convivência com a seca. Estas são relacionadas ao desenvolvimento de políticas e planos que podem ser úteis na preparação do combate aos efeitos da seca. São geralmente desenvolvidas em âmbito nacional e estadual com o estabelecimento de vínculos para o âmbito local.

2.5. Caracterizando o fenômeno da seca

A seca acontece de forma temporária, em áreas tanto de alta como de baixa precipitação e pode ainda estar associados a outros fatores climáticos, tais como: altas temperaturas, fortes ventos e baixa umidade relativa do ar. A seca, portanto, se diferencia da aridez já que esta se restringe a regiões de baixa precipitação sendo uma característica permanente do clima (WILHITE *et al.*, 1993).

Este fenômeno climático é considerado por muitos como o mais complexo, embora o menos compreendido entre os desastres naturais, e o que afeta mais pessoas que qualquer outro desastre. Assim por exemplo, as secas de início dos anos 80 na África, ao sul do Saara, tiveram um efeito adverso sobre mais de 40 milhões de pessoas (WILHITE *et al.*, 1993).

Nos Estados Unidos durante o ano de 1988, a seca resultou em impactos estimados em aproximadamente US\$ 40 bilhões (RIEBSAME *et al.*, 1990), tornando este o desastre natural mais oneroso na história da América do Norte.

Na América do Sul, durante a primeira década do século XXI, a Amazônia sofreu duas secas no curto espaço de cinco anos (2005 e 2010), sendo que a estiagem de 2010 foi a mais intensa já registrada na região desde o início do século XX. Em um estudo realizado por Xu *et al.*, (2011), foram comparados os índices de clorofila e constatado que a seca provocou uma imensa queda da capacidade fotossintética causando a perda de folhas e dificultando a regeneração das árvores. Este fato poderá levar a um aumento acentuado na mortalidade destas árvores nos próximos anos, com consequências diretas no sequestro de carbono da atmosfera terrestre e alteração no ciclo de carbono no planeta.

No Brasil, vários são os casos envolvendo o fenômeno da seca. Historicamente o nordeste é a região mais afetada por grandes secas. Relatos de secas podem ser encontrados desde o Século XVII quando os portugueses chegaram à região, sendo que no semiárido nordestino, essa variabilidade climática, sempre foi sinônimo de sofrimento para as populações rurais do interior da região (MARENGO, 2007).

A grande seca de 1777 matou milhares de pessoas no estado do Ceará. Um século depois a seca de 1888, conhecida como a “*Seca dos Três Oito*”, atingiu a mesma região, e foi a partir de então que se iniciou o debate sobre o problema da seca no país, que passou a ser considerada uma questão de relevância nacional pelo Governo Federal (CAMPOS *et al.*, 2002).

Outros eventos de secas severas foram registrados nas décadas de 70, 80 e 90, na região Nordeste. Em 1998, o Nordeste Brasileiro foi novamente atingido por outra grande seca obrigando o Governo Federal, a iniciar um plano de combate aos efeitos da seca na região (SUDENE, 2004).

Nas regiões Sul e Sudeste, os impactos das secas têm influência direta nas atividades agrícola e pecuária desenvolvidas nessas regiões (FERREIRA *et al.*, 2002). O período seco nas regiões Sul e Sudeste do país, que ocorrem normalmente durante o inverno, quando amplificado por fatores ambientais, causa grandes prejuízos à agricultura e a economia local dos municípios (SANTOS,1998).

A experiência com a seca durante as últimas décadas, tanto em países em desenvolvimento como em países desenvolvidos, e a magnitude dos impactos associados mostram que a vulnerabilidade a períodos prolongados de escassez de água está aumentando (SUASSUNA, 2011).

Falkenmark (1992) estimou que o número de pessoas que vivem em países com problemas de água, ou escassez crônica de água, aumentará de 300 milhões para mais de 3 bilhões no ano 2025.

Todavia, o conceito de seca está intimamente relacionado ao ponto de vista do observador, sendo a sua definição um obstáculo para se efetuar uma correta monetarização e análise deste fenômeno. Seja qual for a definição de sua origem, é evidente que a seca não pode ser encarada apenas como um fenômeno físico (FARAGO *et al.*, 1989; NDMC, 2006).

Para Mckee *et al.*, (1993), não existe uma definição de seca válida para qualquer região, em qualquer época e ainda adequada a todas as ramificações das sociedades humanas.

Blain (2005) argumenta que pesquisadores, políticos, agricultores, ou cidadãos comuns, têm percepções diferentes do fenômeno. Até mesmo dentro desses grupos há diferenças significativas no entendimento dessa anomalia climática. Um meteorologista, ou um sociólogo, por exemplo, veem a seca como problemas distintos. O primeiro está preocupado com a previsão ou explicação das causas desta anomalia ou ainda em descrever a magnitude do déficit de precipitação ocorrido. O segundo está mais interessado nos efeitos da seca nas pessoas ou nas instituições.

A determinação de informações, tais como início da seca, sua extensão, intensidade, duração e impactos causados, podem minimizar consideravelmente seus efeitos (KOGAN, 1997).

2.6. Tipos de seca

Um passo importante na análise científica deste fenômeno climático foi o reconhecimento das diferentes percepções que diversos setores da sociedade possuem em relação a essa anomalia climática (BLAIN; BRUNINI, 2007).

No final do século XX, Wilhite e Glantz (1987) formularam várias definições de seca, para determinar as características consideradas mais importantes para classificar o fenômeno. Em geral, distingue-se entre seca meteorológica, seca agrícola, seca hidrológica e seca socioeconômica, conforme representação na Figura 9. No entanto, todas as definições estão de acordo que a seca é uma condição de deficiência de água no solo, causada pela insuficiência ou irregularidade das precipitações pluviais durante um período de tempo (WILHITE; GLANTZ, 1987).

A dificuldade quanto a caracterização da seca reside na definição da duração desse período de tempo e nos impactos que a estiagem provocará. Os efeitos mais graves decorrem de um descompasso entre a oferta de água, provida irregularmente pela natureza, e as necessidades para uma determinada atividade gerada pela sociedade.

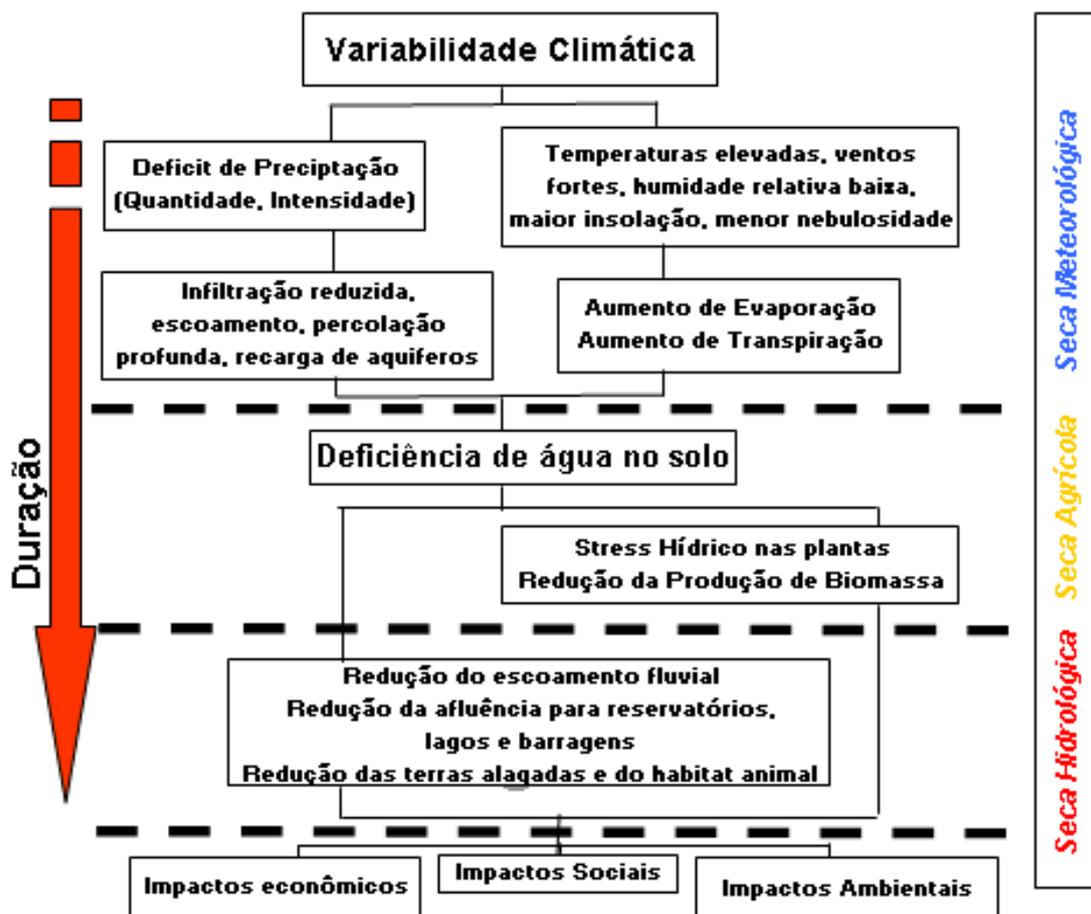


Figura 9: Proposta de sequência temporal dos diversos tipos de seca (adaptado de www.drought.unl.edu, 2010).

2.6.1. Seca meteorológica

A seca meteorológica é expressa apenas com base no grau de sequeidão (frequentemente em comparação a algum volume “normal” ou médio) e a duração do período seco. É uma medida do desvio da precipitação em relação ao valor normal. Este tipo de seca 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, insolação, temperatura e umidade do ar.

Definições de seca meteorológicas devem ser consideradas como específicas de uma região, em virtude de que as condições atmosféricas que conduzem à falta de precipitações variam consideravelmente de região para região. (IMP, 2008).

2.6.2. Seca agrícola

É o tipo de seca associada à falta de água disponível no solo, que seria suficiente para atender as necessidades das plantas. Na agricultura, este tipo de seca refere-se à disponibilidade de água necessária para repor as perdas por evapotranspiração, sendo relacionada com as características das culturas e/ou da vegetação natural, ou seja, dos sistemas agrosilvopastoris em geral (IMP, 2008).

2.6.3. Seca hidrológica

Nesta categoria, a seca está relacionada com a redução dos níveis médios de água nos reservatórios e com a depleção de água no solo, sendo normalmente defasada da seca meteorológica e agrícola, dado que é necessário um período maior para que as deficiências na precipitação se manifestem em diversos componentes do sistema hidrológico. A água em sistemas de armazenamento hídrico (por exemplo, reservatórios, rios) é muitas vezes utilizada para objetivos múltiplos e concorrentes, o que complica ainda mais na necessidade de quantificação dos impactos. A concorrência pela água nesses sistemas de armazenamento aumenta durante a seca e os conflitos entre usuários da água crescem significativamente (WILHITE, 1993).

Como as regiões estão interconectadas por sistemas hidrológicos, uma seca à montante pode produzir graves impactos à jusante, à medida que as reservas de água superficial e subterrânea são afetadas. Isto independe se as áreas à jusante estejam sujeitas à seca meteorológica. Mudanças à montante, no uso do solo (por exemplo, desmatamento, alterações nos padrões de cultivo, minerações) podem alterar o escoamento e as taxas de infiltração no solo, e assim afetar a frequência e a gravidade de secas à jusante (IMP, 2008).

2.6.4. Seca socioeconômica

Finalmente, a seca socioeconômica associa a oferta e demanda de um bem econômico com elementos da seca meteorológica, hidrológica e agrícola. Os processos de tempo e espaço referentes à oferta e demanda são os dois processos básicos a serem considerados em uma definição objetiva da seca. Por exemplo, a oferta de um bem econômico (por exemplo, água, alimentação animal, energia hidrelétrica) depende do clima. Na maioria dos casos, a demanda cresce como resultado do aumento da população e/ou do consumo *per capita*.

Portanto, a seca poderia ser definida como um evento que ocorre quando a demanda supera a oferta, como produto de uma deficiência na oferta de água em função do clima e/ou da super exploração dos recursos hídricos locais. Este conceito de seca reforça a forte simbiose que existe entre a seca e as atividades humanas, enfatizando ainda mais a importância de manejo dos recursos naturais de maneira sustentável (SUASSUNA, 2011).

Resumidamente podemos dizer que a seca meteorológica pode se desenvolver rapidamente e "acabar abruptamente" enquanto a hidrológica necessita de um período prolongado de déficit de precipitação pluvial, entretanto persistirá por mais tempo que a meteorológica. Já a seca agrícola pode estar relacionada às fases de desenvolvimento/crescimento dos vegetais. Por fim a seca socioeconômica engloba todos os impactos das anteriores, agindo nos meios de produção de bens e serviços (HEIM JUNIOR, 2002).

2.7. Tipos de impactos ocasionados pelo fenômeno da seca

Mesmo sendo uma tarefa difícil realizar uma classificação detalhada dos impactos da seca, podemos distingui-los em três categorias: econômica, ambiental e social. Em cada um deles há impactos diferentes, que estão conectados com o setor afetado (ROSSI *et al.*, 2007).

A seguir são apresentados os principais impactos da seca (Quadro 1).

Quadro 1: Impactos econômicos, ambientais e sociais da seca.

| IMPACTOS ECONÔMICOS |
|--|
| 1) Na produção agrícola (redução de culturas, os danos nos cultivos, epidemia de insetos, doenças nas plantas); |
| 2) Na produção florestal (diminuição do crescimento de florestas, os incêndios nas florestas, doenças nas árvores); |
| 3) Na produção de carne bovina (redução de produtividade das pastagens, aumento de roubos, incêndios em pastagens, etc.); |
| 4) Na indústria da pesca (danos ao habitat dos peixes causada por fluxos reduzidos do rio e reservatórios d'água); |
| 5) Perda econômica das indústrias ligadas à produção agrícola (alimentos, indústrias produzindo fertilizantes, etc.); |
| 6) Redução na produção de energia hidrelétrica; |
| 7) O desemprego causado pela queda de produção; |
| 8) Redução da navegabilidade em função da redução do volume de córregos, rios e canais; |
| 9) Danos ao setor do turismo devido redução no abastecimento de água e / ou corpos d'água; |
| 10) Pressão sobre as instituições financeiras (mais riscos na concessão de empréstimos, capitais diminuir etc.); |
| 11) Perda de receita da gestão pública e local (por causa da redução de impostos, etc.); |
| 12) Redução de renda para as empresas ligadas à venda de água para consumo humano; |
| 13) Custos adicionais decorrentes do uso de recursos hídricos; |
| 14) Custos de medidas de emergência para melhorar/aumentar os recursos hídricos e diminuir as demandas (custos adicionais para o transporte de água e remoção, os custos de publicidade para reduzir o uso de água, etc.); |
| IMPACTOS AMBIENTAIS |
| 1) Falta de alimentos e água potável; |
| 2) Aumento da concentração de sal (em rios, camadas subterrâneas, áreas irrigadas); |
| 3) Perda de lagos naturais e artificiais (peixes, paisagens, etc.); |
| 4) Danos à vida no rio (flora, fauna); |
| 5) Danos a qualidade ao ar (aumento de particulados poluentes, poeira); |
| 6) Danos à qualidade da paisagem (erosão do solo, poeira, redução da vegetação de cobertura); |
| IMPACTOS SOCIAIS |
| 1) Inconvenientes devido ao sistema de racionamento de água; |
| 2) Os riscos para a saúde relacionados com aumento da concentração de poluição e sistema de água descontínuo; |
| 3) Impactos sobre a forma de vida (desemprego, redução da capacidade de poupança, a dificuldade em cuidados pessoais, a reutilização de água em casa, proibição em lavar carros na rua, a dúvida sobre o futuro, etc.); |
| 4) Riscos sobre a segurança pública devido a incêndios mais frequentes (florestas, pastagens); |
| 5) Abandono de atividades e emigração (em casos extremos); |

Fonte: ROSSI *et al.*, 2007.

2.8. Elaboração de planos para convivência com a seca

Suassuna (1999) argumenta que até recentemente, as nações dedicavam poucos esforços ao planejamento de ações de convivência com a seca dando preferência à abordagem tradicional de reação ao desastre ou de gerenciamento da seca.

Às deficiências no enfoque do gerenciamento do fenômeno com relação à avaliação da seca podemos incluir a falta de índices climáticos adequados e sistemas de alerta precoce; insuficiência da base de dados para avaliar as deficiências hídricas e os impactos potenciais; ferramentas e metodologias inadequadas para a avaliação precoce dos impactos em vários setores; programas de ajuda emergencial inadequados ou inoportunos; falta de ênfase em programas pró-ativos de mitigação visando à redução da vulnerabilidade à seca; falta de coordenação de políticas e programas dentro dos diversos níveis governamentais, entre outras.

Atualmente esta situação está mudando e os países já passam a adotar uma abordagem mais pró-ativa que enfatize os princípios de gerenciamento de riscos ligados ao desenvolvimento sustentável. Devido aos múltiplos impactos associados à seca e às numerosas agências governamentais responsáveis por alguns aspectos do monitoramento, avaliação, mitigação e planejamento, o desenvolvimento de uma política e um plano deve ser um processo integrado dentro dos diversos níveis do governo e entre eles.

2.9. Classificação das medidas de mitigação da seca

Segundo Rossi *et al.*, (2007), após avaliados os impactos da seca apresentados no Quadro 1 pode-se inferir que, devido às suas consequências, uma seca severa deva ser considerada como um desastre natural. No entanto, deve salientar-se que a entidade dos impactos depende, principalmente, da vulnerabilidade dos diferentes setores envolvidos. De fato, o risco de escassez para um sistema de abastecimento de água está ligado não apenas à gravidade do evento da seca, mas também com as ações estruturais, gestão administrativa e econômica, adotada para os diferentes elementos deste sistema, em uma fase preventiva bem como em condições de emergência, quando o fenômeno está em andamento.

Dentro deste contexto, o primeiro passo para se iniciar a mitigação ao fenômeno da seca está na classificação das diferentes formas de ação e as características dos processos da gestão deste fenômeno. Rossi *et al.*, (2007) apresentaram um estudo de classificação das medidas de mitigação à seca, baseado nas propostas dessas medidas, na abordagem de implementação, na janela de tempo de duração dos eventos. Eles propuseram nesse estudo uma nova legislação, um ambiente institucional para administração das secas e um sistema de monitoramento efetivo para avaliação dos riscos inerentes ao processo (Figura 10).

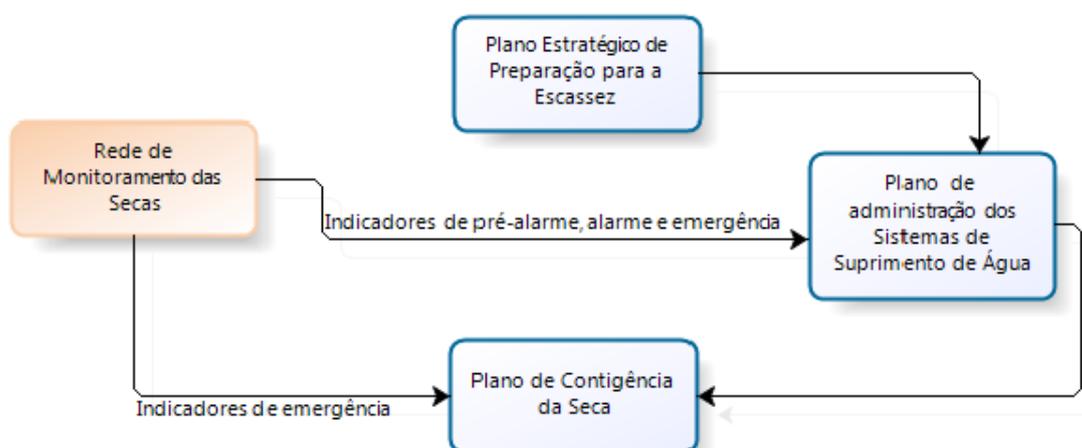


Figura 10 - Processo de planejamento e gestão dos riscos das secas.
Fonte: Neves, 2010. Adaptado de Rossi *et al.*, 2007.

2.9.1. Classificação em função do objetivo das medidas

Esta classificação distingue três categorias de medidas (Quadro 2):

i) Medidas para aumentar a oferta de água - Medidas que incluem essencialmente intervenções que permitam melhorar o abastecimento de água durante a seca, através de um melhor uso dos recursos hídricos existentes do sistema; a utilização de novas fontes de água de abastecimento e da adoção de regras de boa gestão no uso dos recursos hídricos.

ii) Medidas para reduzir as demandas de água – São medidas orientadas à redução da demanda pelo uso da água, pretendem atender as necessidades básicas do consumo de água, independentemente do fornecimento de água reduzido. Tais medidas incluem restrições legais, o racionamento (também baseado em uma redistribuição racional e equilibrada dos recursos hídricos limitados), incentivos econômicos, bem como adoção de reciclagem de água e técnicas de poupança de água.

iii) Medidas para minimizar os impactos da seca – São medidas com objetivo de minimizar os impactos da seca, referem-se essencialmente a uma redução de danos ou outras consequências negativas causadas por um evento de seca, através de uma diversificação de risco. Ele inclui também a previsão de seca baseada em sistemas de monitoramentos, campanhas públicas de sensibilização para as situações de seca, alterações nas práticas agrícolas, etc.

Quadro 2: Classificação consolidada das medidas de mitigação da seca.

| AUMENTO DA OFERTA DE ÁGUA | | |
|---|---|---|
| Suprimento Existente | Novos Suprimentos | Suprimentos Complexos |
| <ul style="list-style-type: none"> • Armazenamento de Superfície • Armazenamento de Sub Superfície • Transferência entre bacias • A conservação da água | <ul style="list-style-type: none"> • Uso emergencial de Lagos • Conversão de água salgada • Águas Fossil • A modificação do tempo | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de Transporte • Uso conjuntivo da água • Gestão de gelo e neves |
| REDUÇÃO DA DEMANDA DE ÁGUA | | |
| Estratégias Ativas | Estratégias Reativas | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Restrição Legal e pressões públicas • Os incentivos econômicos | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de reciclagem de usuário • Produção ajustes usuário | |
| MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS DA SECA | | |
| Previsão | Redução de Risco | Compartilhamento de Danos |
| <ul style="list-style-type: none"> • Previsão e alerta • Follow-up de previsão e aviso | <ul style="list-style-type: none"> • Seguros • Proteção individual • Ajuda de Desastres | <ul style="list-style-type: none"> • Culturas resistentes à seca • Ajuste de Técnicas Agrícolas • Ajuste de vegetação urbana |

Fonte: Rossi *et al.*, 2007.

2.9.2. Classificações em função da abordagem de implementação

Para Yevjevich *et al.*, (1983), a definição de medidas de mitigação do fenômeno da seca deve ser inserida em uma estrutura orgânica e multidisciplinar dos vários problemas causado pela seca (identificação da seca, os impactos, a redução do risco de seca).

Em particular, duas abordagens diferentes para o processo são distinguidos:

i) Abordagem Reativa - São definidas como aquelas que são implementadas, quando os impactos da seca são visíveis. Estas medidas incluem também a proposta alternativa de não se fazer nada, geralmente aplicada com base no fato de que indivíduos ou organizações têm resistência suficiente para suportar impactos, e eventualmente inclui as perspectivas de recuperação após o fim da seca.

ii) Abordagem Pró-ativa ou preventiva – Aonde as medidas são definidas concebidas ou preparadas com antecedência, o que pode ajudar no alívio das consequências da seca.

A diferença entre as medidas pró-ativa e reativa deve-se principalmente na abordagem: atividade de planejamento em relação à improvisação de várias medidas ad hoc.

2.9.3. Classificação baseada no prazo de execução das medidas

Geralmente, a mitigação da seca através de medidas a longo prazo implica num conjunto de ajustes estruturais e não estruturais a um sistema existente de abastecimento de água, destinadas a proteger dos efeitos adversos em secas futuras, reduzindo a sua vulnerabilidade ao fenómeno, em especial ao risco de escassez de água. Entre as propostas de medidas de mitigação de longo prazo, três grupos principais podem ser distinguidos:

- i) Aumento da capacidade de instalações de armazenamento;
- ii) Gestão integrada dos recursos hídricos em uma área ampla; e
- iii) Melhoria da eficiência do uso da água.

Além das medidas de mitigação de longo prazo, o autor propõe a implementação de medidas de curto prazo que se referem à capacidade de enfrentar uma seca persistente. Tais medidas incluem ações planejadas antes de um início de seca (incluídos nos planos de contingência ou de emergência), e medidas individualizadas, quando uma seca é percebida como um evento pesado. Estes planos de ação implicam principalmente ações para melhorar o abastecimento de água através a utilização de novas fontes e para reduzir a demanda de água.

Rossi *et al.*, (2007) indicam que após a individualização de possíveis medidas de curto e longo prazo para enfrentar a escassez no abastecimento de água em períodos de estiagem, a escolha entre os diferentes tipos ações não é fácil.

Embora, ações de intervenções a longo prazo poderiam ser mais apropriadas em um sistema para o qual as medidas de emergência são freqüentemente aplicada, por outro lado, se o risco de danos à seca durante o período de planejamento é baixa ou moderada, a melhor estratégia pode ser uma releitura sobre o medidas de curto prazo.

Assim, somente através de uma compreensão adequada dos diferentes papéis de longo prazo de medidas preventivas e ações de curto prazo, é possível realizar uma mitigação da seca eficiente. Para este efeito, a minimização do custo de intervenções poderia ser um critério para selecionar uma combinação adequada de longo prazo e medidas a curto prazo.

O desenvolvimento de planos específicos orientados para o planejamento e gestão de risco de seca é considerado um ponto chave para o sucesso de mitigação dos impactos da seca.

Um elemento muito importante para uma estratégia eficiente de gestão de seca é identificado no desenvolvimento de um sistema de observação seca capaz de suportar uma decisão em tempo útil sobre as medidas de mitigação da seca e uma coordenação entre os níveis nacional, regional e local.

Planos de seca devem visar à redução da vulnerabilidade à seca de sistemas de abastecimento de água, bem como melhorar a sua resistência a condições de escassez de água.

Portanto, um plano de seca eficiente, deve incluir medidas de curto e longo prazo, cuja combinação ideal tem que ser aplicada de acordo com critérios adequados. Uma síntese das principais medidas propostas por Rossi *et al.*, (2007) é mostrada na Quadro 3.

Quadro 3: Medidas de mitigação propostas pelo Grupo de Escasses de Água da Comunidade Européia.

| Categoria | Medidas de mitigação da seca |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Gestão da demanda por água | <ul style="list-style-type: none"> - Racionamento voluntário ou obrigatório - Atribuição de prioridades - Alterações de preços - Educação de campanhas públicas - Incentivos para economia de água no meio urbano - Incentivos para economia de água na produção agrícola - Incentivos para a reciclagem de água industrial - Alternativas para atividades de consumo de água |
| <ul style="list-style-type: none"> • Mudanças na gestão dos recursos hídricos | <ul style="list-style-type: none"> - Uso Conjunto Água - Mudanças nas regras operacionais de reservatório sob condições de seca - Mudanças institucionais - Mudanças legais - A coordenação operacional entre sistemas de abastecimento de água |
| <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de recursos hídricos | <ul style="list-style-type: none"> - Uso de águas subterrâneas como reserva estratégica para a seca - Reutilização de águas residuais tratadas - Dessalinização - Realocação de recursos - Importação de água de outras bacias hidrográficas - Uso de água de qualidade inferior para usos específicos - Superexploração das águas subterrâneas - Uso de novos reservatórios nos sistemas de abastecimento |

Fonte: Rossi *et al.*, 2007.

2.10. Sistemas de alerta precoce contra a Seca

No contexto da Convenção das Nações Unidas de combate à desertificação (UNCCD) foram determinados valores de referência para diferentes indicadores de desertificação, além do entendimento dos sistemas de alerta precoce como elemento integrante de uma concepção holística do causal e das características dos fatores espaciais e temporais da seca e da desertificação.

A utilização de sistemas de alerta precoce de seca e desertificação constituem um quadro útil para promover a escolha e análise de dados e a formulação e medidas de intervenção.

Acredita-se que os sistemas de alerta precoce sejam um elemento-chave das estratégias de redução dos impactos dos desastres naturais, além de ser uma forma de ação das mais eficientes do ponto de vista dos custos para reduzir o impacto destas catástrofes (ONU, 2007).

O principal objetivo de um sistema de alerta precoce é proporcionar aos indivíduos e comunidades em risco, informações para a tomada de decisões, sendo que os sistemas eficazes de alerta precoce de catástrofes naturais tem quatro componentes interligadas: o conhecimento dos riscos, serviço de monitoramento e alerta, divulgação e comunicação, e capacidade de resposta (ONU, 2007).

2.11. Sistema de monitoramento de secas

Freitas (2005) argumenta que o método mais conhecido e largamente empregado para a investigação da distribuição espacial e temporal dos períodos de secas é o da determinação de um índice de seca. Este poderá atuar como um valor que representa o efeito acumulado ocasionado por um longo período de déficit de umidade.

Esta metodologia tem o objetivo de medir o quanto à precipitação tem se desviado da normal climatológica. Mas em função das características complexas da seca, nenhum índice em particular tem sido capaz de atender de forma significativa a severidade e os impactos da seca nos diferentes segmentos da atividade humana.

Neste contexto, os índices de seca variam em grau de complexidade, desde uma simples medida de seca meteorológica tal como os desvios de precipitação em relação a sua média climatológica, até modelos paramétricos de relação água - planta, os quais incorporam as condições de umidade do solo e o manejo do uso da terra para áreas climatologicamente homogêneas.

Existe uma grande variedade de índices de seca que veem sendo utilizados para a caracterização do fenômeno, sendo que os mais conhecidos na literatura são o Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) (PALMER, 1965), o Índice dos Decis (D) (GIBBS; MAHER, 1967); o Índice de Precipitação Normalizada (SPI) (McKEE *et al.*, 1993), (STROMMEN *et al.*, 1980) e o Índice de Bhalme & Mooley - IBM (BHALME; MOOLEY, 1980), entre outros.

É importante ressaltar que os diferentes índices de seca apresentam diferentes exigências quanto aos dados de entrada, podendo assim fornecer diferentes resultados sobre a severidade da seca para uma mesma região.

Para se definir o impacto causado pela seca em um determinado setor e em uma determinada região é necessário considerar as características da região e as especificidades de cada setor afetado por ela, pois um mesmo valor de um índice de seca pode se traduzir em diferentes impactos para diferentes regiões.

Dentro deste contexto, uma seca agrícola pode se configurar antes de se tornar evidente para o hidrólogo. Da mesma forma, a distribuição irregular das precipitações ao longo do ano pode caracterizar a existência de uma seca agrícola, mesmo que essa distribuição de precipitação seja estatisticamente normal ou acima da normal climatológica da região, evidenciando assim, uma seca meteorológica (SUASSUNA, 2011).

Nos últimos anos ocorreram avanços significativos no monitoramento de eventos climáticos no semiárido nordestino. Exemplo disso é o monitoramento de tempo e clima realizado pelo CPTEC/INPE, com a participação dos Centros de Meteorologia Estaduais do Nordeste, entre eles a Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) (NEVES, 2010).

Um dos serviços resultante desse monitoramento é a previsão de ocorrência de secas. Ela possibilita o planejamento, na esfera governamental executiva, de ações de mitigação dos efeitos das secas, o que, na maioria das vezes, só ocorre quando a seca já está completamente configurada, a agropecuária em declínio e a população em estado de calamidade, com falta de água até para consumo humano.

Esse acompanhamento também é realizado através dos índices de secas, que são instrumentos que delineiam as informações relevantes através da sua agregação, quantificação e simplificação para o entendimento e compreensão do fenômeno. Em resumo, os índices de secas constituem ferramentas essenciais para um diagnóstico mais preciso da sua dimensão nas regiões atingidas, existindo para isso vários modelos de avaliação. Os índices de seca mais simples consideram somente variáveis meteorológicas e/ou hidrológicas.

Os mais sofisticados associam a precipitação a parâmetros econômicos, sociais, culturais, ambientais e políticos das regiões atingidas (Byun; Whilite, 1999).

Esse é o caso do Índice FUNCEME de Severidade à Seca (IFS), desenvolvido em 2000 pela FUNCEME, e que considera além da climatologia, aspectos da física dos solos, econômicos, sociais, os riscos de perda da safra agrícola e o risco de falta de água para consumo humano e animal (NEVES, 2010).

Por fim, a inerente complexidade do fenômeno da seca implica que nenhum índice é ideal para todas as regiões e quanto maior quantidade de informações, melhores resultados e respostas mais adequadas para a mitigação desses eventos serão obtidas, com estratégias de preparação e a redução dos impactos a eles associados (SMAKHTIN; HUGUES, 2004).

2.12. Indicadores de severidade de seca

A determinação de qual o índice mais adequado e eficiente a ser adotado depende da definição de seca, da aplicação específica, da amplitude da área de interesse e da consistência dos dados básicos de entrada (VIAU *et al.*, 2000).

Os índices de seca são normalmente funções contínuas de chuva e/ou temperatura, descargas de rios ou outras variáveis mensuráveis. Os dados de chuvas são as observações mais largamente utilizadas para composição desses índices, devido ao registro histórico de longo prazo frequentemente disponível (NEVES, 2010).

Para reduzir a vulnerabilidade das populações à ocorrência de secas, meteorologistas e hidrólogos têm desenvolvido índices baseados em variáveis hidrometeorológicas, capazes de não apenas detectar a situação como classificá-las em termos de intensidade.

A compreensão mais eficaz para investigar a seca e seus impactos, incluindo seu começo e o seu fim, está na utilização de índices criados por vários pesquisadores para medir a severidade deste fenômeno climático (FERNANDES *et al.*, 2009).

A confiabilidade dos resultados desses modelos matemáticos, na quantificação das implicações dessas anomalias climáticas, nos diferentes setores da economia, esta associada à escolha do correto intervalo de tempo em que cada conceito de seca deve ser avaliado (BLAIN; BRUNINI, 2007).

Os índices de seca empregados assimilam vários anos de variáveis meteorológicas como: precipitação, temperatura do ar, evapotranspiração, escoamento superficial (runoff), umidade do solo, entre outras, e assim as combinam a fim de identificar o início de um período de seca.

Como dito anteriormente, esses índices são usados, normalmente, para a análise de secas em diferentes escalas de tempo. O Quadro 4 resume de forma bem simples os índices meteorológicos mais utilizados (FERNANDES *et al.*, 2009).

Quadro 4: Resumo dos índices de seca, sendo: P – Precipitação, T – Temperatura, US – Umidade do Solo, S – Semanal, M – Mensal, A – Anual.

| Índice de seca | Dados de entrada | Escala | Aplicação | Prós/Contras |
|---|------------------|--------|-------------------------|---|
| Índice Porcentagem Normal (PN) | P | S,M,A | Meteorológico | Prós: Um simples cálculo efetivo para comparação entre uma única região ou estação. Contras: Desde que a “normal” é uma construção matemática baseada em um número limitado de anos, não pode sempre refletir tendências climáticas. |
| Decis (D) | P | M | Meteorológico | Prós: Remove algumas fraquezas de aproximação do PN, fornecendo uma medida estatística exata da precipitação. Contras: Exige no mínimo 30 anos de registro de dados. |
| Índice de Precipitação Normalizada (SPI) | P | M | Meteorológico | Prós: O SPI pode ser calculado para diferentes escalas de tempo. Possibilita o aviso prévio da seca e ajuda a avaliar a severidade da seca, além de ser menos complexo que o PDSI. Contras: Exige no mínimo 30 anos de registro de dados.. |
| Índice de Seca de Bhalme & Mooley (BMDI) | P | M,A | Meteorológico | Prós: O índice (Z) de umidade do algoritmo de Palmer foi substituído por um índice mais simples de precipitação mensal calculado somente com dados de precipitação. O índice é eficaz para analisar as regiões tropicais. Contras: Como considera somente os dados de precipitação, não é um bom indicador regional de seca. |
| Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) | P, T, US | M | Meteorológico, Agrícola | Prós: Utiliza um algoritmo para calcular o balanço hídrico e a umidade do solo, baseado na temperatura e precipitação como dados de entrada, além de ser particularmente útil para aplicações agrícolas. Contras: Os valores de Palmer podem não identificar a seca tão facilmente como outros índices. |

Há outros tipos de Índices de seca que correlacionam variáveis de natureza distintas além das climáticas, tais como o Índice FUNCEME de Severidade de Seca (IFS), também chamado de Indicador de Emergência (IMERG), desenvolvido pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) em conjunto com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que correlaciona aspectos de natureza física, climatológica, socioeconômica e fatores de risco associados à perda da produção agrícola e à falta de água para consumo humano e animal (BANA e COSTA; CORREA, 2000).

Este índice foi construído como protótipo para ser aperfeiçoado e calibrado pela FUNCEME, porém não chegou a ser utilizado de forma sistemática no Ceará (NEVES, 2010).

Outro índice com essas características é o Índice Municipal de Alerta (IMA), que é um indicador composto, síntese de doze outros indicadores, utilizado como instrumento de monitoramento socioeconômico e ambiental para os municípios do Ceará. Os indicadores utilizados no IMA são: produtividade agrícola por hectare, produção agrícola por habitante, utilização da área colhida com culturas de subsistência, perda de safra, proporção de famílias beneficiadas com bolsa família, número de vagas do seguro safra por 100 habitantes rurais, climatologia, desvio normalizado das chuvas, escoamento superficial, índice de distribuição de chuvas, índice de aridez e taxa de cobertura de abastecimento urbano de água. O IMA é computado a partir desses subindicadores com pesos iguais. Este indicador, desde o ano de 2004, faz parte de um programa institucional do Governo do Ceará, sendo utilizado como instrumento de decisão para os gestores públicos implementarem as políticas e ações de atendimento às populações atingidas quando da ocorrência de secas no Estado (IPECE, 2005, 2007).

Neves (2010), com base no Índice FUNCEME de Severidade à Seca (IFS), propôs o Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca (ISFS) para o semiárido nordestino (Figura 11). O ISFS foi construído para ser utilizado em todo o semiárido nordestino, porém dada as suas características ele pode ser adaptado para outras regiões que não sejam semiáridas.

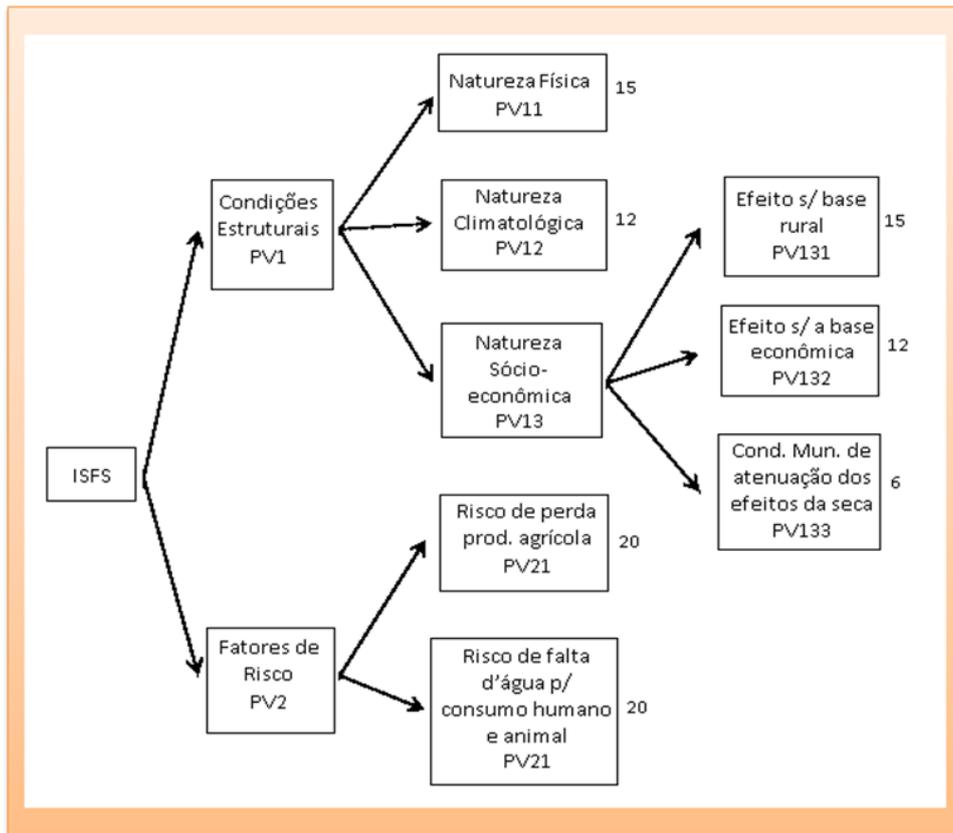


Figura 11: Arquitetura do ISFS. Fonte: Neves, 2010.

A seguir é feita uma descrição mais detalhada do Índice de Precipitação Normalizada – SPI e do Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca – ISFS.

2.12.1. Índice de Precipitação Normalizada (SPI)

Como a precipitação não segue uma distribuição normal, para o cálculo do SPI aplica-se inicialmente um tratamento na serie de dados das precipitações, tal que os valores transformados tenham distribuição normal. Dessa forma, a média do SPI para um determinado local e período assume valor zero. Valores positivos de SPI indicam precipitação maior do que a mediana de precipitação, enquanto os valores negativos indicam precipitação abaixo da mediana. A versatilidade do SPI está na capacidade de identificar eventos secos ou chuvosos para múltiplas escalas de tempo, ou seja, 3, 6, 12, 24 e 48 meses, etc. (ALTAMIRANO, 2010).

O SPI trimestral reflete as condições de curto prazo, é importante para monitoramento das precipitações sazonais. De acordo com Pereira (2004) a escala de tempo de 3 meses é adequada, por exemplo, para avaliar secas meteorológicas, pois a agricultura é uma atividade que é afetada quase imediatamente por situações de déficit hídrico.

A escala semestral do SPI representa os eventos de média duração. É importante para monitoramento do período de transição entre estação seca e a chuvosa. O SPI anual reflete padrões de precipitação de longo prazo. É uma importante ferramenta para monitorar a variabilidade anual e interanual e seus impactos nos mananciais hídricos.

A escolha da escala temporal usada para o cálculo do índice relaciona-se com o tempo necessário para que os efeitos de eventos de seca e de chuva se façam sentir, sobre os diferentes setores de atividade e sobre os recursos hídricos em geral. Deste modo, o uso de escalas de tempo mais curtas ou mais longas refletem diferentes tempos de resposta dos recursos hídricos às anomalias de precipitação. À medida que a escala temporal aumenta, o SPI responde mais lentamente a mudanças na precipitação (MCKEE *et al.*, 1993).

A avaliação objetiva das condições de déficit ou excesso hídrico de uma localidade ou região é o primeiro passo para o planejamento de gestão dos seus recursos hídricos. Isso fez com que McKee *et al.*, (1993) desenvolvessem o Índice de Precipitação Normalizada (SPI), o qual tem sido amplamente utilizado (GUTTMAN, 1998; HAYES *et al.*, 1999; ALTAMIRANO; SANSIGOLO, 2011).

Apesar de ter sua origem nos EUA, o SPI tem sido empregado com frequência por pesquisadores em vários países todo mundo: África, Argentina, Canadá, Chile, China, Cuba, Espanha, Grécia, Honduras, Hungria, Índia, Iran, Itália, Coréia e leste da Ásia, México, Polônia, Portugal, Peru, Rússia, Tailândia, Turquia, entre outros países (ALTAMIRANO, 2010).

No Brasil, o SPI é um dos métodos utilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para caracterizar anomalias de precipitação. Desde janeiro de 2002, o SPI vem sendo calculado para todo país. Além do INMET, o SPI é também utilizado pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC) através de seu Centro de Monitoramento e Mitigação de Seca e Adversidades Hidrometeorológicas, para monitorar e quantificar as secas no Estado de São Paulo. (ALTAMIRANO, 2010; SANTOS, 2011).

Segundo Hayes (2000), o número de aplicações que utilizam o SPI em todo o mundo continua a aumentar, sendo que para Lioyd-Hughes e Saunders (2002), o uso do SPI tem três vantagens principais:

1) Praticidade - O SPI é baseado unicamente na chuva e requer apenas o cálculo de dois parâmetros, em comparação com os 68 termos computacionais necessárias para descrever o PDSI. Isto evita a dependência de condições de umidade do solo. O SPI também não é afetado negativamente pela topografia.

2) Escala de tempo variável - Permite descrever as condições de seca importante para séries meteorológicas, agrícolas e aplicações hidrológicas. Esta versatilidade temporal é também útil para a análise da dinâmica da seca, especialmente a determinação do início e fim que são períodos difíceis de controlar com outros índices.

3) Padronização de dados - Garante que a freqüência de eventos extremos em qualquer local e em qualquer escala de tempo sejam consistentes.

Mas em contrapartida os mesmos Lioyd-Hughes e Saunders (2002) também citam três desvantagens potenciais do uso do SPI:

1) A suposição de que uma distribuição de probabilidade teórica adequada pode ser encontrada para o modelo de dados de precipitação antes da padronização. Um problema associado é a quantidade e confiabilidade dos dados utilizados para ajustar a distribuição. McKee *et al.*, (1993) recomendam o uso de pelo menos 30 anos de dados de alta qualidade.

2) A natureza padronizada do índice em si. Ou seja, que ocorrência de secas extremas (ou qualquer outro limiar da seca), medido pela SPI, quando considerada ao longo de um período de tempo, ocorrerá com a mesma freqüência em todos os locais. Assim, o SPI não é capaz de identificar as regiões que podem ser mais "propensas à seca".

3) Para regiões de baixa precipitação sazonal, ao se aplicar o SPI em escalas de tempo curtas (1, 2 ou 3 meses), os resultados encontrados podem ser "enganosamente grandes" para valores positivos ou negativos do SPI.

A Tabela 2 apresenta a escala padrão de classificação do SPI, com variação de valores positivos a valores negativos, os quais representam suas respectivas seguintes condições climáticas (McKee *et al.*,1993; BYUN; WILHITE, 1999). Para cada valor de SPI ou severidade pode ser associados probabilidades de ocorrências decorrentes da função densidade de probabilidade normal.

Tabela 2: Tabela com as definições de valores e classes do SPI.

| VALORES DO SPI | CLASSES | Probabilidade (%) |
|----------------|-----------------------|-------------------|
| ≥ 2 | EXTREMAMENTE CHUVOSO | 2.3 |
| 1,50 a 1,99 | SEVERAMENTE CHUVOSO | 4.4 |
| 1,00 a 1,49 | MODERADAMENTE CHUVOSO | 9.2 |
| -0,99 a 0,99 | NORMAL | 68.2 |
| -1,00 a -1,49 | MODERADAMENTE SECO | 9.2 |
| -1,50 a -1,99 | SEVERAMENTE SECO | 4.4 |
| ≤ -2 | EXTREMAMENTE SECO | 2.3 |

Estudos mostram que a distribuição gama descreve adequadamente o comportamento das chuvas (THOM,1966; CASTRO, 1996). A vantagem da distribuição gama para descrever dados de precipitação se deve do fato de que ela fornece uma representação flexível envolvendo apenas dois parâmetros (forma e escala), daí ser amplamente utilizada em climatologia de precipitação (SOARES; SANSIGOLO, 2010).

Os parâmetros de forma (alfa) e escala (beta) são estimados para cada ponto de grade, para cada mês do ano e para cada escala temporal (3, 6 e 12 meses).

A distribuição gama é definida pela função de densidade de probabilidade dada pela equação (01):

$$g(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} X^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (\text{eq. 01})$$

Sendo:

$\alpha > 0$ = parâmetro de forma (adimensional);

$\beta > 0$ = parâmetro de escala (mm);

> 0 = total de precipitação (mm);

$\Gamma(x)$ = função gama.

A função gama é obtida por meio da equação (02):

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} \gamma^{\alpha-1} e^{-\gamma} d\gamma \quad (\text{eq. 02})$$

Para estimar os parâmetros α e β , pode-se utilizar o método da máxima verossimilhança (THOM, 1966), equações (03), (04) e (05):

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (\text{eq. 03})$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad (\text{eq. 04})$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x) \quad (\text{eq. 05})$$

Sendo:

\bar{x} = média aritmética da precipitação pluvial (mm);

\ln = logaritmo neperiano;

N = número de observações de precipitação.

Os resultados dos parâmetros de forma e escala são então usados para encontrar a probabilidade cumulativa de um evento de precipitação observado para uma escala de tempo mensal. A probabilidade cumulativa é dada pela equação (06):

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (\text{eq. 06})$$

Substituindo $t = x / \beta$, a equação 06 transforma-se na função gama incompleta, equação (07):

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (\text{eq. 07})$$

Desde que a função gama é indeterminada para $x = 0$ e uma distribuição de precipitação pode conter zeros, a probabilidade cumulativa toma o seguinte aspecto, equação (08):

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (\text{eq. 08})$$

Sendo:

$H(x)$ = distribuição de probabilidade cumulativa;

q = probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros);

$G(x)$ = distribuição cumulativa teórica.

Se m é o número de zeros em uma série temporal de precipitação, Thom (1966) indica que q pode ser estimado por $m/n + 1$.

Thom (1966) usa tabelas da função gama incompleta para determinar a probabilidade cumulativa $G(x)$. McKee *et al.*, (1993) usam um método analítico junto com um código de software sugerido por Press *et al.*, (1988) para determinar a probabilidade cumulativa.

A distribuição de probabilidade cumulativa $H(x)$ é então transformada em uma variável aleatória normalizada (Z) com média zero e desvio padrão 1, onde a variável (Z) corresponderá ao valor de SPI. As probabilidades cumulativas empíricas foram bem desenvolvidas por Panofsky e Brier (1958), onde os dados de precipitação são ordenados em ordem crescente de magnitude, onde o tamanho da amostra é dado pela equação (09):

$$q = \frac{m}{n+1} \quad (\text{eq. 09})$$

Sendo:

m = número de ordem dos valores de zero em uma série climatológica;

n = tamanho da amostra.

Visto que seria desnecessário reproduzir vários gráficos para cada localidade e em todas as escalas temporais possíveis e para cada mês do ano, o valor de (Z) ou SPI é obtido mais facilmente pela aproximação matemática desenvolvida por Abramowitz e Stegun (1965), que converte a probabilidade cumulativa em uma distribuição normal a variável (Z).

Em que Z é definido pelas equações (10) e (11):

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (\text{eq. 10})$$

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (\text{eq. 11})$$

Sendo t definido pelas equações (12) e (13):

$$t = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{(H(x))^2}\right]} \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (\text{eq. 12})$$

$$t = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{(H(x))^2}\right]} \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (\text{eq. 13})$$

Os coeficientes utilizados nas equações (10) e (11) são:

$C_0 = 2,515517$; $C_1 = 0,802853$; $C_2 = 0,010328$;

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

Conceitualmente, o SPI representa o z-score, ou seja, o número de desvios padrão acima e abaixo do qual um evento (valor) se encontra em relação à média. Entretanto, isso não é totalmente correto para escalas curtas de tempo visto que a distribuição da precipitação original não é assimétrica.

No entanto, a Figura 12 ilustra que durante o período base, no qual os parâmetros gama são estimados, o SPI terá uma distribuição normal com valor esperado 0 e variância 1.

Um índice com essas características é desejável de modo a permitir comparações de valores do índice para diferentes localidades e regiões significativas.

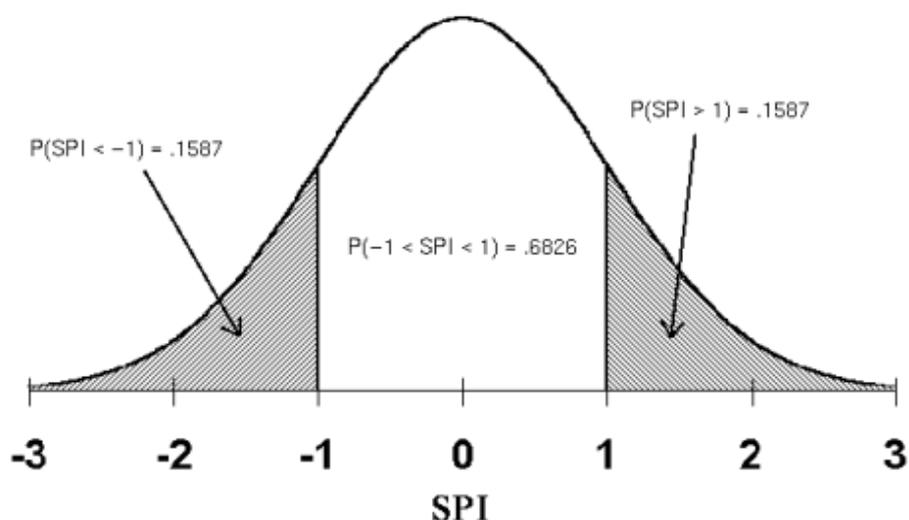


Figura 12: Distribuição normal com o SPI tendo uma média de 0 e uma variância de 1 (Fonte: Fernandes, *et al.*, 2009).

McKee *et al.*, (1993) usaram os valores de SPI para definirem a existência ou não de seca e o seu grau de intensidade. Segundo os autores, a seca ocorre sempre que o valor do SPI é continuamente negativo, atingindo uma intensidade igual ou menor que menos um (-1,0). A seca termina quando o valor do SPI se torna positivo.

A classificação é feita com base nos limites indicados na Tabela 1 permitindo caracterizar não somente as secas, mas também os períodos mais úmidos. Esse método tem a grande vantagem de padronizar a análise, permitindo comparar regiões totalmente distintas. Ou seja, regiões com climas mais úmidos e chuvosos com regiões mais áridas e secas.

Agnew (2000) lembra que com base em índices de precipitação por si só não é possível levar em conta os impactos específicos da seca. Esses impactos vão variar de acordo com a vulnerabilidade da sociedade e meio ambiente de cada região em particular.

O SPI e outros índices são apenas ferramentas para ajudar os tomadores de decisão a compreender os eventos que estão ocorrendo. É desejável o uso de uma ou mais dessas ferramentas, embora seja necessário que os tomadores de decisão se familiarizem com as suas formas de uso. Isso implica na compreensão de seus pontos fortes e limitações em situações locais.

2.12.2. Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca – ISFS

O Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca (ISFS) foi elaborado seguindo metodologia do Joint Research Centre (JRC) / Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), utilizando técnicas de preenchimento de dados com falhas e winsorização que é um procedimento estatístico para eliminação de *outliers* a partir da suavização das caudas da distribuição. O ISFS é constituído de sete subindicadores (NEVES, 2010).

Os dois primeiros, PV11 e PV12 (Figura 11), representam as características físicas dos municípios, dadas pela aptidão agrícola dos solos, uso da terra e pela condição climatológica representada pela média pluviométrica histórica municipal. Os subindicadores que constituem os aspectos socioeconômicos, PV131, PV132 e PV133 (Figura 11), representam as características da base rural, em função da proporção da população rural do município em relação à sua população total; da participação das atividades agropecuárias na economia desses municípios; e das condições de atenuação dos efeitos das secas por conta das receitas correntes per capita municipais (NEVES, 2010).

Os dois últimos subindicadores, PV21 e PV22 (Figura 11), constituem o quadro de riscos associados às perdas das safras agrícolas, em função da distribuição de chuvas e o risco de falta de água, tanto para o consumo humano quanto para o animal (NEVES, 2010).

Seu cálculo é realizado com no máximo seis fases (Figura 13). Quando não ocorrem falhas nos dados brutos de entrada, o procedimento se completa com o mínimo de duas fases (NEVES, 2010).

Na Fase um (F-1) são computadas todas as variáveis que constituem os sete subindicadores que o compõe. O subindicador é computado como falho quando da ausência ou falha em uma das variáveis que compõem este subindicador.

A Fase dois (F-2) é opcional, somente ocorrerá se houver subindicador com assimetria maior ou igual a dois. Este procedimento é realizado com o intuito de melhorar as características da distribuição dos dados e aproximar-se da condição de normalidade multivariada exigida pelo método de preenchimento múltiplo utilizado na fase seguinte.

A Fase três (F-3) constitui a rotina de preenchimento múltiplo das falhas nos dados ocorridas na fase inicial. Os métodos disponíveis para o preenchimento das falhas são três: Predictive Mean Median (PMM), Bayesian Linear Regression (BLR) e Markov Chain Monte Carlo (MCMC).

A fase quatro (F-4) só ocorrerá se a F-2 for executada, e a fase cinco (F-5) constitui o procedimento de winsorização, sendo permitida a utilização de dois patamares de winsorização (5 e 10%) (NEVES, 2010).

Por fim, a fase seis (F-6) engloba as rotinas de geração do mapa final com os resultados do ISFS, a tabela com o resultado da classificação dos municípios em relação à susceptibilidade à seca e gráficos de radar apresentando o impacto de cada um dos subindicadores na composição do índice (NEVES, 2010).

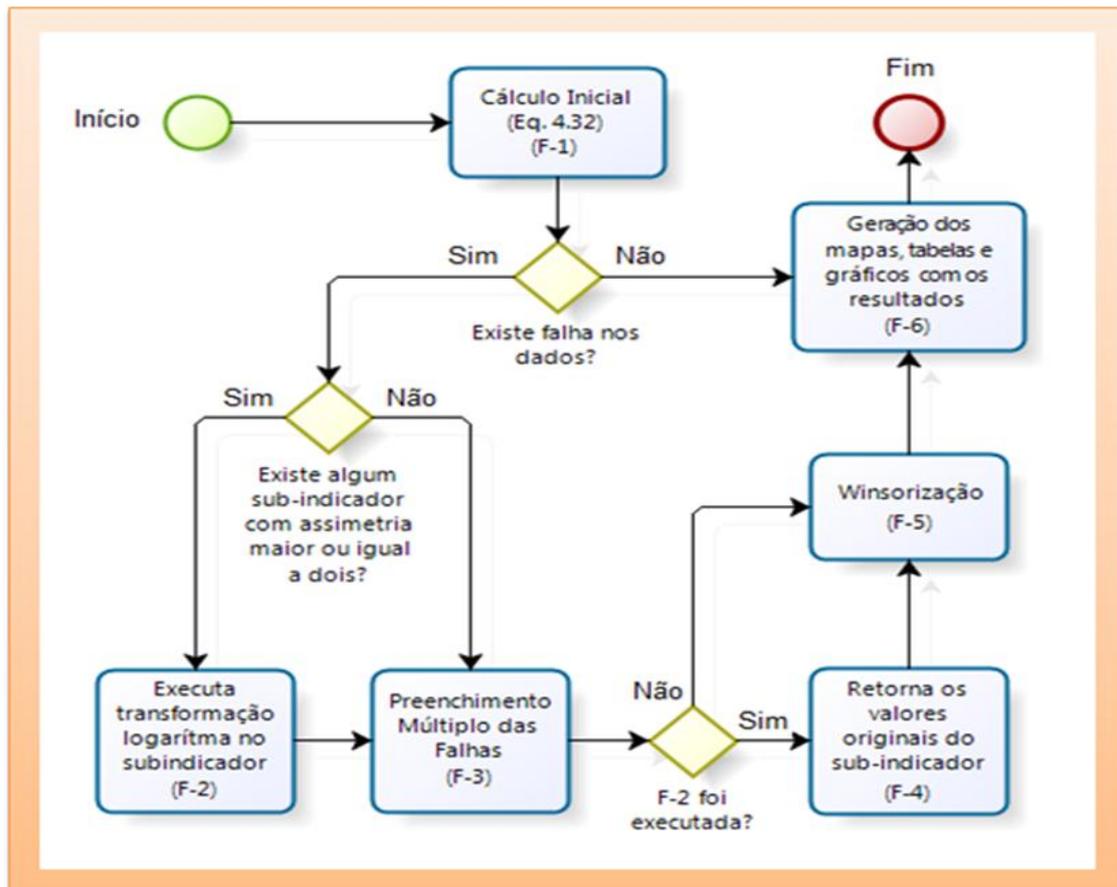


Figura 13: Estrutura do ISFS - Fluxograma de Cálculo. Fonte: Neves, 2010.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Região de Estudo

Este estudo avalia o Índice de Precipitação Normalizada (SPI) e o Índice de Suscetibilidade ao Fenômeno da Seca (ISFS), para caracterizar a evolução das condições de chuvas e estiagem na bacia do rio Guandu, e da região de seu entorno, no qual se encontram distribuídas as estações pluviométricas.

Com 2.136 km² de área de drenagem, aproximadamente 4,65% do território capixaba, a bacia hidrográfica do rio Guandu (Figura 14) localiza-se na região central serrana do Estado do Espírito Santo, entre os paralelos 19°26' e 20°20' de Latitude Sul e meridianos 40°55' e 41°23' de Longitude Oeste.

Pertence à rede hidrográfica da bacia do rio Doce; mais especificamente a seu baixo trecho. Nasce no município de Afonso Cláudio, na Serra do Castelo, situada nas proximidades da Serra do Caparaó, e deságua pela margem direita do rio Doce, no município de Baixo Guandu, percorrendo cerca de 160 km.

O rio Guandu se desenvolve na direção Sul-Norte. As nascentes se localizam na altitude aproximada de 1.250 m. Sua bacia hidrográfica está inserida nos municípios de Brejetuba, Afonso Cláudio, Laranja da Terra e Baixo Guandu. Entre os principais afluentes destacam-se os rios São Domingos e do Peixe, pela margem esquerda e, pela margem direita, os rios Boa Sorte e Taquaral.

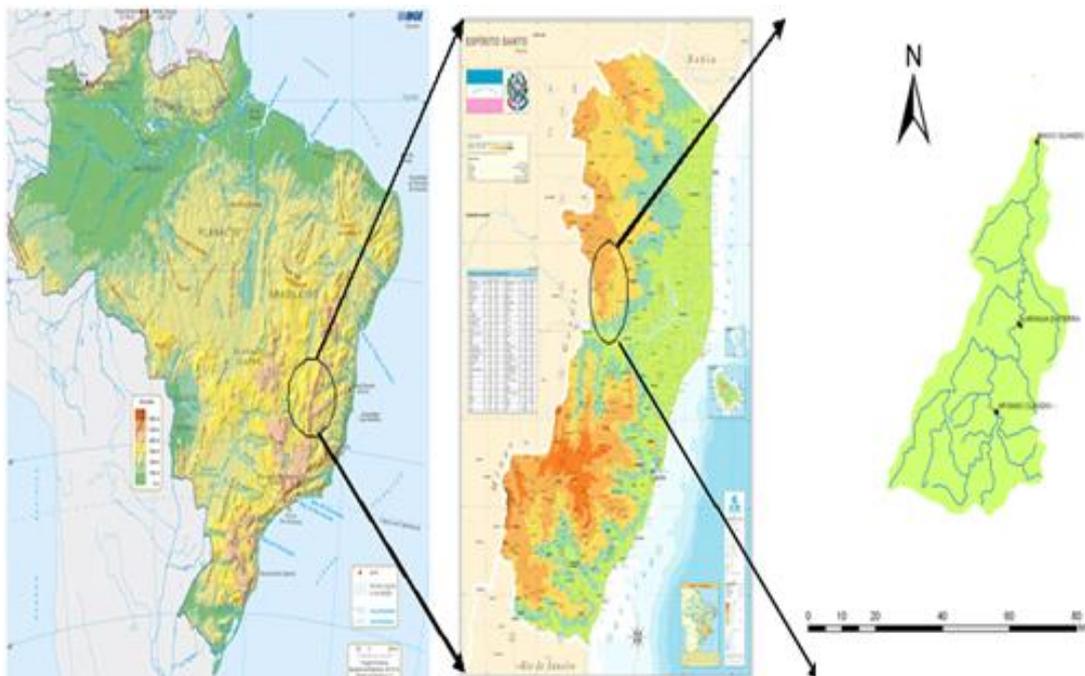


Figura 14: Localização da região em estudo.

A seguir serão discriminadas as referências das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA), utilizadas para o desenvolvimento do estudo (Tabela 3 e na Figura 14).

Tabela 3: Descrição das estações da Agência Nacional de Águas – ANA.

| Nome da Estação | Município | Longitude | Latitude | Altitude (m) | UF | Código | Bacia Hidrográfica | Precipitação Média Anual |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Baixo Guandu | Baixo Guandu | -41,000 | -19,517 | 70 | ES | 1941003 | Guandu | 878,6 |
| Itaimbé | Itaguaçu | -40,833 | -19,650 | 70 | ES | 1940012 | Santa Joana | 1099,2 |
| São Sebastião da Encruzilhada | Aimorés | -41,100 | -19,483 | 115 | MG | 1940023 | Manhuaçu | 962,3 |
| Itarana | Itarana | -40,867 | -19,867 | 165 | ES | 1940000 | Santa Joana | 1131,1 |
| Assarai – Montante | Pocrane | -41,450 | -19,583 | 172 | MG | 1941006 | Córrego do Ouro | 1063,0 |
| Laranja da Terra | Afonso Cláudio | -41,050 | -19,900 | 250 | ES | 1941008 | Guandu | 1060,3 |
| Afonso Cláudio - Montante | Afonso Cláudio | -41,117 | -20,067 | 300 | ES | 2041023 | Guandu | 1079,6 |
| Dores do Manhumirim | Manhuaçu | -41,717 | -20,100 | 458 | MG | 2041008 | Manhuaçu | 1238,2 |
| Usina Fortaleza | Muniz Freire | -41,400 | -20,367 | 580 | ES | 2041018 | Itapemirim | 1375,9 |
| Conceição do Castelo (DNOS) | Conceição do Castelo | -41,233 | -20,350 | 600 | ES | 2041011 | Itapemirim | 1403,8 |
| Iúna | Iúna | -41,533 | -20,333 | 615 | ES | 20410023 | Manhuaçu | 1189,8 |
| São Rafael | Domingos Martins | -40,933 | -20,283 | 818 | ES | 2040023 | Jucu | 1146,4 |
| Garrafão (DNOS) | Santa Leopoldina | -40,967 | -20,133 | 940 | ES | 2040008 | Santa Maria da Vitória | 1268,9 |
| Arace (DNOS) | Domingos Martins | -41,050 | -20,367 | 1075 | ES | 2041020 | Jucu | 1342,8 |

3.2. Obtenção e tratamento da base de dados climatológicos

Para a realização deste estudo, foram utilizados dados pluviométricos pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA).

Após a obtenção dos dados, elaborou-se um diagrama de barras para as estações pluviométricas e pluviométricas, objetivando a caracterização dos períodos de dados disponíveis para todas as estações, de forma a facilitar a escolha das estações a serem efetivamente usadas no estudo e o período-base adotado.

Em função da presença de uma consistente série histórica de dados (com poucas falhas) foram selecionadas as estações pluviométricas de Afonso Cláudio – Montante, Aracê, Assarai – Montante, Baixo Guandu, Conceição do Castelo, Dores do Manhumirim, Garrafão, Itaimbé, Itarana, Luna, Laranja da Terra, São Rafael, São Sebastião da Encruzilhada, Usina Fortaleza, conforme representado na Figura 15.

Após análise inicial dos dados primários de precipitação (base diária e mensal) optou-se por trabalhar com o período de janeiro de 1970 a dezembro de 2002 (33 anos-396 meses), para que todas as estações fossem estudadas no mesmo período de tempo.

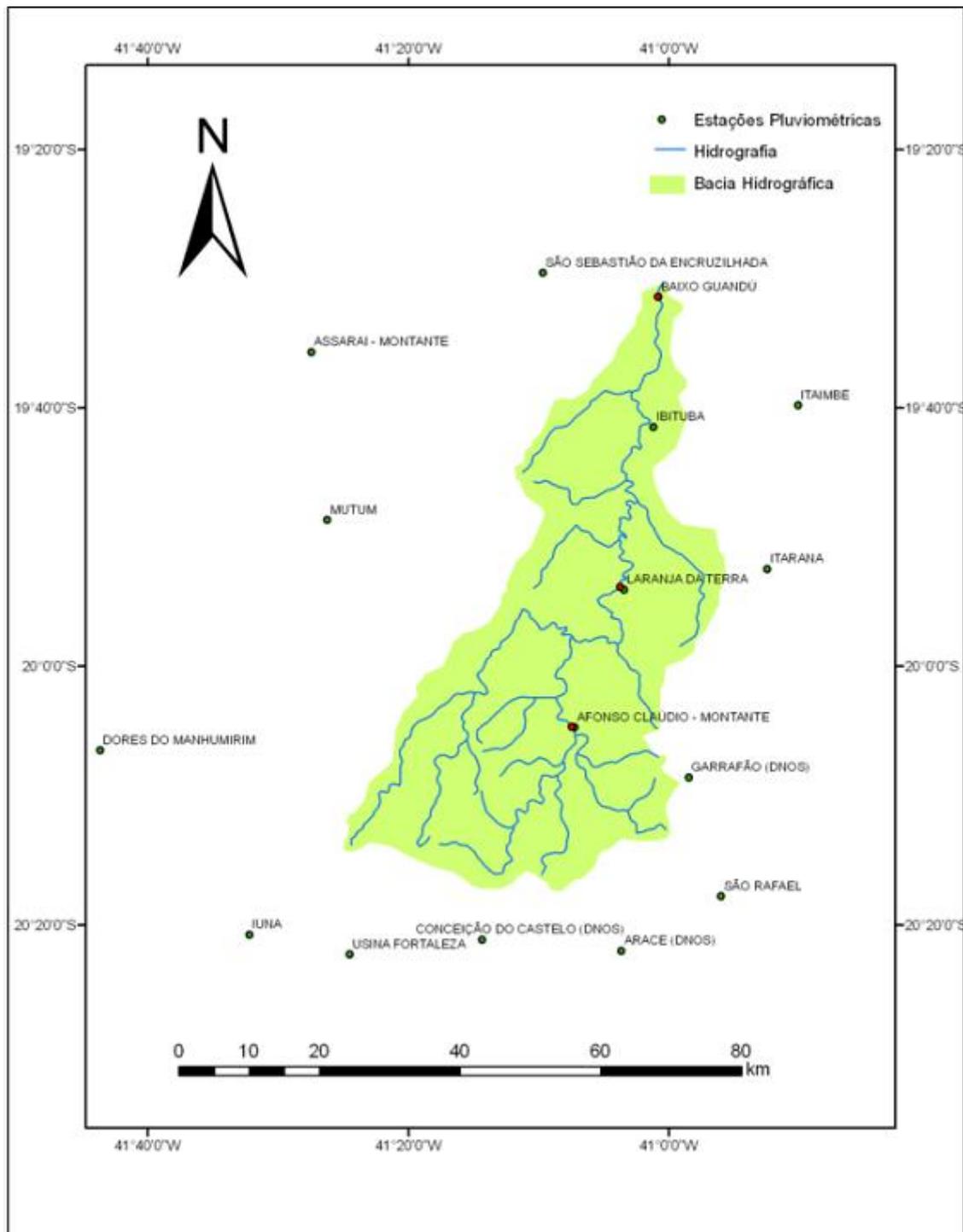


Figura 15: Mapa de localização das estações Pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA), presentes na área de estudo.

3.3. Uso de médias móveis para o cálculo do SPI

Segundo Faria *et al.*, (2008), os modelos de média móvel utilizam como previsão para um determinado período no futuro a média das observações passadas. Para os modelos de média móvel simples que são os modelos utilizados neste trabalho definimos a seguinte equação:

$$x_t = (X_{t-1} + X_{t-2} \dots + X_{t-n} / n) \quad (\text{eq. 14})$$

Na equação acima, n representa o número de observações incluídas na média x_t , ou seja, n (também pode ser chamado de janela de observações) pode ser considerado como um parâmetro a ser ajustado. Neste caso quanto maior for a janela de observações maior o efeito de alisamento na previsão.

Sendo assim, se a série em estudo apresentar muita aleatoriedade ou pequenas mudanças em seus padrões, um número maior de observações podem ser utilizadas no cálculo da média móvel, ou seja, pode-se dizer que a média móvel neste caso fica mais imune a ruídos e movimentos curtos.

Já para o caso de séries que apresentam pouca flutuação aleatória nos dados ou mudança significativa, um número menor deve ser usado para o tamanho da janela de observações. Pois caso contrário à série prevista poderá reagir de maneira muito lenta as estas mudanças significativas (FARIA *et al.*, 2008).

A escolha da escala temporal usada para o cálculo do índice relaciona-se com o tempo necessário para que os efeitos para que os eventos de seca e de chuva se façam sentir sobre os diferentes setores de atividade e sobre os recursos hídricos em geral. Deste modo, o uso de uma escala de tempo mais curta ou mais longa reflete os diferentes tempos de resposta dos recursos hídricos às anomalias de precipitação. À medida que a escala temporal aumenta, o SPI responde mais lentamente a mudanças na precipitação (MCKEE *et al.*, 1993).

Exemplificando o processo, pode-se dizer que o SPI1 para o mês de maio utiliza apenas a precipitação de maio, o SPI3 para o mês de maio usa a média da precipitação total de março, abril e maio.

Um exemplo de diferentes séries de tempo do SPI centrado no mês de junho pode ser observado na Tabela 4, a seguir.

Tabela 4: Séries temporais do SPI utilizados no estudo.

| | |
|---------------|-------------------------------------|
| SPI-1 | J |
| SPI-3 | (A+M+J)/3 |
| SPI-6 | (J+F+M+A+M+J)/6 |
| SPI-12 | (J+A+S+O+N+D+J+F+M+A+M+J)/12 |

As séries temporais de SPI utilizadas neste estudo foram obtidas a partir das médias móveis de 3, 6 e 12 meses das séries temporais das precipitações mensais acumuladas. Sendo, o SPI3 é uma média móvel trimestral, o SPI6 é uma média semestral e o SPI12 é uma média móvel anual.

3.4. Uso de uma biblioteca do R para cálculo do SPI

Neste trabalho utilizou-se uma ferramenta computacional auxiliar na caracterização dos períodos de déficit ou excesso hídrico nas regiões em estudo, por meio do uso de uma função desenvolvida no R para o cálculo do SPI (NEVES *et al.*, 2011).

O uso de pacotes estatísticos para a análise de dados é de grande importância no que se refere à análise e a interpretação de resultados. Dentre os softwares de domínio público, livres, que podem ser utilizados para análise de dados em geral, encontra-se o Ambiente R (programa estatístico e gráfico livre, disponível em <http://www.r-project.org>), ou simplesmente R, conforme usualmente é conhecido. Este apresenta código fonte aberto, ou seja, pode ser modificado ou implementado com novos procedimentos desenvolvidos por qualquer usuário a qualquer momento (PETERNELI; MELLO, 2011).

3.5. Desenvolvendo o calculo do SPI

Os valores do índice SPI representam, portanto, precipitações padronizadas. Um valor do índice igual a zero é indicativo de que não houve desvios nos valores da precipitação relativamente à precipitação média no período analisado. Valores positivos do índice SPI indicam que a precipitação é superior à média e valores negativos indicam que a precipitação é inferior àquela média, como acontece em situações de seca meteorológica (SANTOS; PORTELA, 2010).

Ele tem-se mostrado bastante útil no monitoramento de secas nos EUA, pela sua flexibilidade, simplicidade de cálculo e interpretação (HAYES et al., 1999).

O SPI requer interpretações diferentes de acordo com sua escala temporal. Por exemplo, o SPI1 mês reflete condições em curto prazo, e sua aplicação pode ser estreitamente relacionada com a umidade do solo; já o SPI3 meses fornece uma estimativa da sazonalidade à precipitação; os SPI6 meses indicam médio prazo das tendências e padrões de precipitação, o SPI12 meses reflete os padrões de precipitação de longo prazo, normalmente vinculados a níveis de reservatórios, e mesmo os níveis freáticos (NCDM, 2009).

Dessa forma, a possibilidade de identificar anomalias de precipitação para diferentes escalas de tempo, pode permitir o direcionamento de ações mitigadoras para setores específicos como produção agrícola, pecuária, consumo humano, dentre outros.

Foram selecionadas as 14 estações pluviométricas, que serviram de fonte de dados primários para o desenvolvimento do cálculo do SPI, para a bacia do Rio Guandu e adjacências. Estas informações foram acessadas através da página do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, da Agencia Nacional de Águas – ANA (hidroweb.ana.gov.br), representada na Figura 16.



Figura 16: Página inicial do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (HidroWeb), da Agencia Nacional de Águas (ANA).

3.6. Análise Preliminar dos Dados de Precipitação

A análise preliminar dos dados foi realizada primeiramente verificando a existência de dados discrepantes. Nesta fase foi verificada a existência de falhas de dados em alguns postos, bem como àqueles que poderiam ser utilizados para o preenchimento das falhas. Para este procedimento foi necessário avaliar a homogeneidade espacial entre os postos com falhas e àqueles usados no preenchimento, bem como a correlação entre os valores propriamente ditos. Foi aceito para o presente trabalho um valor de coeficiente de correlação entre os dados diários, igual ou superior a 0,8 (Tabela 5).

Para o preenchimento de falhas, primeiramente foram constituídas as séries de totais mensais precipitados e a metodologia utilizada foi a Regressão Linear Simples ($y = a + bx$) (LANNA, 2001).

Com o objetivo de analisar a consistência dos dados de precipitação foi utilizada a metodologia da Curva Dupla Massa (LANNA, 2001), usando o software PROCEDA (VIEGAS *et al.*, 2004).

Tabela 5: Correlação entre as estações, para preenchimento de falhas.

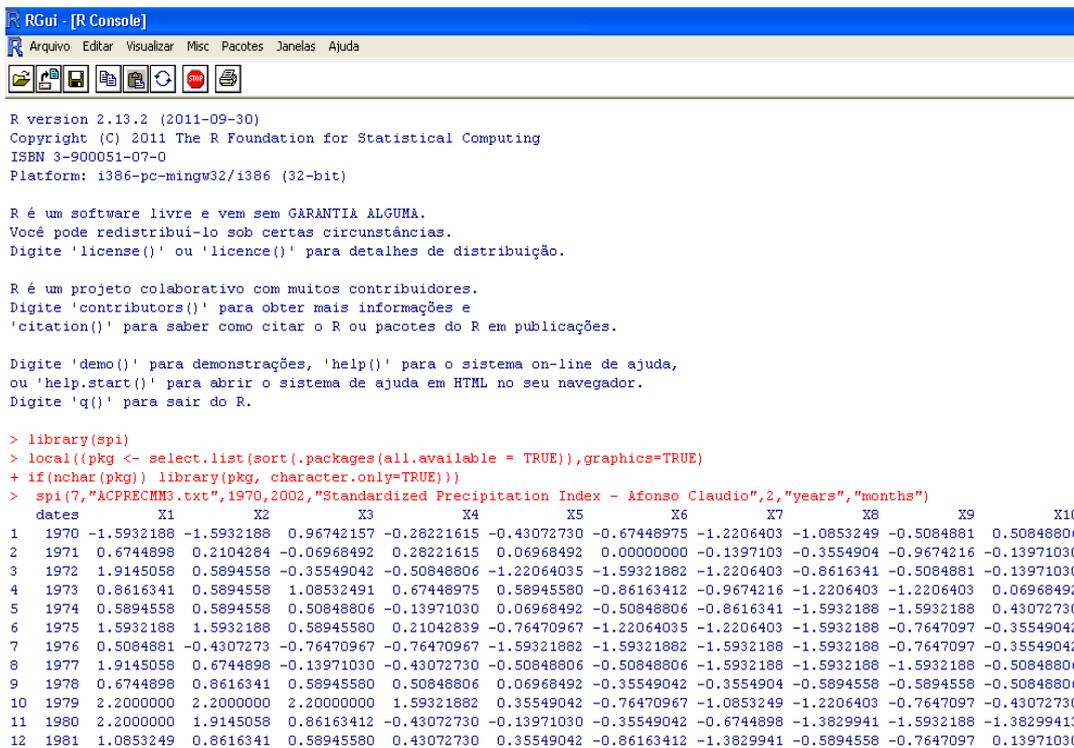
| ESTAÇÃO PREENCHIDA | ESTAÇÃO DE APOIO | CORRELAÇÃO |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Afonso Cláudio | Laranja da Terra | 0,84 |
| Laranja da Terra | Itarana | 0,88 |
| Baixo Guandu | São Sebastião da Encruzilhada | 0,93 |
| Aracê | Conceição do Castelo | 0,89 |
| São Rafael | Aracê | 0,86 |
| Assarai Montante | São Sebastião da Encruzilhada | 0,87 |
| Conceição do Castelo | Aracê | 0,89 |
| Dores do Manhumirim | lúna | 0,86 |
| lúna | Dores do Manhumirim | 0,86 |
| Garrafão | Aracê | 0,91 |
| Itaimbé | Ibituba | 0,91 |
| São Sebastião da Encruzilhada | Baixo Guandu | 0,93 |
| Usina Fortaleza | lúna | 0,89 |

Logo após, através da utilização das médias móveis foram agrupadas as precipitações para as escalas de tempo de 3, 6 e 12 meses, pois essas escalas são úteis para monitorar a escassez de precipitação e seus prováveis impactos em especial na agricultura e hidrologia da bacia.

3.7. Cálculo da frequência dos eventos de seca

O primeiro passo no cálculo SPI é ajustar os dados de longo prazo de precipitação a uma distribuição de probabilidade. A probabilidade cumulativa de precipitação pode então ser derivada a partir da função de distribuição de probabilidade. Em seguida, esta probabilidade cumulativa é transformada em uma variável padrão normal com uma média de zero e a variância de 1. Por último, o SPI assume o valor de uma variável normal padrão. Os valores negativos indicam que a precipitação SPI é menor do que a mediana. Um evento de seca é, assim, definido como um período em que o SPI é continuamente negativo.

Para auxiliar o trabalho de cálculo dos SPIs, neste estudo foi utilizado um programa estatístico, desenvolvido para tal fim e disponível no software livre R. Assim, equalizadas as fases preliminares de preparação dos dados, estes foram inseridos no programa R, para posterior cálculo do SPI para as diferentes situações, conforme Figura 17.



```
RGui - [R Console]
Arquivo Editar Visualizar Misc Pacotes Janelas Ajuda

R version 2.13.2 (2011-09-30)
Copyright (C) 2011 The R Foundation for Statistical Computing
ISBN 3-900051-07-0
Platform: i386-pc-mingw32/i386 (32-bit)

R é um software livre e vem sem GARANTIA ALGUMA.
Você pode redistribuí-lo sob certas circunstâncias.
Digite 'license()' ou 'licence()' para detalhes de distribuição.

R é um projeto colaborativo com muitos contribuidores.
Digite 'contributors()' para obter mais informações e
'citation()' para saber como citar o R ou pacotes do R em publicações.

Digite 'demo()' para demonstrações, 'help()' para o sistema on-line de ajuda,
ou 'help.start()' para abrir o sistema de ajuda em HTML no seu navegador.
Digite 'q()' para sair do R.

> library(spi)
> local({pkg <- select.list(sort(.packages(all.available = TRUE)),graphics=TRUE)
+ if(nchar(pkg)) library(pkg, character.only=TRUE)})
> spi(7,"ACPRECM3.txt",1970,2002,"Standardized Precipitation Index - Afonso Claudio",2,"years","months")
  dates      X1      X2      X3      X4      X5      X6      X7      X8      X9      X10
1 1970 -1.5932188 -1.5932188  0.96742157 -0.28221615 -0.43072730 -0.67448975 -1.2206403 -1.0853249 -0.5084881  0.50848806
2 1971  0.6744898  0.2104284 -0.06968492  0.28221615  0.06968492  0.00000000 -0.1397103 -0.3554904 -0.9674216 -0.13971030
3 1972  1.9145058  0.5894558 -0.35549042 -0.50848806 -1.22064035 -1.59321882 -1.2206403 -0.8616341 -0.5084881 -0.13971030
4 1973  0.8616341  0.5894558  1.08532491  0.67448975  0.58945580 -0.86163412 -0.9674216 -1.2206403 -1.2206403  0.06968492
5 1974  0.5894558  0.5894558  0.50848806 -0.13971030  0.06968492 -0.50848806 -0.8616341 -1.5932188 -1.5932188  0.43072730
6 1975  1.5932188  1.5932188  0.58945580  0.21042839 -0.76470967 -1.22064035 -1.2206403 -1.5932188 -0.7647097 -0.35549042
7 1976  0.5084881 -0.4307273 -0.76470967 -0.76470967 -1.59321882 -1.59321882 -1.5932188 -1.5932188 -0.7647097 -0.35549042
8 1977  1.9145058  0.6744898 -0.13971030 -0.43072730 -0.50848806 -0.50848806 -1.5932188 -1.5932188 -1.5932188 -0.50848806
9 1978  0.6744898  0.8616341  0.58945580  0.50848806  0.06968492 -0.35549042 -0.3554904 -0.5894558 -0.5894558 -0.50848806
10 1979  2.2000000  2.2000000  2.20000000  1.59321882  0.35549042 -0.76470967 -1.0853249 -1.2206403 -0.7647097 -0.43072730
11 1980  2.2000000  1.9145058  0.86163412 -0.43072730 -0.13971030 -0.35549042 -0.6744898 -1.3829941 -1.5932188 -1.38299413
12 1981  1.0853249  0.8616341  0.58945580  0.43072730  0.35549042 -0.86163412 -1.3829941 -0.5894558 -0.7647097  0.13971030
```

Figura 17: Visualização do Software Estatístico R, utilizado para o cálculo do SPI.

Os valores do SPI calculados foram separados em classes, que correspondiam a gradações de eventos de chuva, para posterior classificação das frequências de ocorrência destes eventos, durante o período estudado.

Concluídas as fases anteriores foram aplicadas análises de parâmetros estatísticos, com objetivo de caracterizar os períodos chuvosos, normais e secos, em função da frequência de ocorrência de eventos, média, desvio padrão e coeficiente de variação existentes entre as estações pluviométricas.

Como resultados, nas Figuras 36 a 47 são apresentados às frequências e intensidades de ocorrência de cada classe de eventos, nos quais são consideradas simbologia criada para este trabalho, a saber: Extremamente Chuvoso (Ext Chuv); Severamente Chuvoso (Sev Chuv); Moderadamente Chuvoso (Mod Chuv); Normal, Moderadamente Seco (Mod Seco); Severamente Seco (Sev Seco) e Extremamente Seco (Ext. Seco) e as Tabelas 16 a 27, com as médias, desvios padrões e coeficientes de variação de cada um destes tratamentos.

Para melhor visualização e comparação entre os gráficos, o resultado da classe Normal, por ser a que possui maior quantidade de eventos, foi suprimido de todos os gráficos, sendo seus valores de ocorrência inseridos à frente do nome de cada estação.

Por fim, os estudos foram agrupados em função da ordem do SPI em análise (3, 6 e 12), pois não há sentido em realizar a análise entre diferentes ordens. A distribuição das estações pluviométricas, nas Figuras 32 a 53, que apresentam as frequências de ocorrência de classes do SPI, obedecem ordem de altitude, da esquerda para a direita; sendo a estação mais a esquerda, Baixo Guandu (70m) e aquela com menor altitude e a da extrema direita, Aracê (1075m), aquela com maior altitude. Assim, os efeitos de topografia são mais facilmente identificados.

Em cada estudo foi destacado a estação pluviométrica na qual houver ocorrências de Classes de SPI, no que tange à frequência valores superiores a média adicionada de um desvio padrão.

Em anexo a este trabalho estão disponíveis mapas de SPI1 (mensais), para todos os 396 meses deste estudo. Apesar de não ter sido objeto de estudo desta tese, o SPI mensal foi utilizado para nortear a escolha dos períodos para a validação do Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca (ISFS).

3.8. Desenvolvendo o Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca (ISFS), para aplicação na bacia do rio Guandu

A partir deste ponto são apresentados os procedimentos e a metodologia necessária à adequação do ISFS para utilização no escopo de bacias hidrográficas, em função da definição conceitual dos subindicadores, a seleção das variáveis constitutivas e o método de normalização utilizado para a padronização da pontuação de cada um.

3.8.1. Considerações iniciais

O Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca (ISFS) foi construído para ser aplicado em todo o Semiárido Brasileiro e a sua aplicação foi dimensionada para o nível Estadual.

A utilização do ISFS no âmbito das bacias hidrográficas é uma metodologia inovadora de apoio à tomada de decisões à gestão de recursos hídricos. Esta ação vai de encontro às propostas da Lei 9433/97 – Lei das Águas, que Instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e a qual em seu Capítulo I, parágrafo IV, elege a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Para o desenvolvimento do ISFS, para as condições do Estado do Espírito Santo, conseqüentemente para a Bacia do Guandu, foram necessárias adequações básicas ao índice anteriormente apresentado por Neves (2010), o qual norteia este trabalho. Tais adequações estão relacionadas à:

i) Parametrização dos sete subindicadores às condições do Estado do Espírito Santo e as da bacia do Guandu;

ii) Diferenças entre o início e fim de períodos chuvosos entre as regiões Sudeste e Nordeste (Semiarido), uma vez que o ISFS e o programa de calculo do mesmo, estavam ajustados inicialmente à região nordeste;

Abaixo estão descritas as adequações necessárias para o desenvolvimento do ISFS, na bacia do rio Guandu.

3.8.2. Parametrização do Subindicador de Natureza Física – PV11

Para a parametrização deste subindicador, inicialmente foi digitalizado, através do uso do programa SPRING, o mapa de aptidão agrícola dos solos do Estado do Espírito Santo (da Superintendencia Nacional de Planejamento Agrícola – SUPLAN), na escala de 1:400.000. Para tanto, utilizou-se o módulo de edição vetorial para a digitalização dos polígonos correspondentes as classes de aptidão e as convenções cartográficas constantes no mapa. Como resultado obteve-se um mapa ou “Plano de Informação” (PI) da aptidão agrícola de Solos do Estado do Espírito Santo (Figura 18). A descrição detalhada das referidas classes de aptidão, utilizadas no mapa, encontra-se na Tabela 6.

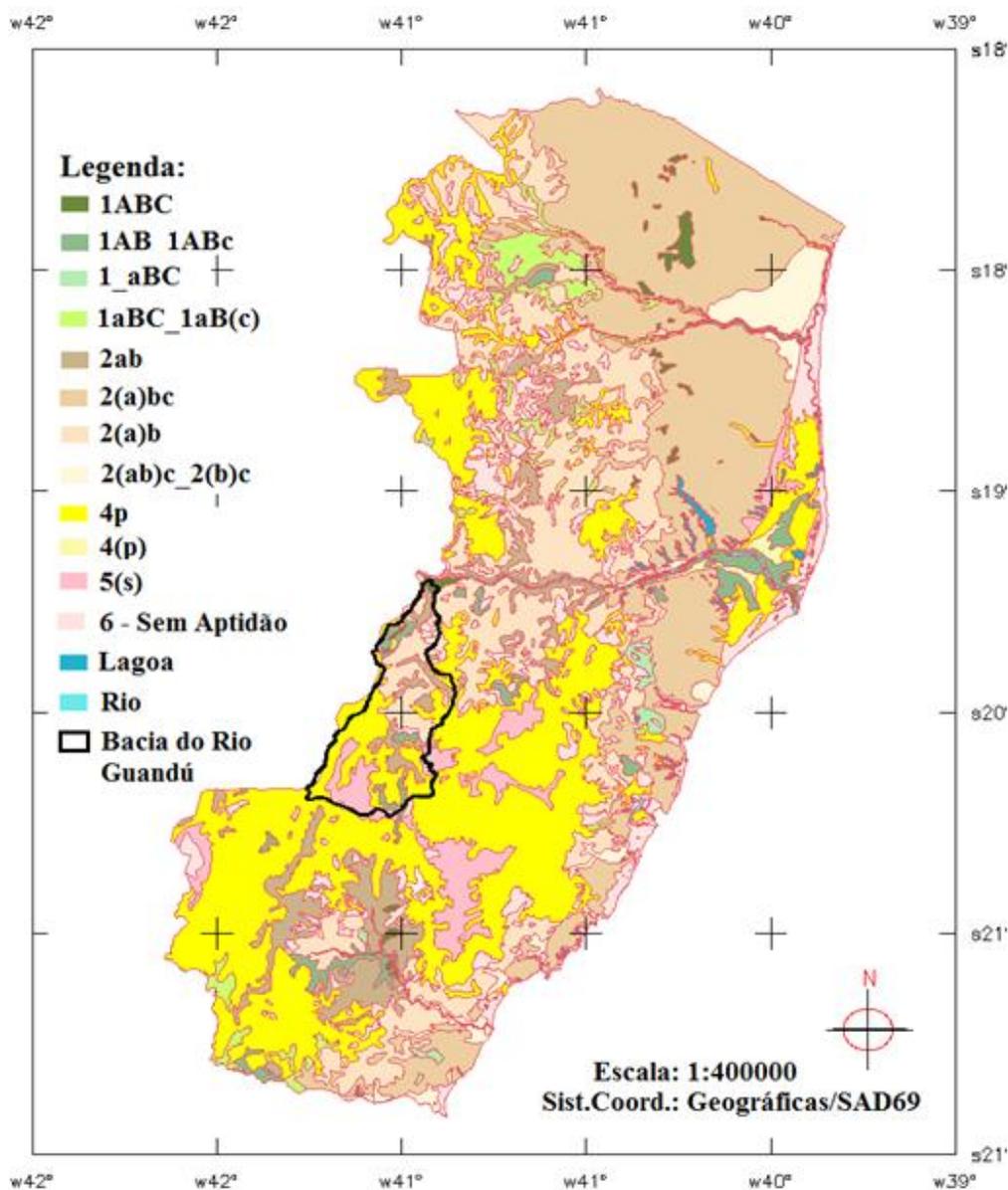


Figura 18: Mapa de Aptidão Agrícola dos Solos Espírito Santo.

Concluída esta etapa, foi utilizada a ferramenta de recorte de PIs do SPRING, para obter o PI de aptidão agrícola para cada município do Estado, utilizando como máscara a Malha Digital de Municípios do Espírito Santo, obtido no portal do IBGE, também na escala de 1:400.000 (ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/malhas_digitais/municipio_2005/E500. Acesso em: 21/05/2012). Em seguida foi realizado, também no SPRING, o cálculo das áreas das classes de aptidão agrícola para cada município. A classificação se deu em função da classe com maior área no município e a partir da Tabela 6 de convenção apresentada abaixo. Adotou-se o mesmo esquema de pontuação utilizado para o ISFS, desenvolvido por Neves (2010).

Tabela 6: Descrição dos Grupos de Aptidão Agrícola utilizadas no Espírito Santo

| ISFS | Classe Mapa | Descrição | Pontuação |
|----------|-------------|--|-----------|
| Classe 1 | I ABC | Aptidão boa nos níveis de manejo A,B e C. | 0,01 |
| | I AB | Aptidão boa nos níveis de manejo A e B. | |
| | I ABc | | |
| | I aBC | Aptidão boa nos níveis de manejo B e C. | |
| | I aBc | Aptidão boa no nível de manejo B. | |
| Classe 2 | II ab | Aptidão regular nos níveis de manejo A e B | 15,00 |
| | II (a)bc | Aptidão regular nos níveis de manejo B e C | |
| Classe 3 | II (a)b | Aptidão regular no nível de manejo B. | 35,00 |
| | II (ab)c | Aptidão regular no nível de manejo C. | |
| | II (b)c | | |
| Classe 4 | IV p | Aptidão regular para pastagem plantada | 75,00 |
| | IV (p) | Aptidão restrita para pastagem plantada | |
| Classe 5 | V (s) | Aptidão restrita para silvicultura sem aptidão para pastagem natural | 90,00 |
| Classe 6 | VI | Sem aptidão agrícola | 100,00 |

Concluída a classificação de todos os 78 municípios do ES, de acordo com a sua aptidão agrícola, apresentadas na Tabela 7, foram utilizadas a informações do censo agropecuário de 2006 na construção deste subindicador referente ao uso da terra pelo setor agropecuário. Portanto, municípios com aptidão agrícola desfavorável e alto índice de utilização de suas terras para agricultura e pecuária são mais susceptíveis à seca do que aqueles municípios que não tem uma agricultura e pecuária fortes, já que essas duas atividades, nessa ordem, são muito susceptíveis ao fenômeno da seca.

Tabela 7: Resultado da classificação da aptidão agrícola de solos do ES.

| Município | Classe Aptidão Predominante | Município | Classe Aptidão Predominante |
|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Afonso Cláudio* | 4 | Jerônimo Monteiro | 4 |
| Água Branca | 3 | João Neiva | 4 |
| Água Doce do Norte | 4 | Laranja da Terra* | 3 |
| Alegre | 4 | Linhares | 2 |
| Alfredo Chaves | 4 | Mantenópolis | 4 |
| Alto do Rio Novo | 4 | Marataízes | 2 |
| Anchieta | 3 | Marechal Floriano | 4 |
| Apiaca | 4 | Marilandia | 3 |
| Aracruz | 2 | Mimoso do Sul | 4 |
| Atílio Vivácqua | 3 | Montanha | 2 |
| Baixo Guandu* | 3 | Mucurici | 2 |
| Barra de São Francisco | 3 | Muniz Freire | 4 |
| Boa Esperança | 2 | Muqui | 4 |
| Bom Jesus do Norte | 4 | Nova Venécia | 2 |
| Brejetuba* | 4 | Pancas | 4 |
| Cachoeiro do Itapemirim | 2 | Pedro Canário | 2 |
| Cariacica | 2 | Pinheiros | 2 |
| Castelo | 2 | Piúma | 3 |
| Colatina | 3 | Ponto Belo | 2 |
| Conceição da Barra | 2 | Presidente Kennedy | 2 |
| Conceição do Castelo | 4 | Rio Bananal | 3 |
| Divino de São Lourenço | 4 | Rio Novo do Sul | 4 |
| Domingos Martins | 4 | Santa Leopoldina | 4 |
| Dores do Rio Preto | 4 | Santa Maria de Jetibá | 4 |
| Ecoporanga | 3 | Santa Teresa | 4 |
| Fundão | 2 | São Domingos do Norte | 3 |
| Governador Lindenberg | 3 | São Gabriel da Palha | 3 |
| Guaçuí | 4 | São José do Calçado | 4 |
| Guarapari | 4 | São Mateus | 2 |
| Ibatiba | 4 | São Roque de Canaã | 3 |
| Ibiraçu | 4 | Serra | 2 |
| Ibitirama | 4 | Sooretama | 2 |
| Iconha | 4 | Vargem Alta | 4 |
| Irupi | 4 | Venda Nova do Imigrante | 4 |
| Itaguaçu | 3 | Viana | 4 |
| Itapemirim | 3 | Vila Pavão | 3 |
| Itarana | 4 | Vila Valério | 3 |
| Iúna | 4 | Vila Velha | 6 |
| Jaguaré | 2 | Vitória | 6 |

*Em amarelo estão destacados os municípios da bacia do rio Guandu.

A seguir é apresentada a equação (15), que foi utilizada na parametrização deste subindicador:

$$PV11_i = \frac{PAA_i \times (ALP_i + ALT_i + APFC_i + AOL_i + APN_i + APPBC_i + APPD_i)}{1000} \quad (\text{eq. 15})$$

Onde,

PAA_i = *Peso (pontuação) da aptidão agrícola do solo do município*

ALP_i = *Área de lavoura permanente do município i*

ALT_i = *Área de lavoura temporária do município i*

$APFC_i$ = *Área plantada com forrageira de corte do município i*

AOL_i = *Área de outras lavouras do município i*

APN_i = *Área de pastagem natural do município i*

$APPBC_i$ = *Área de pastagem plantada em boas condições do município i*

$APPD_i$ = *Área de pastagem plantada em situação degradada do município i*
com, $i = 1; \dots; 78$.

Neste ponto, mais uma vez foram feitas adaptações em relação ao ISFS originalmente ajustado a região Nordeste. Com relação ao Estado do Espírito Santo foram consideradas as áreas plantadas com forrageiras de corte e áreas de outras lavouras que foram computadas como áreas de lavouras temporárias em descanso, para a implementação do programa computacional que calcula o ISFS.

Também foram computadas as áreas de pastagem plantada em boas condições e áreas de pastagem plantadas em situação de degradada, no lugar das áreas de pastagens plantadas no município.

Na Figura 19 é apresentada a escala de pontuação utilizada para este subindicador usando como referência as informações do Censo Agropecuário do IBGE - 2006 e na Figura 20 é apresentada a distribuição para o mesmo. Optou-se como método de normalização uma escala de categorias dadas pelas equações (16) a (18) (segmentos de retas A, B, e C). Para qualquer valor do subindicador acima de 300, na normalização é atribuída à pontuação 100.

$$A: (Y = 0,65X) \quad (\text{eq. 16})$$

$$B: (Y = 0,2X + 45) \quad (\text{eq. 17})$$

$$C: (Y = 0,15X + 55) \quad (\text{eq. 18})$$



Figura 19: Gráfico da escala de pontuação o subindicador “Natureza Física - PV11”.

Histograma - PV11 - Espírito Santo

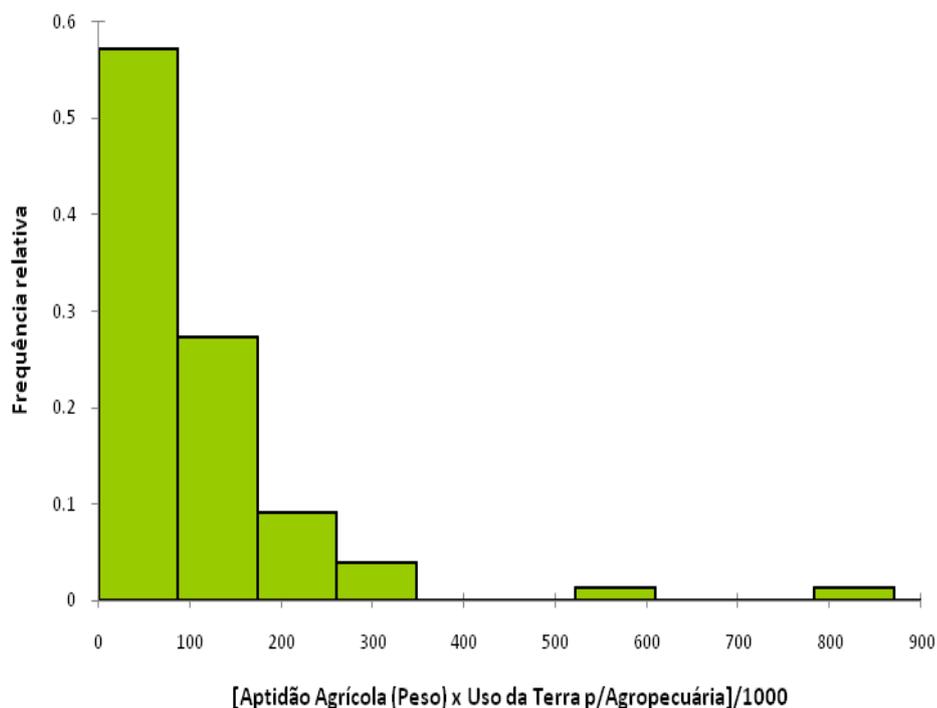


Figura 20: Distribuição do subindicador “Natureza Física” - PV11.

Na Tabela 8, são apresentados os resultados da classificação da aptidão agrícola de solos para os 78 municípios do ES e a classificação do subindicador “Natureza Física - PV11”, em ordem decedente.

Tabela 8: Resultados do subindicador “Natureza Física - PV11”.

| Municípios | Aptidão Agrícola | Peso | ALP(ha) | ALT(ha) | APFC(ha) | AOL(ha) | APN(ha) | APPBC(ha) | APPD(ha) | Total(ha) | PV11 |
|-------------------------------|------------------|------|---------|---------|----------|---------|---------|-----------|----------|-----------|--------|
| Santa Maria de Jetibá | 4 | 75 | 3090 | 3616 | 3624 | 33 | 43 | 851 | 222 | 11479 | 860,93 |
| Domingos Martins | 4 | 75 | 2468 | 1889 | 1906 | 10 | 48 | 1089 | 174 | 7584 | 568,80 |
| Afonso Cláudio | 4 | 75 | 2431 | 1564 | 1583 | 6 | 110 | 1502 | 90 | 7286 | 546,45 |
| Muniz Freire | 4 | 75 | 1777 | 692 | 761 | 1 | 69 | 894 | 68 | 4262 | 319,65 |
| Mimoso do Sul | 4 | 75 | 1803 | 342 | 458 | 1 | 103 | 1362 | 82 | 4151 | 311,33 |
| Alegre | 4 | 75 | 1169 | 418 | 612 | 4 | 99 | 1270 | 50 | 3622 | 271,65 |
| Santa Leopoldina | 4 | 75 | 1203 | 723 | 744 | 2 | 46 | 570 | 50 | 3338 | 250,35 |
| Santa Teresa | 4 | 75 | 1401 | 603 | 619 | 16 | 57 | 413 | 31 | 3140 | 235,50 |
| Pancas | 4 | 75 | 1412 | 163 | 174 | 5 | 24 | 827 | 60 | 2665 | 199,88 |
| Itarana | 4 | 75 | 835 | 679 | 689 | 1 | 35 | 382 | 17 | 2638 | 197,85 |
| Iúna | 4 | 75 | 1402 | 177 | 190 | 5 | 40 | 683 | 51 | 2548 | 191,10 |
| Guaçuí | 4 | 75 | 923 | 202 | 364 | 3 | 94 | 840 | 40 | 2466 | 184,95 |
| Água Doce do Norte | 4 | 75 | 882 | 252 | 277 | - | 65 | 735 | 127 | 2338 | 175,35 |
| Laranja da Terra | 3 | 35 | 1212 | 1169 | 1181 | 6 | 52 | 1020 | 253 | 4893 | 171,26 |
| Barra de São Francisco | 3 | 35 | 1851 | 565 | 635 | 5 | 94 | 1485 | 217 | 4852 | 169,82 |
| Guarapari | 4 | 75 | 952 | 231 | 288 | 3 | 71 | 591 | 30 | 2166 | 162,45 |
| Conceição do Castelo | 4 | 75 | 912 | 286 | 333 | 2 | 68 | 521 | 22 | 2144 | 160,80 |
| Alfredo Chaves | 4 | 75 | 947 | 302 | 318 | 1 | 55 | 462 | 49 | 2134 | 160,05 |
| Mantenópolis | 4 | 75 | 688 | 388 | 403 | - | 44 | 460 | 30 | 2013 | 150,98 |
| Ibitirama | 4 | 75 | 838 | 136 | 233 | 2 | 119 | 664 | 14 | 2006 | 150,45 |
| Colatina | 3 | 35 | 1661 | 412 | 498 | 3 | 73 | 1127 | 191 | 3965 | 138,78 |
| Muqui | 4 | 75 | 635 | 219 | 242 | 1 | 97 | 561 | 9 | 1764 | 132,30 |
| Itaguaçu | 3 | 35 | 1125 | 686 | 718 | 4 | 118 | 927 | 38 | 3616 | 126,56 |
| Vargem Alta | 4 | 75 | 904 | 184 | 189 | 3 | 24 | 307 | 61 | 1672 | 125,40 |

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---|----|------|-----|-----|----|-----|------|-----|------|--------|
| Marechal Floriano | 4 | 75 | 737 | 328 | 334 | 18 | 8 | 192 | 21 | 1638 | 122,85 |
| Ibatiba | 4 | 75 | 1111 | 79 | 88 | 1 | 4 | 284 | 4 | 1571 | 117,83 |
| Divino de São Lourenço | 4 | 75 | 608 | 119 | 181 | - | 22 | 562 | 64 | 1556 | 116,70 |
| Iconha | 4 | 75 | 823 | 96 | 107 | - | 27 | 481 | 12 | 1546 | 115,95 |
| São José do Calçado | 4 | 75 | 439 | 127 | 194 | - | 36 | 625 | 19 | 1440 | 108,00 |
| Vila Pavão | 3 | 35 | 1021 | 436 | 500 | 2 | 14 | 883 | 190 | 3046 | 106,61 |
| Venda Nova do Imigrante | 4 | 75 | 494 | 354 | 365 | 20 | 12 | 161 | 6 | 1412 | 105,90 |
| Ecoporanga | 3 | 35 | 671 | 368 | 423 | 3 | 78 | 1338 | 122 | 3003 | 105,11 |
| Baixo Guandu | 3 | 35 | 834 | 467 | 531 | 1 | 79 | 990 | 44 | 2946 | 103,11 |
| Jerônimo Monteiro | 4 | 75 | 612 | 97 | 164 | 2 | 37 | 406 | 11 | 1329 | 99,68 |
| Alto do Rio Novo | 4 | 75 | 466 | 177 | 179 | - | 9 | 252 | 50 | 1133 | 84,98 |
| Brejetuba | 4 | 75 | 766 | 63 | 66 | 1 | 13 | 215 | 8 | 1132 | 84,90 |
| São Gabriel da Palha | 3 | 35 | 1155 | 172 | 195 | - | 15 | 704 | 141 | 2382 | 83,37 |
| Vila Valério | 3 | 35 | 1417 | 168 | 169 | 6 | 29 | 511 | 78 | 2378 | 83,23 |
| Irupi | 4 | 75 | 764 | 33 | 38 | 3 | 5 | 258 | 8 | 1109 | 83,18 |
| Águia Branca | 3 | 35 | 947 | 216 | 234 | - | 54 | 826 | 62 | 2339 | 81,87 |
| Rio Bananal | 3 | 35 | 1444 | 62 | 67 | 2 | 32 | 546 | 114 | 2267 | 79,35 |
| Rio Novo do Sul | 4 | 75 | 567 | 28 | 66 | - | 23 | 338 | 17 | 1039 | 77,93 |
| São Roque de Canaã | 3 | 35 | 806 | 403 | 405 | - | 22 | 448 | 87 | 2171 | 75,99 |
| Viana | 4 | 75 | 356 | 174 | 192 | 3 | 7 | 183 | 39 | 954 | 71,55 |
| Nova Venécia | 2 | 15 | 1791 | 419 | 504 | 2 | 89 | 1523 | 201 | 4529 | 67,94 |
| Dores do Rio Preto | 4 | 75 | 366 | 87 | 106 | - | 27 | 286 | 6 | 878 | 65,85 |
| Apiaca | 4 | 75 | 326 | 63 | 118 | 1 | 17 | 340 | 7 | 872 | 65,40 |
| São Mateus | 2 | 15 | 1733 | 413 | 448 | 4 | 109 | 945 | 73 | 3725 | 55,88 |
| Itapemerim | 3 | 35 | 441 | 308 | 344 | 1 | 48 | 355 | 49 | 1546 | 54,11 |
| Cachoeiro do Itapemerim | 2 | 15 | 1442 | 348 | 474 | 8 | 157 | 1144 | 33 | 3606 | 54,09 |
| Linhares | 2 | 15 | 1792 | 182 | 212 | 7 | 83 | 1116 | 141 | 3533 | 53,00 |
| São Domingos do Norte | 3 | 35 | 761 | 79 | 94 | 1 | 15 | 494 | 38 | 1482 | 51,87 |

| | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|-----|------|------|------|---|----|-----|----|------|-------|
| Castelo | 2 | 15 | 1413 | 245 | 320 | 3 | 60 | 851 | 29 | 2921 | 43,82 |
| Ibiraçu | 4 | 75 | 216 | 86 | 86 | - | 25 | 142 | 18 | 573 | 42,98 |
| Marataízes | 2 | 15 | 60 | 1306 | 1306 | - | - | 87 | 8 | 2767 | 41,51 |
| João Neiva | 4 | 75 | 228 | 31 | 33 | - | 13 | 207 | 34 | 546 | 40,95 |
| Governador Lindenberg | 3 | 35 | 604 | 50 | 52 | - | 1 | 268 | 90 | 1065 | 37,28 |
| Marilandia | 3 | 35 | 668 | 28 | 30 | - | 6 | 225 | 95 | 1052 | 36,82 |
| Montanha | 2 | 15 | 455 | 442 | 488 | 3 | 39 | 626 | 88 | 2141 | 32,12 |
| Atilio Vivacqua | 3 | 35 | 365 | 44 | 93 | 1 | 61 | 306 | 10 | 880 | 30,80 |
| Bom Jesus do Norte | 4 | 75 | 87 | 59 | 87 | - | 14 | 137 | 7 | 391 | 29,33 |
| Anchieta | 3 | 35 | 375 | 60 | 82 | - | 13 | 246 | 52 | 828 | 28,98 |
| Vila Velha | 6 | 100 | 55 | 49 | 70 | 4 | 8 | 78 | 9 | 273 | 27,30 |
| Pinheiros | 2 | 15 | 445 | 305 | 325 | 2 | 35 | 488 | 57 | 1657 | 24,86 |
| Presidente Kennedy | 2 | 15 | 113 | 277 | 309 | - | 21 | 500 | 13 | 1233 | 18,50 |
| Aracruz | 2 | 15 | 597 | 79 | 97 | 1 | 16 | 339 | 43 | 1172 | 17,58 |
| Conceição da Barra | 2 | 15 | 347 | 282 | 283 | 1 | 10 | 210 | 7 | 1140 | 17,10 |
| Boa Esperança | 2 | 15 | 467 | 130 | 131 | 2 | 12 | 374 | 13 | 1129 | 16,94 |
| Jaguare | 2 | 15 | 787 | 39 | 46 | 5 | 11 | 210 | 28 | 1126 | 16,89 |
| Pedro Canário | 2 | 15 | 212 | 282 | 287 | - | 22 | 301 | 11 | 1115 | 16,73 |
| Fundão | 2 | 15 | 460 | 94 | 108 | 2 | 8 | 316 | 20 | 1008 | 15,12 |
| Mucurici | 2 | 15 | 93 | 152 | 281 | 1 | 30 | 284 | 8 | 849 | 12,74 |
| Sooretama | 2 | 15 | 569 | 39 | 42 | 4 | 5 | 101 | 75 | 835 | 12,53 |
| Ponto Belo | 2 | 15 | 91 | 149 | 155 | - | 9 | 314 | 15 | 733 | 11,00 |
| Piúma | 3 | 35 | 86 | 32 | 44 | - | 10 | 128 | 11 | 311 | 10,89 |
| Cariacica | 2 | 15 | 299 | 118 | 136 | 4 | 7 | 93 | 19 | 676 | 10,14 |
| Serra | 2 | 15 | 101 | 23 | 53 | 4 | 32 | 176 | 19 | 408 | 6,12 |
| Vitória | 6 | 100 | - | 1 | 1 | - | - | 5 | - | 7 | 0,70 |

*Em amarelo estão destacados os municípios pertencentes à bacia do rio Guandu.

3.8.3. Parametrização do Subindicador de Natureza Climatológica – PV12

A adaptação deste subindicador seguiu a definição original utilizada no ISFS, com uma pequena diferença, pois em vez de se considerar a precipitação média histórica anual, se considerou a precipitação média histórica do período chuvoso. Isso foi feito pelo motivo do período chuvoso da bacia iniciar no ano anterior ao ano de referência de cálculo do índice. Portanto, foram utilizados dados de precipitação histórica do período chuvoso de cada município, presentes na bacia. Na Figura 21 é apresentado o gráfico da escala de pontuação, adaptada às condições do Espírito Santo, para ser utilizada na aplicação deste subindicador. Também foi determinada como método de normalização uma escala de categorias dada pelas equações (19) e (20).

Para qualquer município cuja média histórica da precipitação do período chuvoso é igual ou inferior a 800mm atribuíam-se 100 pontos, e para qualquer valor acima de 1100mm atribui-se 0 pontos. Nos pontos intermediários correspondentes aos seguimentos de retas A e B a pontuação é obtida pelas referidas equações descritas abaixo.

$$A: (Y = -0,3125X + 350) \quad (\text{eq. 19})$$

$$B: (Y = -0,3750X + 412,5) \quad (\text{eq. 20})$$

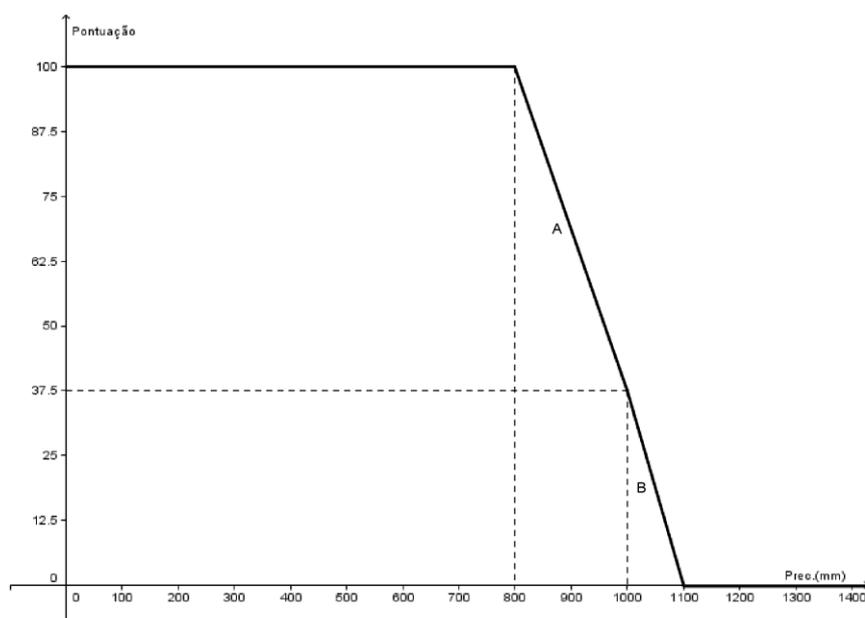


Figura 21: Gráfico da escala de pontuação para o subindicador “Natureza Climatológica - PV12”.

A Figura 22 apresenta o resultado da distribuição deste subindicador.

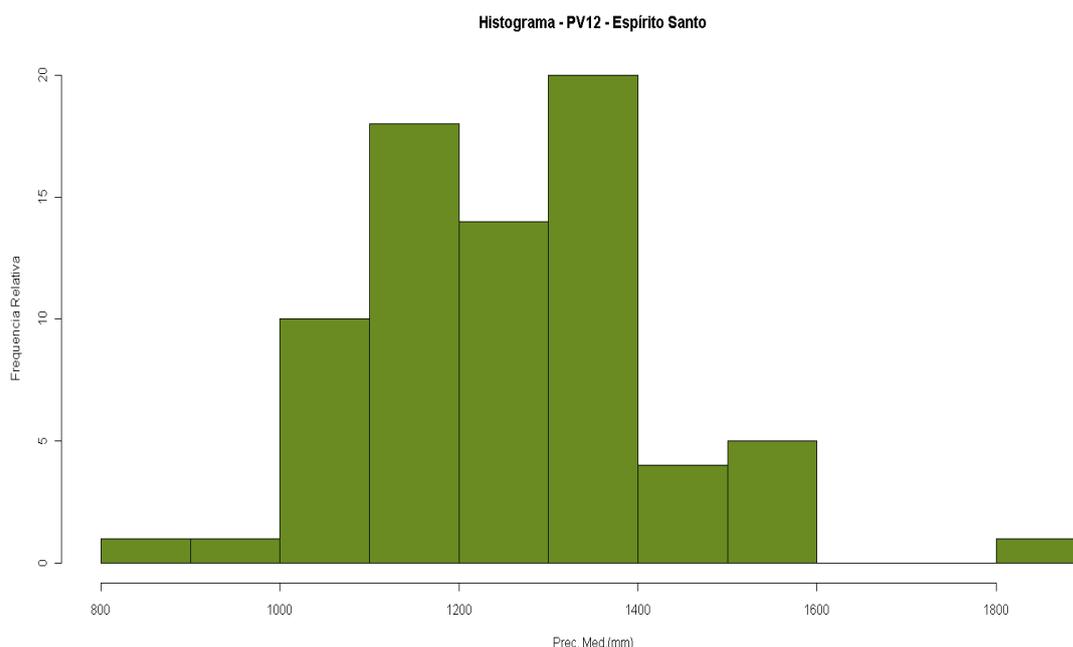


Figura 22: Histograma de distribuição do subindicador “Natureza Climatológica - PV12”

3.8.4. Parametrização do Subindicador de Natureza Socioeconômica – Efeito sobre a base Rural - PV131

A adaptação deste subindicador seguiu a definição original utilizada no ISFS, ou seja, seguindo uma escala de pontuação linear função do número de habitantes na zona rural do município. A função de valor foi obtida de acordo com a distribuição da população rural (Figura 23) dada pela equação

onde X é a população rural do município, $C = \frac{100}{pop_{max}} = 0,004$ e

$pop_{max} = 25.000$ o limite máximo da população rural utilizada nos cálculos. Para populações acima de 25.000 habitantes atribuem-se 100 pontos.

As populações rurais foram obtidas no Censo 2010 do IBGE. A atualização deste subindicador ocorrerá de acordo com a periodicidade de atualização das informações populacionais dos censos, o que se dá a cada dez anos.

A Figura 23 abaixo apresenta o resultado da distribuição deste subindicador.

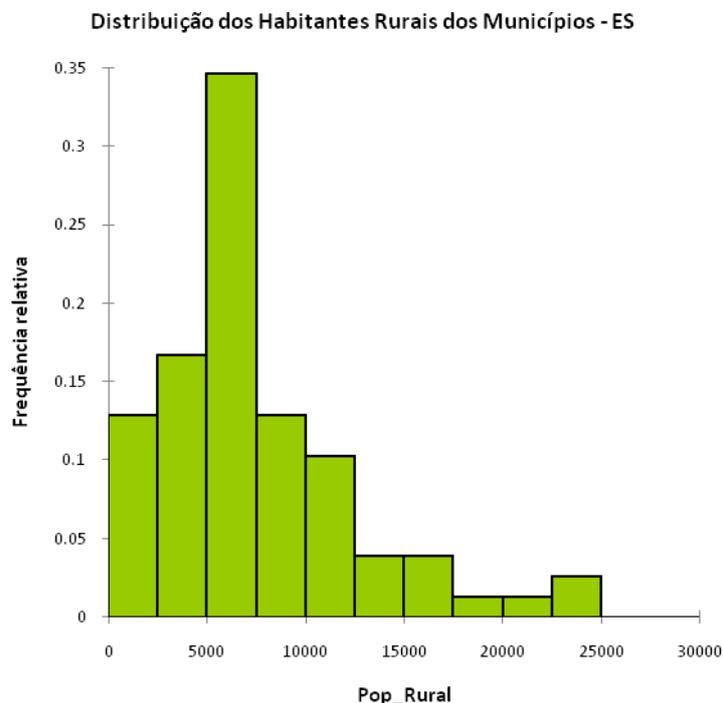


Figura 23: Histograma de distribuição do subindicador PV131.

3.8.5. Parametrização do Subindicador de Natureza Socioeconômica – Efeito Sobre a Base Econômica - PV132

Para este subindicador também foi utilizada a definição do ISFS, sendo, portanto obtido a partir do cálculo da participação do PIB rural em relação ao PIB total de cada município. O método de normalização, seguindo o utilizado no ISFS, foi definido a partir de uma escala de categorias dadas pelas equações (21), (22), (23) e (24) e apresentado pela Figura 24. Este subindicador terá uma periodicidade de atualização anual, pois o PIB dos municípios apresenta variação de ano para ano.

$$A: (Y = 0,8X) \tag{eq. 21}$$

$$B: (Y = 1,6X + 10) \tag{eq. 22}$$

$$C: (Y = 2,4X + 30) \tag{eq. 23}$$

$$D: (Y = 3,2X + 60) \tag{eq. 24}$$



Figura 24: Gráfico da escala de pontuação utilizada para o subindicador “Natureza Socioeconômica” - Efeito Sobre a Base Econômica - PV132.

A seguir, a Figura 25 apresenta o resultado da distribuição do subindicador Natureza Socioeconômica – Efeito sobre a base econômica - PV132.

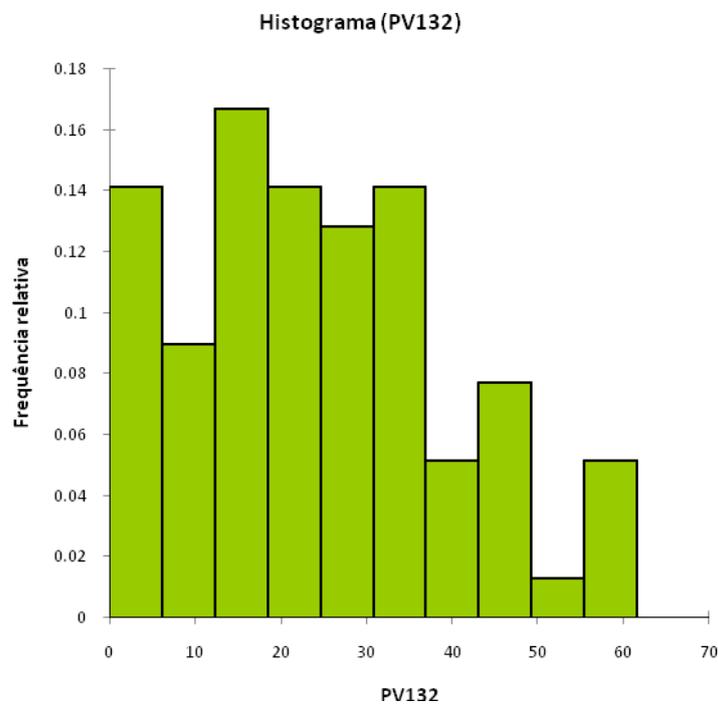


Figura 25: Histograma de distribuição do subindicador “Natureza Socioeconômica” - Efeito Sobre a Base Econômica - PV132.

3.8.6. Parametrização do Subindicador de Natureza Socioeconômica – Condições Municipais de Atenuação dos Efeitos da Seca - PV133

Para este subindicador, assim como no ISFS, foi definida uma normalização obtida por uma função linear dependente da quantidade de receita per capita (Recpc) recebida pelos municípios, equação (25):

$$\text{Recpc} = (\text{Receitas Correntes}_{\text{mun}}) / (\text{População}_{\text{mun}}) \quad (\text{eq. 25})$$

Como a receita corrente do município é variável de ano para ano, esse subindicador também apresentará essa variação. Na Figura 26 é apresentada a escala de pontuação utilizada para a normalização deste subindicador, cujos limites foram obtidos em função da distribuição de frequência das receitas per capita médias dos municípios no período de 1994 a 2010 (Figura 27). Os dados de receitas dos municípios foram obtidos na Secretaria de Tesouro Nacional do Ministério da Fazenda e os de população no censo 2010 do IBGE.

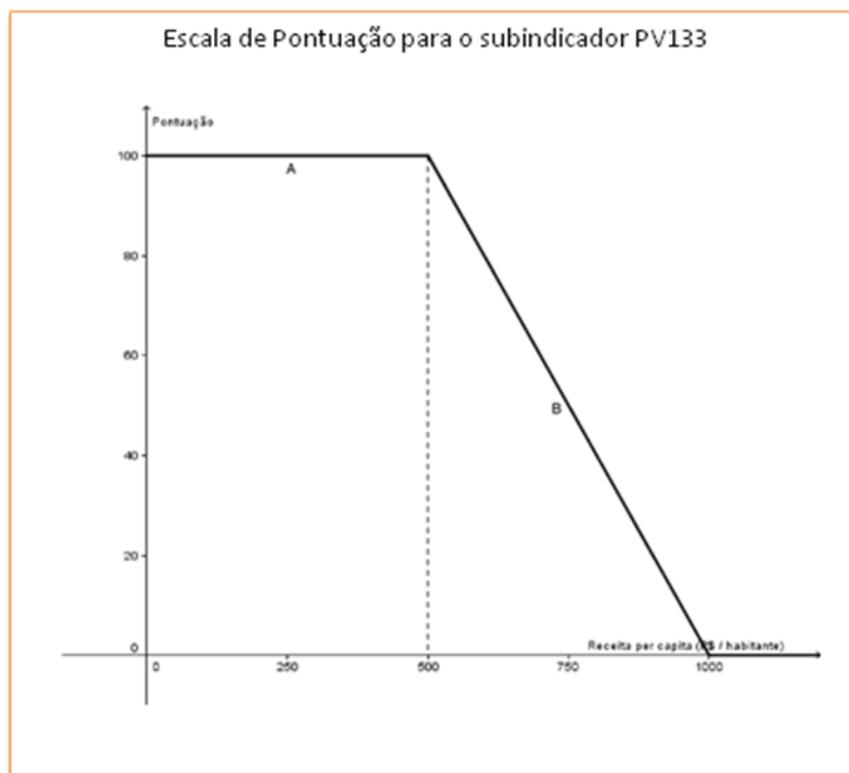


Figura 26: Gráfico da escala de pontuação utilizada para o subindicador “Natureza Socioeconômica” - Condições Municipais de Atenuação dos Efeitos da Seca - PV133.

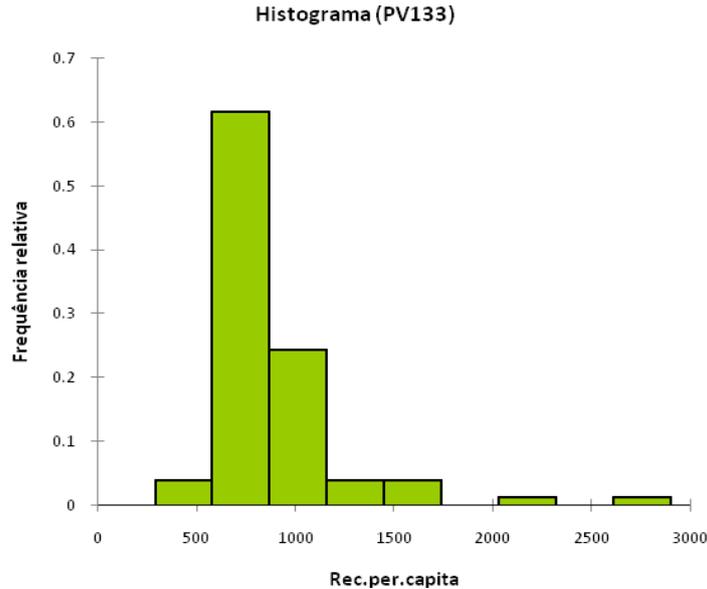


Figura 27: Histograma de distribuição do subindicador “Natureza Socioeconômica” - Condições Municipais de Atenuação dos Efeitos da Seca - PV133.

3.8.7. Parametrização do Subindicador: Risco de Perda da Produção Agrícola - PV21

Neste subindicador foi mantida a definição original do ISFS com respeito a utilização do Índice de Distribuição de Chuvas (IDC). O IDC associa variações pluviométricas, temporais e espaciais da precipitação, levando-se em consideração o período escolhido para a análise e é obtido a partir das equações (26) e (27), a seguir:

$$IS = \frac{\Psi_1 \times \Psi_3 \times P_{obs}}{ND \times (ND - \Psi_2)} \quad (eq. 26)$$

$$IDC = \frac{1000 \times IS}{P} \quad (eq. 27)$$

onde,

IS = Índice de Seca;

Ψ_1 = Número de dias com chuva;

Ψ_2 = Duração em dias do maior período sem chuva;

Ψ_3 = Número de dias do maior período de chuvas, no qual não ocorreu um veranico igual ou superior a 15 dias;

P_{obs} = Precipitação observada no período para o posto pluviométrico ou município;

IDC = Índice de Distribuição de Chuvas;

P = Precipitação média observada no período escolhido para todo o Estado ou região considerada;

ND = Número total de dias do período escolhido para o cálculo do IDC.

A partir daí, os resultados obtidos são classificados nas categorias dadas pela Tabela 9, abaixo:

Tabela 9: Classificação utilizada para o Índice de Distribuição de Chuvas.

| Categoria | Variação do IDC | Classificação | Descrição |
|------------------|------------------------|----------------------|---|
| 1º | ≥ 301 | Muito Bom | A precipitação apresenta-se acima da normal climatológica e/ou nas categorias Chuvosa e Muito Chuvosa |
| 2º | 201 – 300 | Bom | A precipitação apresenta-se em torno da normal climatológica e/ou na categoria Normal |
| 3º | 101 – 201 | Regular | A precipitação apresenta-se no limite inferior da categoria Normal com quebra na safra agrícola. |
| 4º | 000 – 100 | Crítica | A precipitação apresenta-se entre as categorias Seco e Muito Seco |

Na Figura 28 é apresentada a escala de pontuação para a normalização deste subindicador, dada pelas equações (28), (29), (30) e (31), na qual são prestigiados municípios com IDCs baixos e desprestigiados municípios com IDCs altos. O período considerado para cálculo do IDC é o período chuvoso de cada região onde está inserido o município em questão.

$$A: (Y = 100 - 0,1X) \quad (\text{eq. 28})$$

$$B: (Y = 120 - 0,5X) \quad (\text{eq. 29})$$

$$C: (Y = 97,5 - 0,35X) \quad (\text{eq. 30})$$

$$D: (Y = 13,33 - 0,0133X) \quad (\text{eq. 31})$$

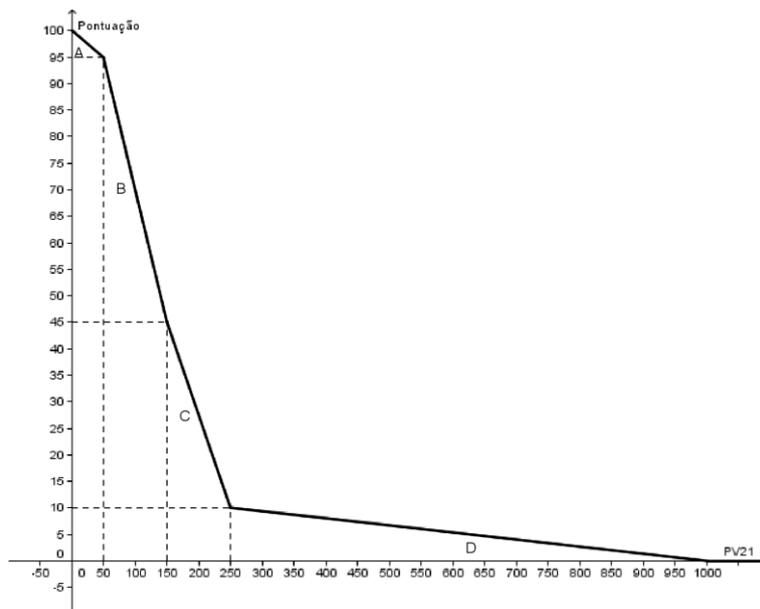


Figura 28: Gráfico da escala de pontuação utilizada para o subindicador - Risco de Perda da Produção Agrícola - PV21. Fonte: NEVES, 2010.

3.8.8. Parametrização do Subindicador: Risco de Falta de Água para Consumo Humano e Animal - PV22

Para este subindicador foi utilizada também a mesma definição do ISFS, ou seja, são utilizados três indicadores Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento do Ministério das Cidades - SNIS: o Índice de Atendimento Total de Água (I_{055}), o Índice Bruto de Perdas Lineares (I_{050}) e o Consumo Médio Per Capita de Água (I_{022}), que são calculados pelas equações (32), (33) e (34).

$$I_{055} = \frac{A_{01}}{G_{12a}} \quad (eq. 32)$$

$$I_{050} = \frac{(A_{06} + A_{18} - A_{24}) - A_{10}}{A_{05}} \quad (eq. 33)$$

$$I_{022} = \frac{A_{10} - A_{19}}{A_{01}} \quad (eq. 34)$$

Onde,

A_{01} = População total atendida com abastecimento de água;

G_{12a} = População total do município (IBGE);

A_{05} = Extensão da rede de água;

A_{06} = Volume de água produzido;

A_{10} = Volume de água consumido;

A_{18} = Volume de água tratada importada;

A_{19} = Volume de água tratada exportada;

A_{24} = Volume de água de serviço.

Portanto, o subindicador PV22 será obtido pela seguinte equação (35):

$$PV22 = I_{055} \cdot x \frac{1}{1 + I_{050}} \cdot x I_{022} \quad (eq. 35)$$

Objetiva-se com isso identificar municípios com alta vulnerabilidade hídrica traduzida pelo baixo atendimento de abastecimento, alto índice de perdas e baixo consumo médio per capita de água. Quanto às perdas de água optou-se por considerar as perdas lineares, pois, segundo Moraes (2006), os indicadores de perdas de água percentuais têm sido considerados inadequados para a avaliação de desempenho, por serem fortemente influenciados pelo consumo e imprimirem uma característica de homogeneidade aos sistemas. Isto na prática não se verifica, pois, para um mesmo volume de água perdida, quanto maior o consumo menor será o índice de perdas em percentual e os sistemas se apresentam de forma bastante heterogênea (NEVES, 2010).

Nas Figuras 29 e 30 são apresentadas, respectivamente, o gráfico da escala de pontuação e o Histograma de distribuição do subindicador “Risco de falta de água para consumo humano e animal” PV22. A escala de pontuação utilizada para a normalização deste subindicador, dada pelas equações (36), (37) e (38) que representam os segmentos de retas A, B e C, são:

$$A: (Y = -0,065X + 100) \quad (eq. 36)$$

$$B: (Y = 0,02X + 55) \quad (eq. 37)$$

$$C: (Y = -0,015X + 45) \quad (eq. 38)$$

Para valores maiores que 3000 atribui-se a pontuação zero. Para a definição dos limites que constituem a escala de pontuação deste subindicador utilizaram-se todos os dados contidos no SNIS. Aqui cabe um destaque quanto à quantidade de informações do Estado do Espírito Santo presentes no SNIS, que é muito pequena quando comparadas a de outros Estados, como por exemplo, o Rio Grande do Norte, onde primeiramente foi ajustado e implantado o ISFS.

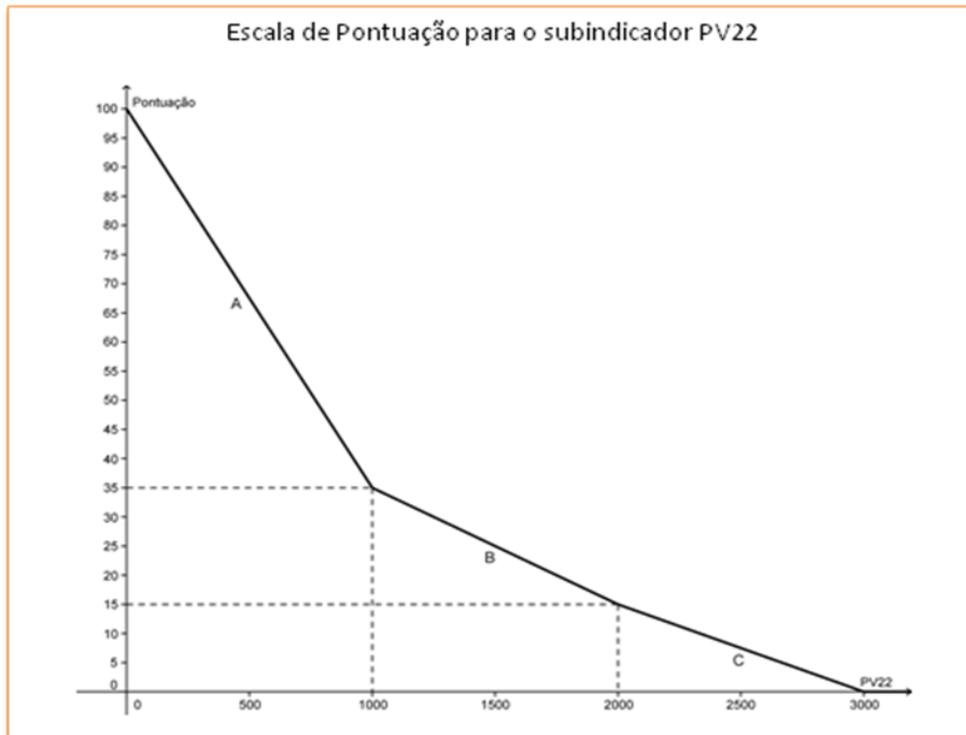


Figura 29: Gráfico da escala de pontuação utilizada para o subindicador - Risco de Falta de Água para Consumo Humano e Animal - PV22. Fonte: NEVES, 2010.

A seguir a Figura 30 abaixo apresenta o resultado da distribuição deste subindicador.

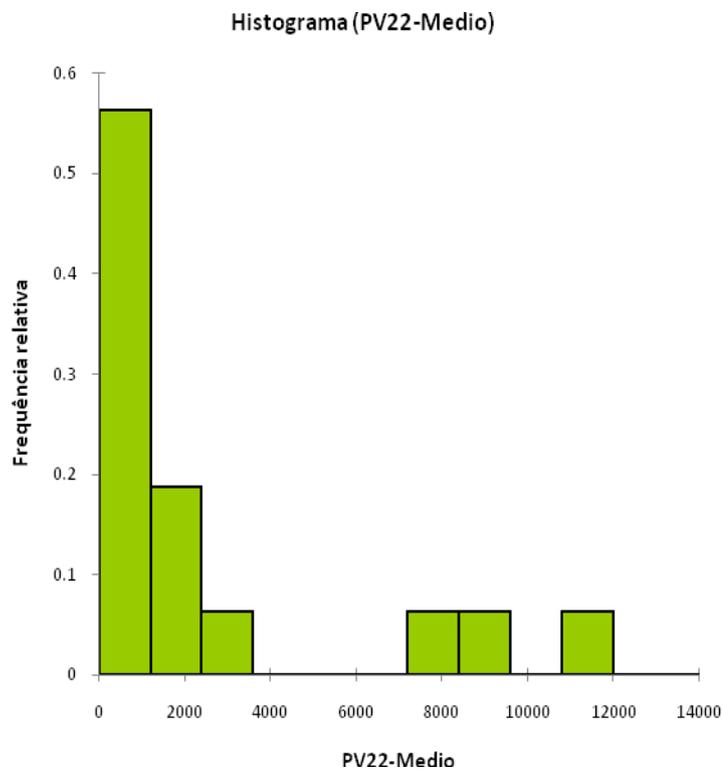


Figura 30: Histograma de distribuição do subindicador “Risco de falta de água para consumo humano e animal” PV22.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Considerações Iniciais

A seguir serão apresentados os resultados encontrados para caracterizar a precipitação na região, sobre os diferentes tratamentos empregados, através dos estudos do comportamento do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) nas estações pluviométricas, dentro e no entorno da bacia do rio Guandu/ES. Análise condicional foi feita com base no Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca (ISFS) para os municípios de Afonso Claudio, Baixo Guandu, Brejetuba e Laranja da Terra.

4.1.1. Caracterização da precipitação na região em estudo

O clima e as condições meteorológicas de uma região são determinados principalmente pela circulação atmosférica, que atua nas diversas escalas em que ela está inserida, e em menor proporção pelas condições geográficas, geológicas e hidrológicas locais. Quando se tenta caracterizar a dinâmica de precipitação de uma região, o estudo deve iniciar através de uma visão mais global, na qual a localidade em interesse esteja inserida. Além das influências dos sistemas de grande escala, as condições de tempo locais são determinadas também por perturbações de meso-escalas, que migram e modificam-se enquanto transportadas pela circulação dominante de larga escala (VIANELLO; MAIA, 1986).

O conhecimento prévio das condições climáticas de uma região, principalmente no que se refere à periodicidade e duração dos períodos secos e chuvosos, bem como as exigências de água de cada espécie e cultivares, torna-se importante para que o agricultor programe suas atividades agrícolas (CASTRO NETO; VILELLA, 1986).

A distribuição espaço-temporal das chuvas é uma característica regional muito importante, seja para a sociedade como a economia. Além disso, o conhecimento dessa característica pode orientar decisões quanto às medidas necessárias para minimizar os danos decorrentes da irregularidade das chuvas, sejam para os extremos positivos ou negativos (PICCININI, 1993).

Dentro deste contexto, a região Sudeste do Brasil caracteriza-se por ser uma área de transição entre os climas quentes de latitudes baixas e os climas do tipo temperado das latitudes médias. O seu período chuvoso concentra-se entre os meses de outubro a março, quando ocorrem mais de 80% do total anual de chuvas (PAIVA, 1997; ALVES *et al.*, 2002). Rao *et al.*, (2001), usando dados climatológicos de 40 anos (1959-1998), observaram que na Região Sudeste do Brasil, 50% ou mais da chuva anual ocorre durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Durante março, abril e maio a região Sudeste apresenta menos de 20% da chuva anual e em junho, julho e agosto recebe menos de 5% da chuva anual. Em setembro, outubro e novembro a quantidade de chuva começa a aumentar, chegando a 25% do total anual, induzindo a atividades de produtos agrícolas.

Com relação a precipitação, o mesmo padrão pode ser observado na região da bacia do rio Guandu, Tabela 10.

Tabela 10: Altitudes (metros) e Médias de precipitação (milímetros), para as estações em estudo. Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (2011).

| Nome da Estação | Altitude (m) | Jan (mm) | Fev (mm) | Mar (mm) | Abr (mm) | Mai (mm) | Jun (mm) | Jul (mm) | Ago (mm) | Set (mm) | Out (mm) | Nov (mm) | Dez (mm) | Total Anual (mm) |
|------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------------|
| Baixo Guandu | 70 | 137,2 | 68,5 | 95,7 | 47,6 | 27,1 | 12 | 11,6 | 19 | 28,5 | 90 | 163,3 | 178,1 | 878,6 |
| Itaimbé | 70 | 174,1 | 93,2 | 127,4 | 61,3 | 36,7 | 20,3 | 19,9 | 21,2 | 36,4 | 102 | 197,3 | 209,7 | 1099,2 |
| Encruzilhada | 115 | 153,2 | 68,4 | 119,2 | 55,9 | 30,4 | 13,1 | 9,5 | 19,7 | 28,9 | 96,1 | 186,4 | 181,6 | 962,3 |
| Itarana | 165 | 174 | 95,1 | 123,7 | 67,7 | 31,4 | 19,9 | 18 | 22,7 | 35,1 | 113 | 203,5 | 226,8 | 1131,1 |
| Assarai | 172 | 184,9 | 77,5 | 141,6 | 62 | 36,2 | 13,8 | 10,3 | 20,9 | 40,5 | 89,1 | 185,7 | 200,5 | 1063 |
| Laranja da Terra | 250 | 175,9 | 79,3 | 121,1 | 55 | 34,6 | 15,5 | 16,1 | 18,2 | 34,8 | 116 | 182,5 | 211,7 | 1060,3 |
| Afonso Cláudio | 300 | 195,1 | 79,8 | 126,8 | 48,7 | 32,4 | 16,5 | 17,2 | 23,7 | 32 | 96,2 | 199,3 | 211,9 | 1079,6 |
| Manhumirim | 458 | 235,2 | 111,3 | 127,8 | 64,3 | 36,6 | 14,7 | 16,9 | 19,4 | 43,4 | 104 | 208,6 | 256,5 | 1238,2 |
| Usina Fortaleza | 580 | 201,9 | 121,6 | 183 | 97,3 | 46,4 | 19,1 | 25,9 | 30,4 | 59,4 | 143 | 214 | 234,4 | 1375,9 |
| Castelo | 600 | 209,1 | 122 | 171,2 | 103,9 | 59,5 | 26,2 | 29,6 | 37,6 | 70,4 | 143 | 213,9 | 217,7 | 1403,8 |
| Luna | 615 | 206,8 | 105,2 | 150,9 | 67,4 | 35,5 | 17,6 | 17,2 | 18,9 | 52 | 116 | 191 | 211,7 | 1189,8 |
| São Rafael | 818 | 162,6 | 87 | 142,7 | 85,6 | 42,9 | 23,6 | 30,3 | 32,9 | 52,1 | 113 | 188,4 | 185,6 | 1146,4 |
| Garrafão | 940 | 199,4 | 97,9 | 146,1 | 76,5 | 46,2 | 22,4 | 26 | 27,7 | 48,9 | 120 | 227,7 | 230,2 | 1268,9 |
| Aracê | 1075 | 219,6 | 108 | 160,8 | 99,5 | 50,8 | 20 | 24,5 | 30,4 | 52,4 | 120 | 217 | 239,7 | 1342,8 |

Ao analisar a Tabela 10 observa-se a sazonalidade típica da região Sudeste, com o período chuvoso iniciando-se em outubro e estendendo-se até março, sendo que a maior média (256,5 mm) de precipitação ocorreu no mês de Dezembro, na estação Manhumirim. Em contrapartida o período seco inicia-se em abril e vai até setembro, sendo a menor média de precipitação observada no mês de Julho (9,5 mm), na estação Encruzilhada. A Figura 31 apresenta a distribuição espacial de precipitação, na região em análise; para a média do total anual e nos períodos chuvosos e secos.

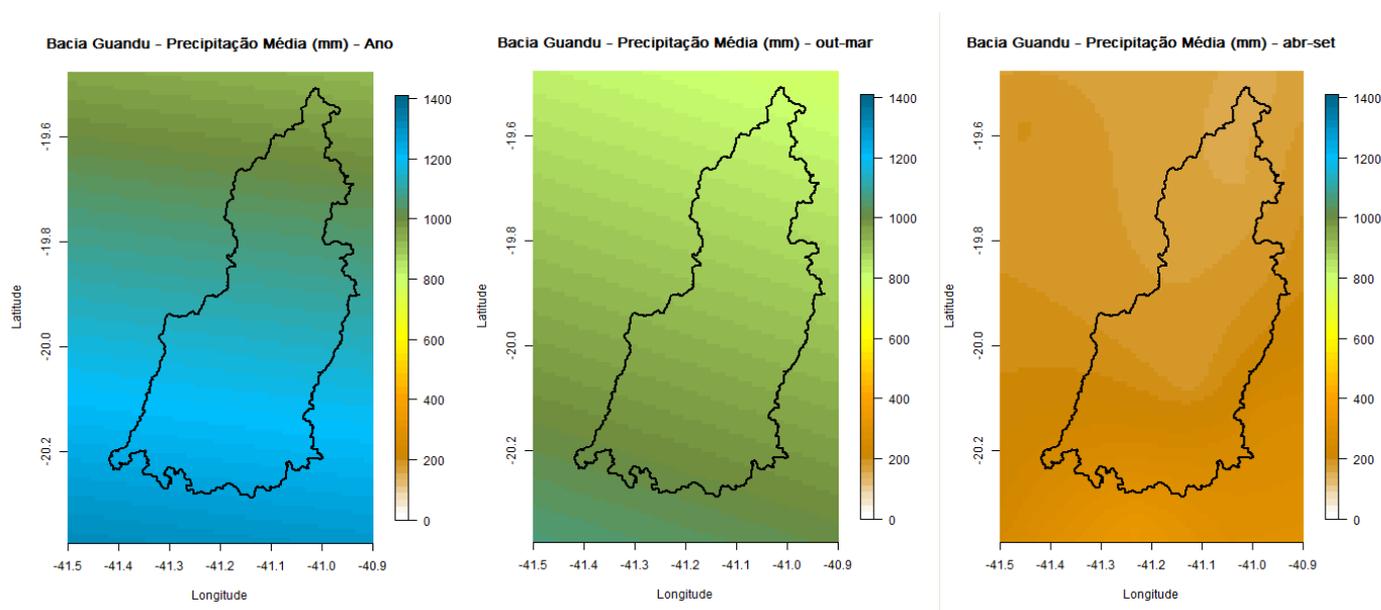


Figura 31: Mapas de precipitação (mm) na região em análise – anual, período chuvoso e seco.

Na Figura 31 observam-se os efeitos da topográfica e da localização das estações pluviométricas na precipitação, sendo que a estação de Baixo Guandu, situada a 70 metros de altitude apresentou a menor média total anual (878,6 mm), em comparação as estações que estão em altitudes elevadas e em outras regiões fora da bacia do rio Guandu. Dentro deste contexto, destaca-se a estação de Castelo, situada a 600 metros de altitude e localizada na bacia do rio Itapemirim, a qual apresentou a maior média anual (1403,8 mm). Este comportamento da precipitação pode ser influenciado pela disposição latitudinal, na borda do Oceano Atlântico e a topografia bastante acidentada. Segundo Nimer (1979) estes seriam alguns dos fatores que desempenham um papel muito importante nos processos de precipitação da região Sudeste, onde a bacia do rio Guandu esta inserida.

Para explicar o comportamento da precipitação da região, Cupolillo (2008) avalia a ação dos efeitos da proximidade do oceano na variabilidade dos volumes de precipitação para a região da bacia do Doce, onde a bacia do rio Guandu esta inserida.

Mendes e Padovam (2000) atribuíram aos efeitos da topografia e localização das estações pluviométricas, a variabilidade de 480 mm, na precipitação entre estações pluviométricas localizadas a 5 Km de distancia, uma da outra, em estudos realizados na bacia do Santa Maria do Doce, contigua a do rio Guandu.

Sant'anna Neto (2005) também observa os efeitos das chuvas orográficas e de eventos relacionados com a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) nas precipitações da região sudeste. Os sistemas de escala sinótica como os sistemas frontais e a ZCAS são os principais responsáveis pela precipitação na Região Sudeste (KODAMA, 1992).

A ZCAS é definida como uma região de alta variabilidade convectiva posicionada a leste da Cordilheira dos Andes com orientação noroeste-sudeste estendida desde o sul da Amazônia, regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, centro sul da Bahia e prolonga-se até o Atlântico sudoeste (CARVALHO *et al.*, 2004).

A variabilidade espacial e temporal da ZCAS tem papel fundamental para a distribuição dos extremos de chuvas na região Sudeste (Carvalho *et al.*, 2004). A frequência e a intensidade desses eventos são fatores importantes no total de precipitação em determinada estação do ano, fazendo com que ela seja considerada mais seca ou mais chuvosa que a normal climatológica.

Com relação à variabilidade temporal da ZCAS, ela é atuante de novembro a abril e está diretamente associada à estação chuvosa de importantes regiões do Brasil, como o sul e oeste do Nordeste, sul da Amazônia, região Sudeste do Brasil (SE), e também o Estado de Goiás. A ZCAS comumente desaparece por períodos de vários dias a semanas, e praticamente inexistente no período de inverno (NOBRE, 1988).

Em muitos casos, no período de novembro a março, as frentes frias ficam estacionadas sobre o Estado de Minas Gerais e sul da Bahia por um período superior a uma semana e essa zona de estacionamento preferencial de sistemas frontais em que ocorre convergência dos ventos é onde, em geral, encontra-se a ZCAS (NOBRE, 1988). Sua ausência explica em grande medida a seca, as chuvas esparsas e irregulares no ano 2000 e em 2001. É a ZCAS que traz boa parte das chuvas para o interior do Brasil.

Os mecanismos que originam e mantêm a ZCAS não estão ainda totalmente definidos, porém, estudos observacionais e numéricos indicam que esse sistema sofre influências tanto de fatores remotos quanto locais. Aparentemente, as influências remotas modulam o início, duração e localização da ZCAS, enquanto os fatores locais são determinantes para a ocorrência desse fenômeno, ou seja, sem eles o sistema provavelmente não existiria (NOBRE, 1988).

Dentro do contexto, do acima apresentado, a região da bacia do rio Guandu, por sua localização e topografia sofre influencia direta da proximidade do oceano Atlântico, e da ação das ZCAS durante o período de maior precipitação. A seguir, a Figura 32 apresenta o mapa de localização e altitude, em metros, das estações pluviométricas em análise que influenciam no volume da precipitação da região.

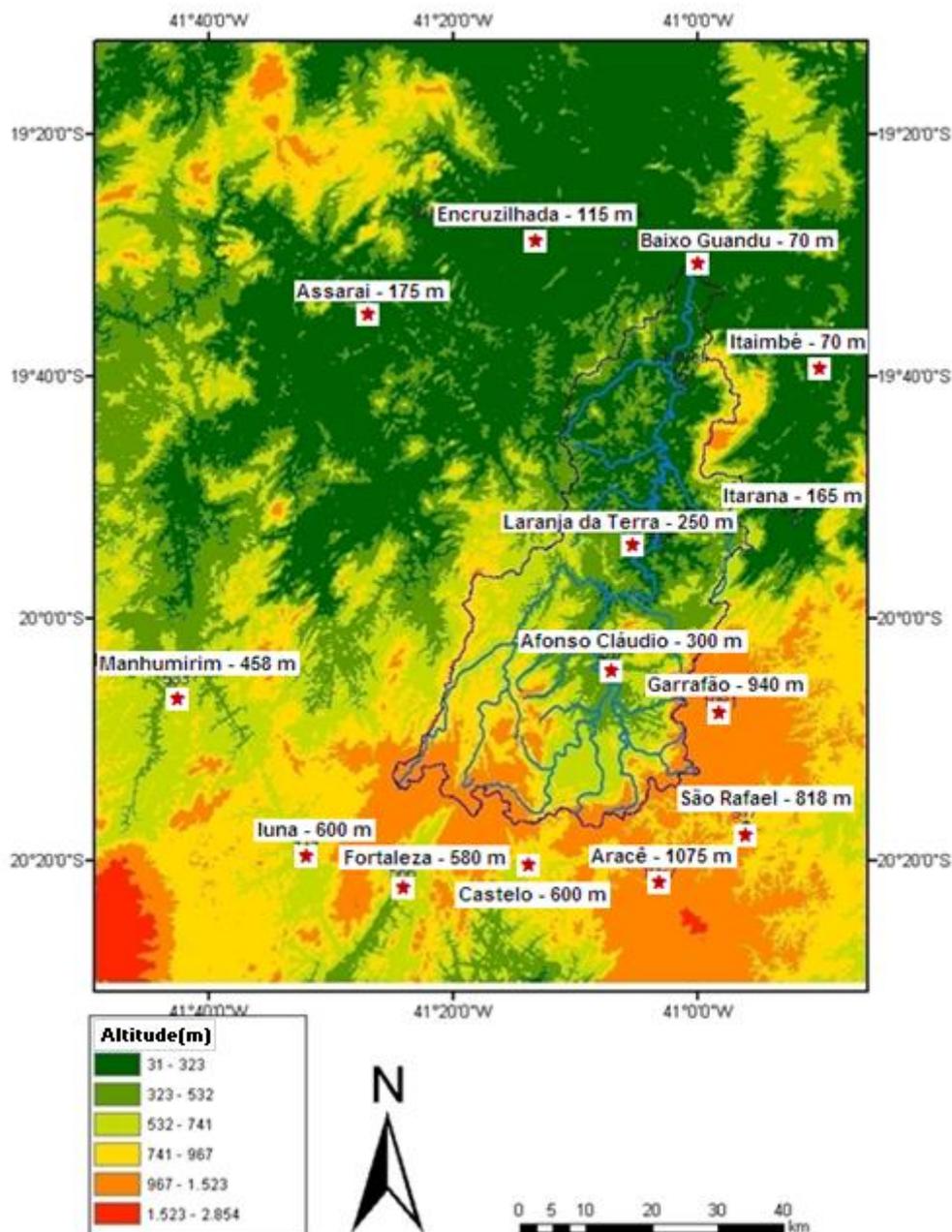


Figura 32: Mapa de localização e altitude (m), das estações em análise.

4.2. Estudo do SPI para os diferentes tratamentos

Para avaliar a ocorrência de eventos extremos na bacia do rio Guandu através do SPI, nas 14 estações pluviométricas que compõem a área de interesse, foram realizados estudos compostos por análises dos SPI3, SPI6 e SPI12 em diferentes tratamentos: período de 33 anos; por décadas de 70, 80 e 90. Para o SPI3, por avaliar os impactos das secas meteorológicas e agrícolas foi realizado um estudo para o comportamento da sazonalidade (primavera/verão e outono/inverno), para o período de 1970 a 2002.

4.2.1. Estudo do SPI3

O SPI3 representa a anomalia de precipitação da média móvel dos valores mensais de precipitação a cada três meses. Esta escala temporal é importante para se avaliar secas meteorológicas e/ou, agrícolas, uma vez que apresenta resultados de período de tempo relativamente curto. Para a bacia do Rio Guandu, este tipo de informação é essencial, pois a região mantém predominância de agricultura familiar de subsistência, com culturas anuais com ciclo de no máximo quatro meses; como milho, feijão e olerícolas em geral.

4.2.1.1. Estudo do SPI3 - Período em análise (1970-2002)

A distribuição dos valores de SPI3 em classes, para todo o período avaliado (1970-2002), é mostrada na Figura 33.

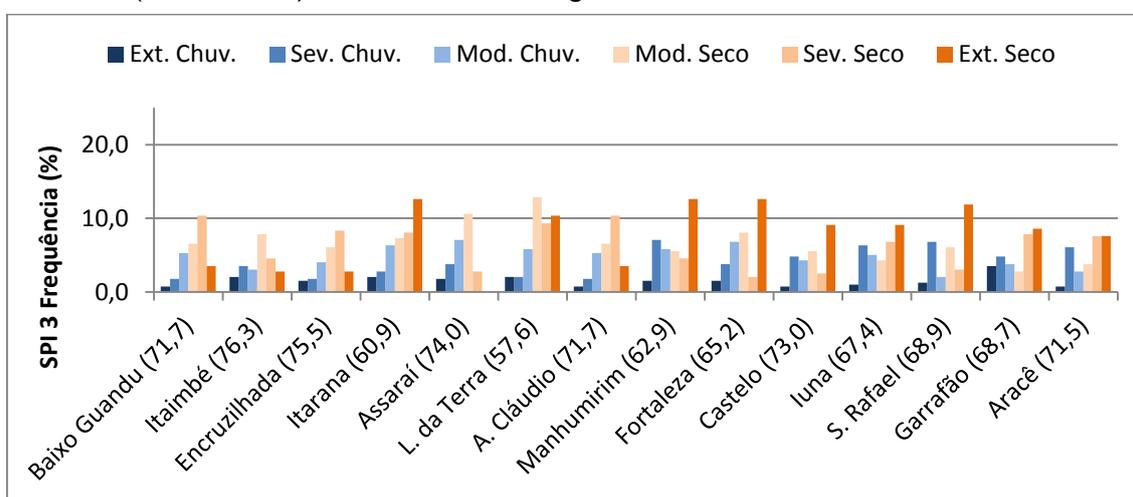


Figura 33: Distribuição das frequências(%) de ocorrência de eventos de precipitação para o SPI3, durante o período em análise (1970-2002).

Verifica-se na Figura 33 que a frequência(%) de eventos da classe normal variou entre as estações de 57,6 a 76,3. Já para as classes chuvosas tem-se: Ext Chuv de 0,8 a 3,5, para a Sev Chuv de 1,7 a 7,1 e para a Mod Chuv de 2,0 a 7,1. Quanto às classes secas, tem-se: Mod Seco 2,8 a 12,0, Sev Seco 2,0 a 10,4 e Ext Seco 0 a 12,6. A comparação das classes chuvosas com as secas evidencia maior frequência de ocorrência para os eventos secos, para o período de 33 anos em estudo.

A Tabela 11 apresenta estatísticas descritivas (Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação) para os valores do SPI3 de todas as estações, para os eventos Chuvosos, Normais e Secos, os quais ocorreram durante o período em estudo (1970-2002).

Observa-se, também, o predomínio da frequência(%) de eventos secos (20,7) em comparação aos chuvosos (10,4). Os Coeficientes de Variação relativamente altos, para ambos eventos (23,9 período Seco e 20,4 período Chuvoso), indicam a variabilidade dos valores de SPI3 entre as estações avaliadas, e que esta foi mais pronunciada para os eventos secos.

Tabela 11: Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos dados de SPI3, (1970-2002) considerando as estações pluviométricas da bacia do rio Guandu/ES.

| SPI3 | Chuvoso(%) | Normal(%) | Seco(%) |
|--------------------------------|-------------------|------------------|----------------|
| Média | 10,4 | 69,0 | 20,7 |
| Desvio Padrão | 2,1 | 5,6 | 4,9 |
| Coeficiente de Variação | 20,4 | 8,1 | 23,9 |

Na análise a seguir são apresentadas as estações com ocorrências de Classes de SPI3, no que tange à frequência de valores superiores à média adicionada de um desvio padrão. Dessa forma, e com base nas frequências mostradas na Figura 33, observa-se:

- a) Classe Ext Chuv: Garrafão (3,5);
- b) Classe Sev Chuv: Manhumirim (7,1), Luna (6,3), São Rafael (6,8) e Aracê (6,1);
- c) Classe Mod Chuv: Assaraí (7,1) e Fortaleza (6,8);
- d) Classe Mod Seco: Assaraí (10,6) e Laranja da Terra (12,8);
- e) Classe Sev Seco: Baixo Guandu (10,4), Laranja da Terra (9,3) e Afonso Claudio (10,4);
- f) Classe Ext Seco: Itarana (12,6), Manhumirim (12,6) e Fortaleza (12,6).

Considerando as duas classes extremas, sejam chuvosas (Ext Chuv e Sev Chuv) ou secas (Sev Seco e Ext Seco), verifica-se que houve mais frequências(%) de ocorrências de eventos secos (195,2) que chuvosos (78,3).

Como já referido neste trabalho, o SPI3 é um índice importante para o acompanhamento das secas meteorológicas e agrícolas, e para esta, notadamente para culturas de ciclo mais curto, como as culturas anuais e as olerícolas.

Assim, os resultados aqui apresentados, com base no SPI3, indicam que nas localidades central e norte da bacia, ou seja, nas regiões de altitudes mais baixas, apresentam maiores ocorrências de eventos secos. Este fato é um indicativo de maiores impactos na produção agrícola em culturas de ciclo curto, haja vista também a maior demanda hídrica (maior evapotranspiração) dessas culturas.

4.2.1.2. Estudo do SPI3 - Décadas de 70, 80 e 90

A distribuição dos valores de SPI3 em classes, considerando as décadas de 1970, 80 e 90 é mostrada na Figura 34A, B e C.

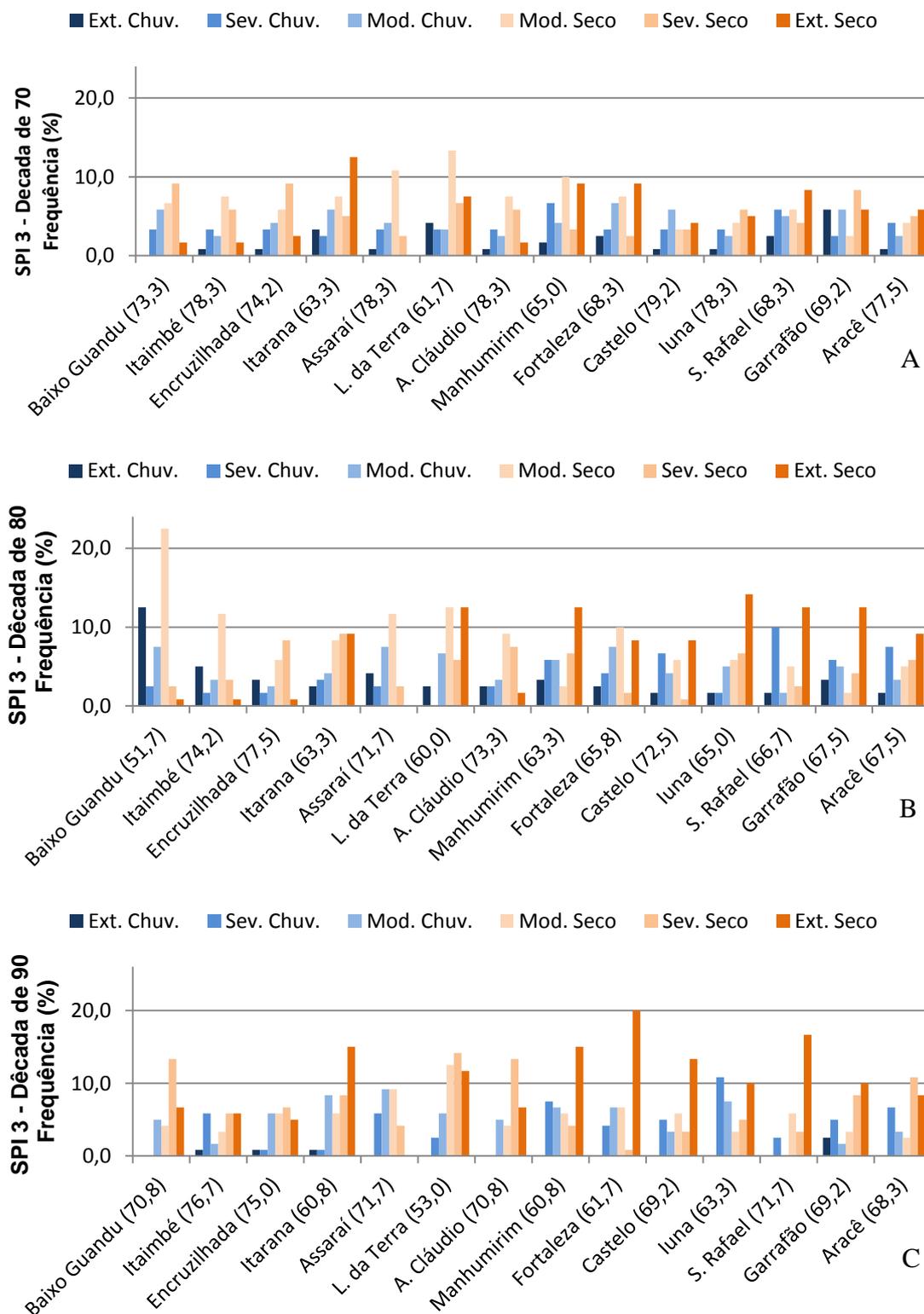


Figura 34: Distribuição das frequências(%) de ocorrência de eventos de precipitação para o SPI3, durante as Décadas de 70, 80 e 90. Os valores da classe “Normal” estão à frente do nome de cada estação pluviométrica.

Verifica-se na Figura 34 que a frequência(%) de eventos da classe normal para a década de 70 variou de 61,7 a 79,2, para a década de 80 variou entre 51,7 a 77,5, para a década de 90 variou de 53,0 a 76,6. Já para as classes chuvosas tem-se: Ext Chuv: de 0,0 a 5,8 (década de 70), de 1,7 a 12,5 (década de 80) e de 0,0 a 2,5 (década de 90). Sev Chuv: de 2,5 a 6,7 (década de 70), de 0,0 a 10,0 (década de 80) e de 0,0 a 10,8 (década de 90). Mod Chuv: de 2,5 a 6,7 (década de 70), de 1,7 a 7,5 (década de 80) e de 0,0 a 9,2 (década de 90). Mod Seco: de 2,5 a 13,3 (década de 70), de 1,7 a 22,5 (década de 80) e de 2,5 a 12,5 (década de 90). Sev Seco: de 2,5 a 9,2 (década de 70), de 0,8 a 9,2 (década de 80) e de 0,8 a 14,2 (década de 90). Ext Seco: de 0,0 a 12,5 (década de 70), de 0,0 a 14,2 (década de 80) e de 0,0 a 20,0 (década de 90). A comparação das classes chuvosas com as secas, durante as décadas de 70, 80 e 90 evidencia maior frequência de ocorrência para os eventos secos.

A Tabela 12 apresenta os valores de estatísticas descritivas (Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação) considerando as estações representativas da bacia do Rio Guandu, para a frequência dos eventos Chuvosos, Normais e Secos que ocorreram, respectivamente, nas décadas de 70, 80 e 90.

Observa-se que na região houve decréscimo da frequência(%) de eventos na classe “Normal”, de 72,4 (década de 70) para 67,1 (década de 80) e manteve-se estável com 67,4 (década de 90). Já para a classe “Seca” houve um aumento de 17,7 (década de 70), para 20,6 (década de 80) e 23,2 (década de 90), em comparação aos períodos chuvosos; 9,9 (década de 70), 12,3 (década de 80) e 9,5 (década de 90).

Quando se considera o coeficiente de variação percebe-se que houve aumento maior no período chuvoso; de 26,6 (década de 70) para 31,8 (década de 80) e 44,4 (década de 90), demonstrando a maior variabilidade entre estações para os dados de SPI 3 referentes à classe Chuvoso, em comparação às classes Normal e Seco.

Tabela 12: Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos dados de SPI3, para as Décadas de 70, 80 e 90, considerando as estações pluviométricas da bacia do rio Guandu/ES.

| SPI3 – Década 70 | Chuvoso(%) | Normal(%) | Seco(%) |
|--------------------------------|-------------------|------------------|----------------|
| Média | 9,9 | 72,4 | 17,7 |
| Desvio Padrão | 2,6 | 6,3 | 4,6 |
| Coeficiente de Variação | 26,6 | 8,7 | 25,8 |
| SPI3 - Década 80 | Chuvoso(%) | Normal(%) | Seco(%) |
| Média | 12,3 | 67,1 | 20,6 |
| Desvio Padrão | 3,9 | 6,6 | 5,2 |
| Coeficiente de Variação | 31,8 | 9,9 | 25,0 |
| SPI3 – Década 90 | Chuvoso(%) | Normal(%) | Seco(%) |
| Média | 9,5 | 67,4 | 23,2 |
| Desvio Padrão | 4,2 | 6,5 | 6,3 |
| Coeficiente de Variação | 44,4 | 9,6 | 27,3 |

Na análise a seguir são apresentadas as estações com ocorrências de Classes de SPI3, no que tange à frequência valores superiores a média adicionada de um desvio padrão. Para a análise das Figuras 34A, B e C, observa-se:

A década de 70 apresentou maior frequência(%) de ocorrência de eventos secos (248,3) em comparação aos chuvosos (138,3). Destaques para:

- a) Classe Ext Chuv: Garrafão (5,8); Laranja da Terra (4,2);
- b) Classe Sev Chuv: Manhumirim (6,7) e São Rafael (5,8);
- c) Classe Mod Chuv: Fortaleza (6,7);
- d) Classe Mod Seco: Laranja da Terra (13,3), Assaraí (10,8) e Manhumirim (10,0);
- e) Classe Sev Seco: Baixo Guandu (9,2), Encruzilhada (9,2);
- f) Classe Ext Seco: Itarana (12,5), Manhumirim (9,2) e Fortaleza (9,2).

A década de 80 apresentou maior frequência(%) de ocorrência de eventos secos (288,3%) em comparação aos chuvosos (171,7). Destaques para:

- a) Classe Ext Chuv: Baixo Guandu (12,5);
- b) Classe Sev Chuv: São Rafael (10,0) e Aracê (7,6);

- c) Classe Mod Chuv: Baixo Guandu (7,5), Assaraí (7,5) e Fortaleza (7,5);
- d) Classe Mod Seco: Baixo Guandu (22,5);
- e) Classe Sev Seco: Itarana (9,2), Encruzilhada (8,3);
- f) Classe Ext Seco: Iuna (14,2).

A década de 90 apresentou a maior diferença entre as frequências(%) de ocorrências de eventos secos (324,2) em comparação aos chuvosos (132,5), entre as três décadas em estudo. Destaques para:

- a) Classe Ext Chuv: Garrafão (2,5);
- b) Classe Sev Chuv: Iuna(10,8) e Manhumirim (7,5);
- c) Classe Mod Chuv: Assaraí (9,2) e Itarana (8,3);
- d) Classe Mod Seco: Laranja da Terra (12,5) e Assaraí (9,2)
- e) Classe Sev Seco: Laranja da Terra (14,2), Baixo Guandu (13,3) e Afonso Claudio (13,3);
- f) Classe Ext Seco: Fortaleza (20) e São Rafael (16,7).

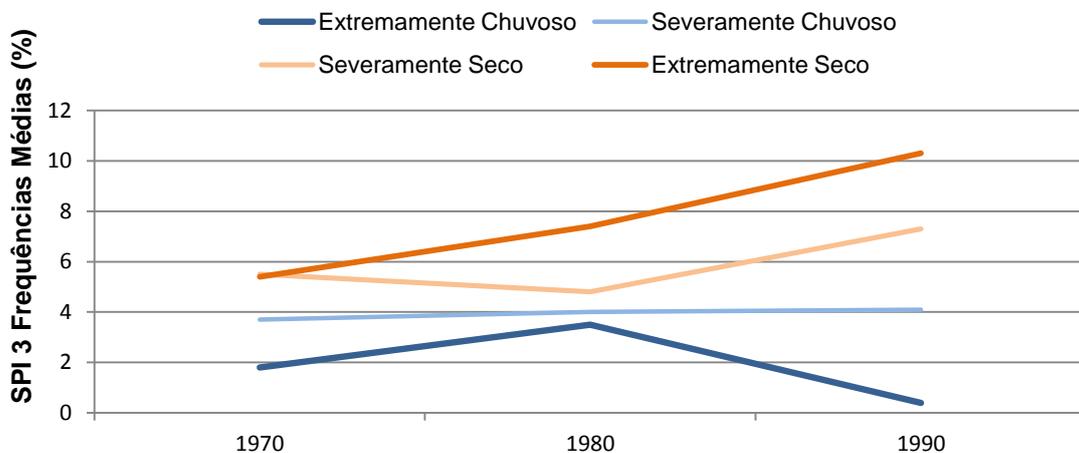


Figura 35: SPI 3 Frequências(%) médias na análise por décadas.

Considerando as duas classes extremas, sejam chuvosas (Ext Chuv e Sev Chuv) ou secas (Sev Seco e Ext Seco), no destaque das frequências(%) feitas acima e na Figura 35 verifica-se que houve um aumento nas frequências de ocorrências de eventos secos (151,7, década de 70; 170,8, década de 80 e 245,8, década de 90), em comparação as frequências de eventos chuvosos (77,5, década de 70; 104,2 década de 80 e 62,5, década de 90).

4.2.2. Estudo do SPI6

O SPI6 representa a média móvel dos valores de precipitação em escala semestral (6 meses), ou seja representa resultados de médio prazo. O estudo do SPI6 é importante para se monitorar o período de transição entre estação seca e a chuvosa, servindo para identificar secas agrícolas e/ou hidrológicas. Na região da bacia do Guandu esta informação é importante em função da presença de culturas agrícolas perenes, como café e frutíferas e pela existência de pequenas barragens para uso agrícola.

4.2.2.1. Estudo do SPI6 - Período em análise (1970-2002)

A distribuição dos valores de SPI6 em classes, para todo o período avaliado (1970-2002), é mostrada na Figura 36.

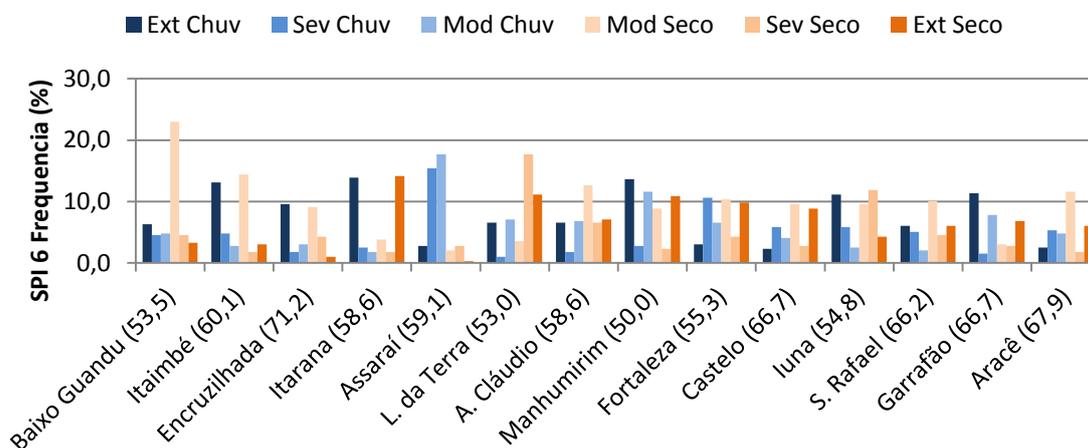


Figura 36: Distribuição das frequências (%) de ocorrência de eventos de precipitação para o SPI6, durante o período em análise (1970-2002). Os valores da classe “Normal” estão à frente do nome de cada estação pluviométrica.

Verifica-se na Figura 36 que a frequência (%) de eventos da classe normal variou entre as estações de 50,0 a 71,2. Já para as classes chuvosas tem-se: Ext Chuv de 2,3 a 13,9, para a Sev Chuv de 1,0 a 15,4 e para a Mod Chuv de 1,8 a 17,7. Quanto às classes secas, tem-se: Mod Seco 2,0 a 23,0, Sev Seco 1,8 a 17,7 e Ext Seco 0,3 a 14,1. A comparação das classes chuvosas com as secas evidencia maior frequência de ocorrência para os eventos secos, para o período de 33 anos em estudo.

A Tabela 13 apresenta estatísticas descritivas (Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação) para os valores do SPI6 de todas as estações, para frequência (%) dos eventos Chuvosos, Normais e Secos, os quais ocorreram durante o período em estudo (1970-2002). Observa-se, um suave predomínio da frequência de eventos secos (21,0) em comparação aos chuvosos (18,6). Os Coeficientes de Variação apresentam-se relativamente altos, para ambos eventos (35,2 período Chuvoso e 34,0 período Seco), indicando alta variabilidade dos valores de SPI6 entre as estações avaliadas.

Tabela 13: Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos dados de SPI6, (1970-2002) considerando as estações pluviométricas da bacia do rio Guandu/ES.

| SPI6 | Chuvoso(%) | Normal(%) | Seco(%) |
|-------------------------------------|-------------------|------------------|----------------|
| Média | 18,6 | 60,4 | 21,0 |
| Desvio Padrão | 6,6 | 6,6 | 7,1 |
| Coeficiente de Variabilidade | 35,2 | 10,9 | 34,0 |

Na análise a seguir são apresentadas as estações com ocorrências de Classes de SPI6, no que tange à frequência de valores superiores à média adicionada de um desvio padrão. Dessa forma, e com base nas frequências mostradas na Figura 36, observa-se:

- a) Classe Ext Chuv: Itarana (13,9) e Manhumirim (13,6), Itaimbé (13,1);
- b) Classe Sev Chuv: Assaraí (15,4) e Fortaleza (10,6);
- c) Classe Mod Chuv: Assaraí (17,7) e Manhumirim (11,6);
- d) Classe Mod Seco: Baixo Guandu (23,0);
- e) Classe Sev Seco: Laranja da Terra (17,7) e Luna (11,9);
- f) Classe Ext Seco: Itarana (14,1) e Laranja da Terra (11,1).

A análise desses resultados indica um relativo equilíbrio dos eventos secos e chuvosos ao longo do período estudado e quando se analisa a ocorrência de eventos chuvosos (Ext Chuv e Sev Chuv) e secos (Ext Seco e Sev Seco), também não se verifica a formação de um padrão de predomínio seja geográfico ou físico, ocorrendo estes de forma dispersa na região.

Isto posto, pode-se inferir que a ocorrência de secas hidrológicas e/ou agrícolas, a partir da análise do SPI6, pode ocorrer ao longo de toda a bacia. Como consequência, as secas hidrológicas podem ocorrer ao longo de toda a bacia, com reflexos diretos nos pequenos reservatórios d'água e nas culturas de ciclo mais longo, por exemplo, o café que tem papel de destaque na bacia.

4.2.2.2. Estudo do SPI6 - Décadas de 70, 80 e 90

A distribuição dos valores de SPI6 em classes, considerando as décadas de 1970, 80 e 90, é mostrada na Figura 37A, B e C.

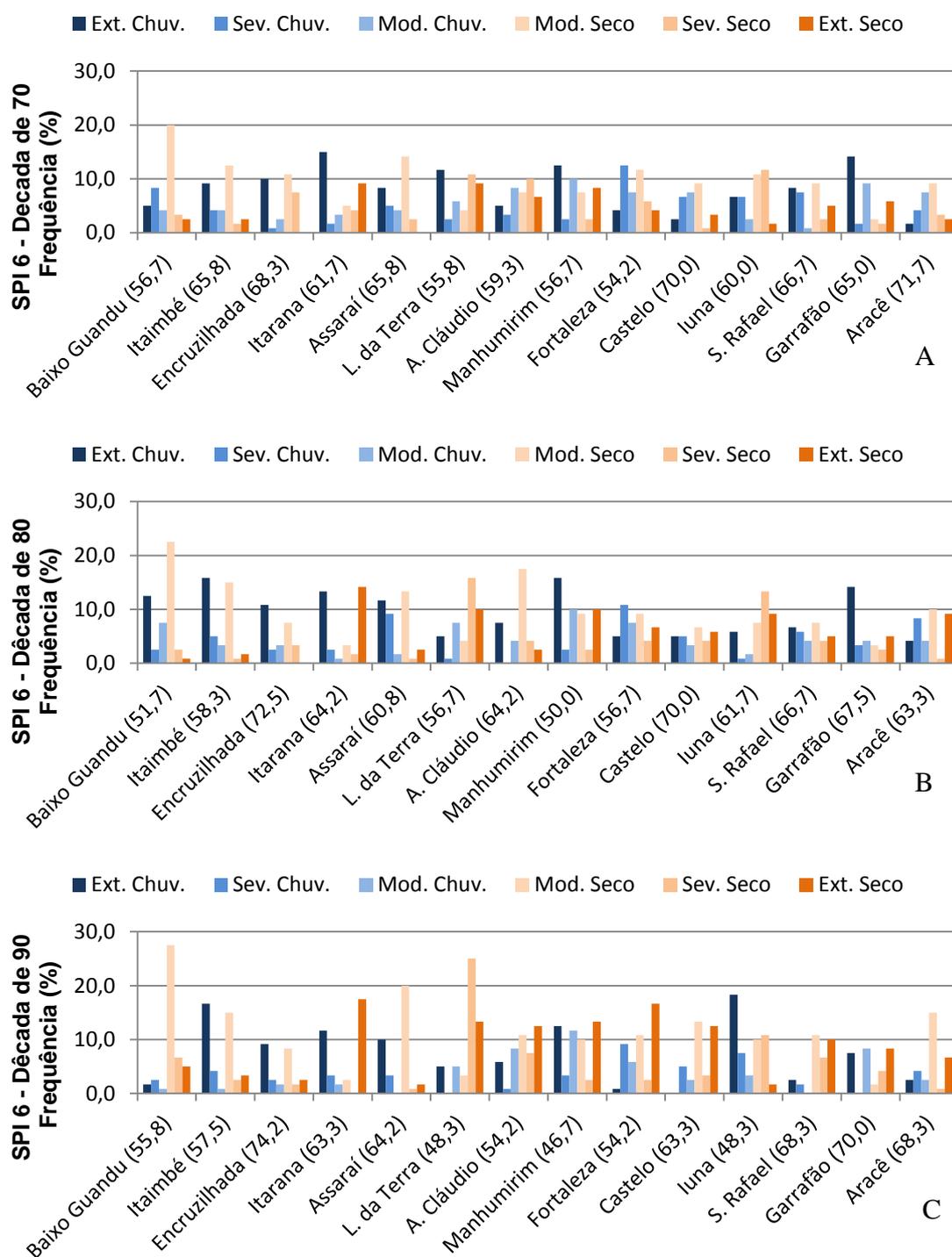


Figura 37: Distribuição das frequências(%) de ocorrência de eventos de precipitação para o SPI6, durante as Décadas de 70, 80 e 90. Os valores da classe “Normal” estão à frente do nome de cada estação pluviométrica.

Verifica-se na Figura 37A, B e C, que a frequência(%) de eventos da classe normal para a década de 70 variou de 54,2 a 71,7, para a década de 80 variou entre as estações de 50,0 a 72,5, para a década de 90 variou de 46,7 a 74,2. Já para as classes chuvosas tem-se: Ext Chuv: de 1,7 a 15,0 (década de 70), de 4,2 a 15,8 (década de 80) e de 0,0 a 18,3 (década de 90). Sev Chuv: de 0,8 a 12,5 (década de 70), de 0,0 a 10,8 (década de 80) e de 0,0 a 9,2 (década de 90). Mod Chuv: de 0,8 a 10,0 (década de 70), de 0,8 a 10,0 (década de 80) e de 0,0 a 11,7 (década de 90). Mod Seco: de 2,5 a 20,0 (década de 70), de 3,3 a 22,5 (década de 80) e de 1,7 a 27,5 (década de 90). Sev Seco: de 0,8 a 11,7 (década de 70), de 0,8 a 15,8 (década de 80) e de 0,0 a 25,0 (década de 90). Ext Seco: de 0,0 a 9,2 (década de 70), de 0,0 a 14,5 (década de 80) e de 1,7 a 17,5 (década de 90). A comparação das classes chuvosas com as secas, durante as décadas de 70, 80 e 90 evidencia maior frequência de ocorrência para os eventos secos, nas três décadas.

A Tabela 14 apresenta os valores de estatísticas descritivas (Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação) considerando as estações representativas da bacia do Rio Guandu, para as frequências(%) dos eventos Chuvosos, Normais e Secos que ocorreram, respectivamente, nas décadas de 70, 80 e 90. Observa-se que na região houve decréscimo da frequência de eventos na classe “Normal”, de 62,7 (década de 70) para 61,7 (década de 80) e 59,8 (década de 90). Já para a classe “Seca” houve um aumento de 18,8 (década de 70), para 20,0 (década de 80) e 25,7 (década de 90), em comparação aos períodos chuvosos, que apresentaram decréscimo de frequência; 18,5 (década de 70), 18,3 (década de 80) e 14,6 (década de 90).

Quando se considera o coeficiente de variação percebe-se que houve aumento maior no período chuvoso; de 20,0 (década de 70) para 30,7 (década de 80) e 51,8 (década de 90), demonstrando a maior variabilidade entre estações para os dados de SPI6 referentes à classe Chuvoso, em comparação às classes Normal e Seco, sendo que estes coeficientes de variação se apresentaram 50% maiores que os do SPI3.

Tabela 14: Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos dados de SPI6, para as Décadas de 70, 80 e 90, considerando as estações pluviométricas da bacia do rio Guandu/ES.

| SPI6 - Década 70 | Chuvoso(%) | Normal(%) | Seco(%) |
|--------------------------------|-------------------|------------------|----------------|
| Média | 18,5 | 62,7 | 18,8 |
| Desvio Padrão | 3,9 | 5,7 | 4,6 |
| Coeficiente de Variação | 20,9 | 9,1 | 24,7 |
| SPI6 – Década 80 | Chuvoso(%) | Normal(%) | Seco(%) |
| Média | 18,3 | 61,7 | 20,0 |
| Desvio Padrão | 5,6 | 6,6 | 6,0 |
| Coeficiente de Variação | 30,7 | 10,6 | 29,8 |
| SPI6 – Década 90 | Chuvoso(%) | Normal(%) | Seco(%) |
| Média | 14,6 | 59,8 | 25,7 |
| Desvio Padrão | 7,6 | 8,9 | 8,3 |
| Coeficiente de Variação | 51,8 | 14,8 | 32,3 |

Na análise a seguir são apresentadas as estações com ocorrências de Classes de SPI6, no que tange à frequência de valores superiores à média adicionada de um desvio padrão. Dessa forma, e com base nas frequências mostradas na Figura 37A, B e C, observa-se:

A década de 70 apresentou maior frequência(%) de ocorrência de eventos secos (263,3) em comparação aos chuvosos (259,2). Destaques para a:

- a) Classe Ext Chuv: Itarana (15,0), Garrafão (14,2) e Manhumirim (12,5);
- b) Classe Sev Chuv: Fortaleza (12,5) e Baixo Guandu (8,3);
- c) Classe Mod Chuv: Manhumirim (10,0); Garrafão (9,2) e Afonso Claudio (8,3);
- d) Classe Mod Seco: Baixo Guandu (20,0) e Assaraí (14,2);
- e) Classe Sev Seco: Iuna (11,7), Laranja da Terra (10,0) e Afonso Claudio (10,0);
- f) Classe Ext Seco: Itarana (9,2), Laranja da Terra (9,2) e Manhumirim (8,3).

A década de 80 apresentou maior frequência(%) ocorrência de eventos secos (280,0) em comparação aos chuvosos (255,8). Destaques para a:

- a) Classe Ext Chuv: Itaimbé (15,8), Manhumirim (15,8) e Garrafão (15,8);
- b) Classe Sev Chuv: Fortaleza (10,8), Assaraí (9,2) e Aracê (8,3);
- c) Classe Mod Chuv: Manhumirim (10,0), Baixo Guandu (7,5), Laranja da Terra (7,5) e Fortaleza (7,5);
- d) Classe Mod Seco: Baixo Guandu (22,5) e Afonso Claudio (17,5);
- e) Classe Sev Seco: Laranja da Terra (15,8) e Luna (13,3);
- f) Classe Ext Seco: Itarana (14,2).

A década de 90 apresentou a maior diferença entre as frequências(%) de ocorrências de eventos secos (359,2) em comparação aos chuvosos (204,2), entre as três décadas em estudo. Destaques para a:

- a) Classe Ext Chuv: Luna (18,3) e Itaimbé (16,7);
- b) Classe Sev Chuv: Fortaleza (9,2) e Luna (7,5);
- c) Classe Mod Chuv: Manhumirim (11,7), Afonso Claudio (8,3) e Garrafão (8,3);
- d) Classe Mod Seco: Baixo Guandu (27,5) e Assaraí (20,0)
- e) Classe Sev Seco: Laranja da Terra (25,0);
- f) Classe Ext Seco: Itarana (17,5) e Fortaleza (16,7).

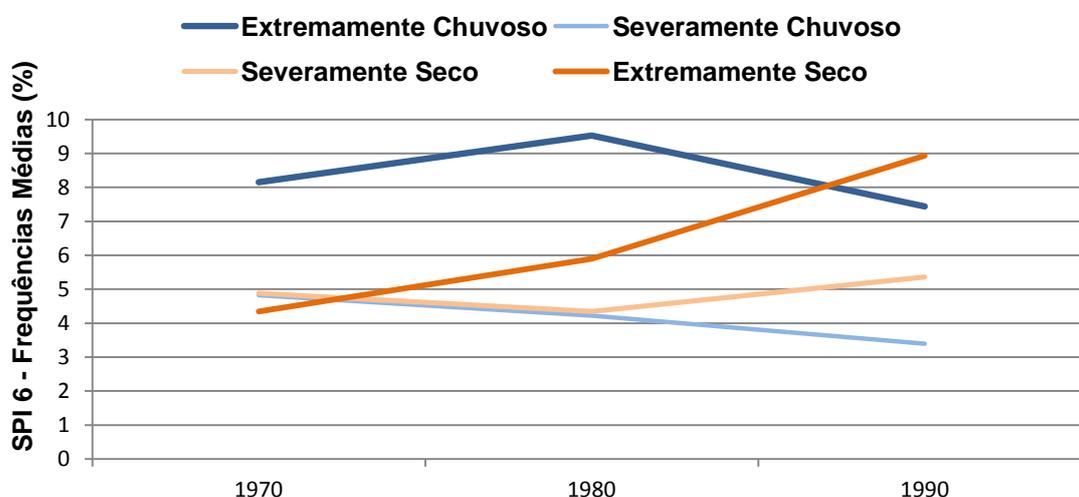


Figura 38: SPI 6 Frequências(%) médias na análise por décadas.

Considerando as duas classes extremas, sejam chuvosas (Ext Chuv e Sev Chuv) ou secas (Sev Seco e Ext Seco), no destaque das frequências(%) feitas acima e na Figura 38 verifica-se que as frequências de ocorrências de eventos chuvosos foram maiores nas décadas de 70 e 80 e menores na década de 90 (181,7, 192,5 e 151,7) respectivamente, em comparação as frequências de eventos secos (143,7, 129,2 e 200,0). Esta situação não nos permite distinguir por uma predominância de eventos secos sobre os chuvosos, ou vice-versa, para os SPI6, ao longo das décadas estudadas.

4.2.3. Estudo do SPI12

O SPI12 representa a média móvel dos valores de precipitação em escala anual (12 meses). Este estudo é importante por refletir padrões de precipitação de longo prazo, sendo uma boa ferramenta para monitorar a seca hidrológica e a relação com a variabilidade anual e interanual da precipitação e seus impactos nos mananciais hídricos normalmente vinculados a níveis de reservatórios artificiais, e mesmo os níveis freáticos (aquíferos) que, devido à sua resiliência, possuem uma capacidade de resposta mais lenta.

4.2.3.1. Estudo do SPI12 - Período em análise (1970-2002)

A distribuição dos valores de SPI12 em classes, para todo o período avaliado (1970-2002), é mostrada na Figura 39.

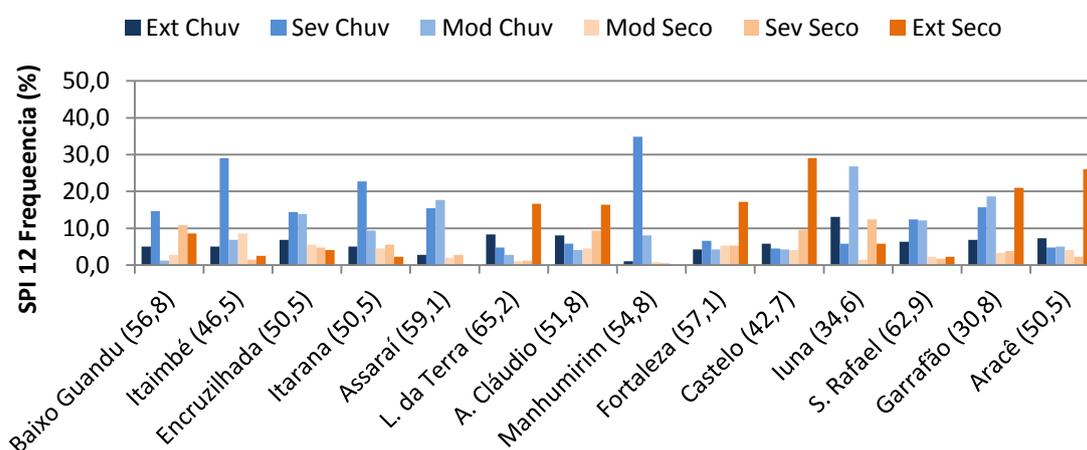


Figura 39: Distribuição das frequências(%) de ocorrência de eventos de precipitação para o SPI12, durante o período em análise (1970-2002). Os valores da classe “Normal” estão à frente do nome de cada estação pluviométrica.

Verifica-se na Figura 39 que a frequência(%) de eventos da classe normal variou entre as estações de 30,8 a 65,2. Já para as classes chuvosas tem-se: Ext Chuv de 1,0 a 13,1, para a Sev Chuv de 4,5 a 34,8 e para a Mod Chuv de 1,3 a 26,8. Quanto às classes secas, tem-se: Mod Seco 0,8 a 8,6, Sev Seco 0,5 a 12,4 e Ext Seco 0 a 29,0. A comparação das classes chuvosas com as secas evidencia maior frequência de ocorrência para os eventos chuvosos, para o período de 33 anos em estudo.

A Tabela 15 apresenta estatísticas descritivas (Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação) para os valores do SPI12 de todas as estações, para as frequências(%) dos eventos Chuvosos, Normais e Secos, os quais

ocorreram durante o período em estudo (1970-2002). Observa-se, também, o predomínio da frequência de eventos chuvosos (29,5) em comparação aos secos (19,6). Os Coeficientes de Variação relativamente altos, para ambos os eventos (60,2 período Seco e 40,4 período Chuvoso), indicam a variabilidade dos valores de SPI12 entre as estações avaliadas, e que esta foi mais acentuada para os eventos secos.

Tabela 15: Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos dados de SPI12, (1970-2002) considerando as estações pluviométricas da bacia do rio Guandu/ES.

| SPI12 | Chuvoso(%) | Normal(%) | Seco(%) |
|--------------------------------|-------------------|------------------|----------------|
| Média | 29,5 | 51,0 | 19,6 |
| Desvio Padrão | 11,9 | 9,9 | 11,8 |
| Coeficiente de Variação | 40,4 | 19,3 | 60,2 |

Dada a existência de variabilidade entre estações quanto à frequência de ocorrência dos eventos, para o período estudado, destacaram-se, nas análises a seguir, as estações com ocorrências de Classes de SPI12, no que tange à frequência (%) de valores superiores à média adicionada de um desvio padrão. Dessa forma, e com base nas frequências mostradas na Figura 39, observa-se:

- a) Classe Ext Chuv: Iuna (13,1);
- b) Classe Sev Chuv: Manhumirim (34,8) e Itaimbé (29,0);
- c) Classe Mod Chuv: Iuna (26,8), Garrafão (18,7) e Assaraí (17,7);
- d) Classe Mod Seco: Itaimbé (8,6);
- e) Classe Sev Seco: Iuna (12,4), Baixo Guandu (10,9), Castelo (9,6) e Afonso Claudio (9,3);
- f) Classe Ext Seco: Castelo (29,0), Aracê (26,0) e Garrafão (21,0).

A análise dos resultados acima nos permite observar que, em termos quantitativos gerais, houve uma predominância de eventos chuvosos, porém distribuídos ao longo de toda a bacia. Por outro lado, os eventos secos, apesar de ocorrerem em menor quantidade, ficaram mais restritos ao sul da bacia.

4.2.3.2. Estudo do SPI12 - Décadas de 70, 80 e 90

A distribuição dos valores de SPI12 em classes, considerando as décadas de 1970, 80 e 90, é mostrada na Figura 40A, B e C.

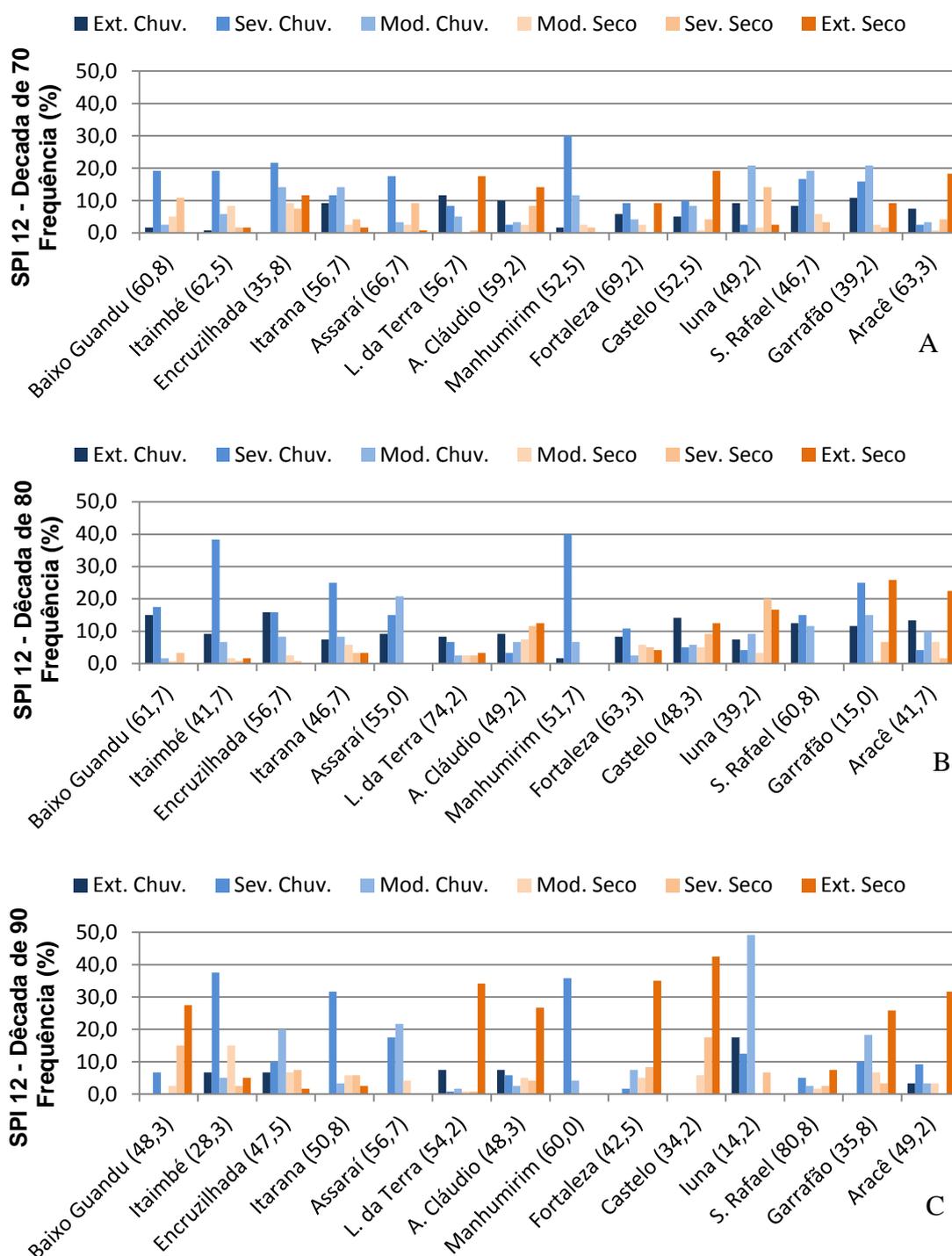


Figura 40: Distribuição das frequências(%) de ocorrência de eventos de precipitação para o SPI12, durante as Décadas de 70, 80 e 90. Os valores da classe “Normal” estão à frente do nome de cada estação pluviométrica.

Verifica-se na Figura 40A, B e C, que a frequência (%) de eventos da classe normal para a década de 70 variou de 35,8 a 69,2, para a década de 80 variou entre as estações de 15,0 a 74,2, para a década de 90 variou de 14,2 a 80,8. Já para as classes chuvosas tem-se: Ext Chuv: de 0,0 a 11,7 (década de 70), de 1,7 a 15,7 (década de 80) e de 0,0 a 17,5 (década de 90). Sev Chuv: de 2,5 a 30,0 (década de 70), de 3,3 a 40,0 (década de 80) e de 0,0 a 37,5 (década de 90). Mod Chuv: de 2,5 a 20,8 (década de 70), de 0,7 a 20,8 (década de 80) e de 0,0 a 49,2 (década de 90). Mod Seco: de 0,0 a 9,2 (década de 70), de 0,0 a 7,5 (década de 80) e de 0,0 a 15,0 (década de 90). Sev Seco: de 0,0 a 14,2 (década de 70), de 0,8 a 20,0 (década de 80) e de 0,0 a 17,5 (década de 90). Ext Seco: de 0,0 a 19,2 (década de 70), de 0,0 a 25,8 (década de 80) e de 0,0 a 42,5 (década de 90). A análise dos resultados indica um aumento substancial dos eventos extremos tanto chuvosos quanto secos na década de 90 em relação as outras duas.

A Tabela 16 apresenta os valores de estatísticas descritivas (Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação) considerando as estações representativas da bacia do rio Guandu, para as frequências(%) os eventos Chuvosos, Normais e Secos que ocorreram, respectivamente, nas décadas de 70, 80 e 90. Observa-se que na região houve decréscimo da frequência de eventos na classe "Normal", de 55,1 (década de 70) para 50,4 (década de 80) e 46,5 (década de 90). Já para a classe "Seca" houve uma condição estável de eventos dessa natureza entre as décadas de 70 e 80, com um acentuado aumento em relação a década de 90.

Os eventos chuvosos apresentaram uma condição de estabilidade, exceto para a década de 80 que apresentou mais eventos dessa natureza que as outras duas décadas. Notadamente vê-se que enquanto os eventos de natureza chuvosos se mantiveram estáveis, houve um aumento dos eventos de seca, principalmente na década de 90 e mais ao Sul da bacia.

Quando se considera o coeficiente de variação percebe-se que houve flutuação nos dois períodos: aumento de 44,7 (década de 70), para 96,5 (década 80) e diminuição 71,4 (década de 90) para o período seco e diminuição de 37,6 (década de 70) para 36,6 (década 80) e aumento para 81,2 (década 90).

Tabela 16: Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos dados de SPI12, para as Décadas de 70, 80 e 90, considerando as estações pluviométricas da bacia do rio Guandu/ES.

| SPI12 - Década 70 | Chuvoso(%) | Normal(%) | Seco(%) |
|--------------------------------|-------------------|------------------|----------------|
| Média | 28,9 | 55,1 | 16,0 |
| Desvio Padrão | 10,9 | 9,8 | 7,2 |
| Coeficiente de Variação | 37,7 | 17,8 | 44,7 |
| SPI12 - Década 80 | Chuvoso(%) | Normal(%) | Seco(%) |
| Média | 34,6 | 50,4 | 15,0 |
| Desvio Padrão | 12,7 | 14,1 | 14,5 |
| Coeficiente de Variação | 36,6 | 28,0 | 96,5 |
| SPI12 - Década 90 | Chuvoso(%) | Normal(%) | Seco(%) |
| Média | 26,6 | 46,5 | 26,9 |
| Desvio Padrão | 21,6 | 15,7 | 19,2 |
| Coeficiente de Variação | 81,2 | 33,8 | 71,4 |

Na análise a seguir são apresentadas as estações com ocorrências de Classes de SPI12, no que tange à frequência(%) de valores superiores à média adicionada de um desvio padrão. Dessa forma, e com base nas frequências mostradas na Figura 40A, B e C, observa-se:

A década de 70 apresentou maior frequência(%) de ocorrência de eventos chuvosos (405,0) em comparação aos secos (224,2). Destaques para:

- a) Classe Ext Chuv: Laranja da Terra (11,7) e Garrafão (10,8);
- b) Classe Sev Chuv: Manhumirim (30,0) e Encruzilhada (21,7);
- c) Classe Mod Chuv: Iuna (20,8); Garrafão (20,8) e São Rafael (20,8);
- d) Classe Mod Seco: Encruzilhada (9,2) e Itaimbé (8,3);
- e) Classe Sev Seco: Iuna (14,2) e Baixo Guandu (10,8);
- f) Classe Ext Seco: Castelo (19,2), Aracê (18,3) e Laranja da Terra (17,5).

A década de 80 apresentou maior frequência(%) de ocorrência de eventos chuvosos (485,0) em comparação aos secos (210,0). Destaques para:

- a) Classe Ext Chuv: Encruzilhada (15,8), Baixo Guandu (15,0) e Castelo (14,2);
- b) Classe Sev Chuv: Manhumirim (40,0) e Itaimbé (38,3);
- c) Classe Mod Chuv: Assaraí (20,8) e Garrafão (15,0);
- d) Classe Mod Seco: Aracê (6,7), Fortaleza (5,8) e Itarana (5,8);
- e) Classe Sev Seco: Iuna (20,0) e Afonso Claudio (11,7);
- f) Classe Ext Seco: Garrafão (25,8), Aracê (22,5) e Iuna (16,7).

A década de 90, ao contrário das décadas de 70 e 80, apresentou maior frequência(%) de ocorrência de eventos secos (376,7) em comparação aos chuvosos (372,5). Destaques para:

- a) Classe Ext Chuv: Iuna (17,5);
- b) Classe Sev Chuv: Itaimbé (37,5), Manhumirim (35,8) e Itarana (31,7);
- c) Classe Mod Chuv: Iuna (49,2);
- d) Classe Mod Seco: Itaimbé (15,0);
- e) Classe Sev Seco: Castelo (17) e Baixo Guandu (15,0);
- f) Classe Ext Seco: Castelo (42,5), Fortaleza (35,0) e Laranja da Terra (34,2).

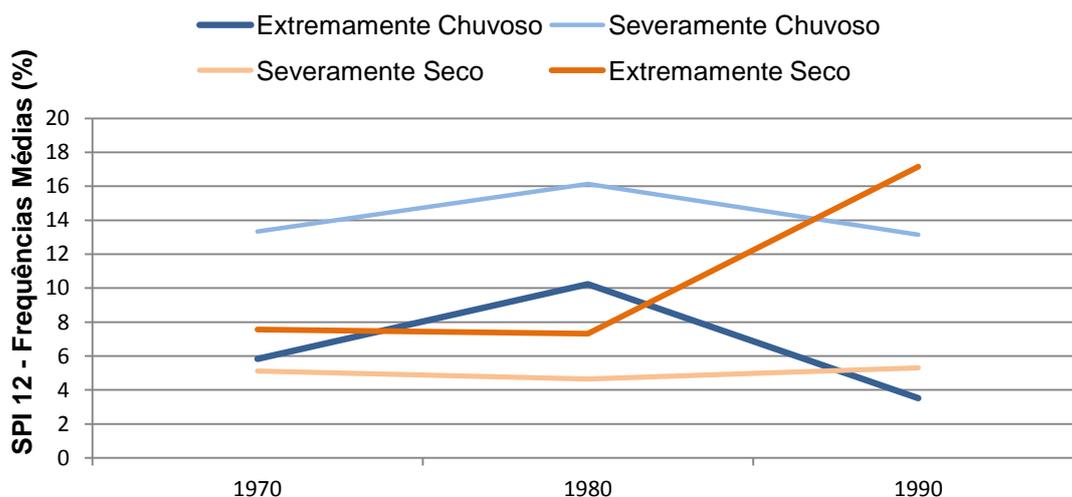


Figura 41: Frequências(%) médias na análise por décadas.

Considerando as duas classes extremas, sejam chuvosas (Ext Chuv e Sev Chuv) ou secas (Sev Seco e Ext Seco), no destaque das frequências(%) feitas acima e na Figura 41 verifica-se que a flutuação observada na Tabela 16, as frequências de ocorrências de eventos chuvosos foram maiores nas décadas de 70 e 80 e menores na década de 90 (268,3, 369,2 e 233,3 respectivamente), em comparação as frequências de eventos secos (177,5, 167,5 e 314,2).

Dos resultados apresentados pode-se inferir que a predominância de eventos extremos chuvosos está explicado pela maior ocorrência desses eventos na década de 80. Por outro, lado o acentuado aumento de eventos de secas associados com eventos de chuvas intensas, na década de 90, nos apresenta uma indicação tanto de maior ocorrência de secas hidrológicas, como de enxurradas e cheias em toda a bacia.

4.3. Desenvolvimento do Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca adaptado para o âmbito da bacia Hidrográfica do rio Guandu

Inicialmente, para o ajuste e adequação do ISFS a bacia do Rio Guandu, foram necessárias algumas alterações estruturais no programa que operacionaliza o seu cálculo, uma vez que o programa foi originalmente desenvolvido para as condições de precipitação do Semiárido Brasileiro onde a estação chuvosa ocorre de fevereiro a julho, ou seja, dentro do mesmo ano.

Para a aplicação as condições da bacia do Guandu no Espírito Santo houve uma mudança substancial na parametrização do período chuvoso que se inicia em outubro do ano corrente e se estende até março do ano posterior. Essa modificação impactou em alterações de diversas linhas de código no software ISFS_Sist, que foram feitas pelo autor do software em conjunto com o autor deste trabalho.

Adotou-se como convenção que o ano de referência para rodar o ISFS nestas condições deverá ser o ano posterior ao ano de início do período chuvoso.

Para os testes do ISFS a bacia do Rio Guandu foi escolhida três estações chuvosas nos anos onde se rodou o SPI, representando um cenário seco, normal e chuvoso em termos da precipitação pluviométrica (outubro a março). Essa escolha foi realizada a partir dos mapas de SPI mensais anexados ao final deste trabalho.

Portanto o período de out/1994 à mar/1995 foi escolhido para representar o cenário seco (Figura 42), out/1993 à mar/1994 o cenário normal (Figura 43) e out/1996 à mar/1997 o cenário chuvoso (Figura 44). Em seguida foi dada entrada no programa ISFS_Sist de todas as variáveis necessárias ao cálculo do índice para esses períodos selecionados e procedido o cálculo do ISFS para os anos de 1994, 1995 e 1997, de acordo com o convencionado para o ano de referência de cálculo do índice descrito acima.

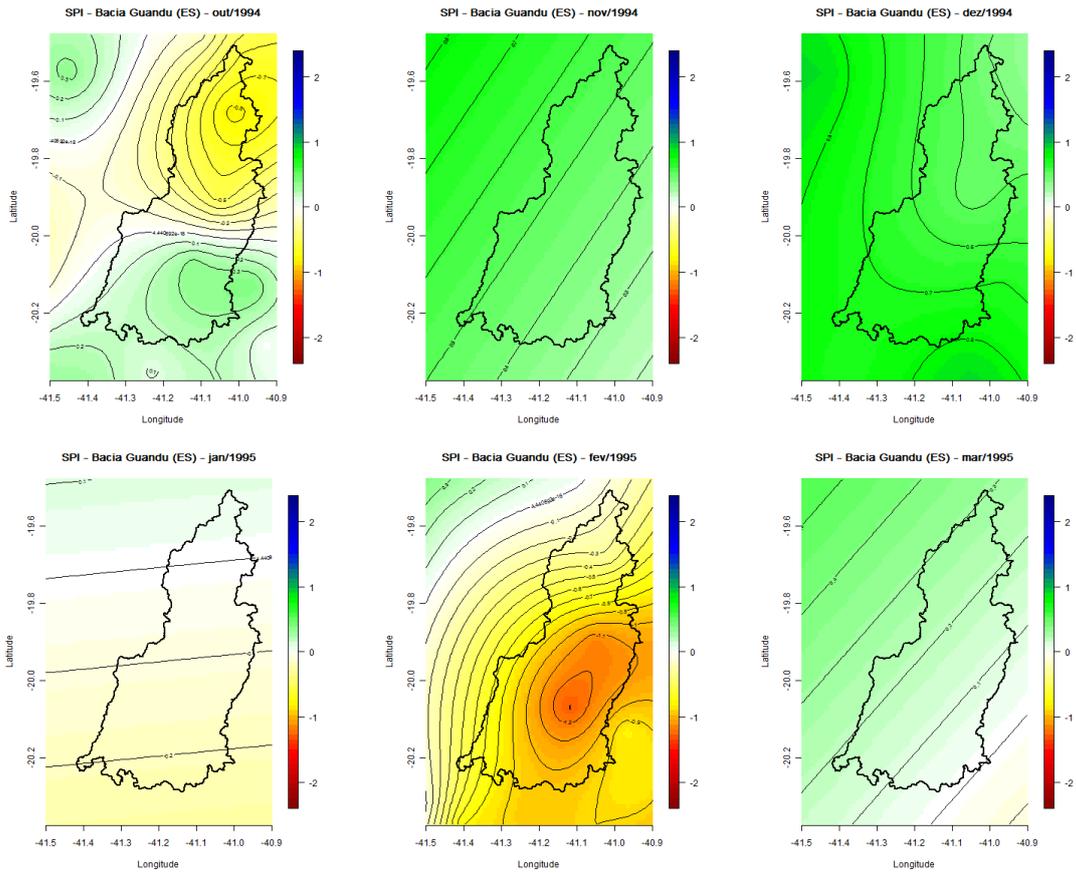


Figura 42: Mapas de SPI mensais – Período: out/ 1994 à mar/1995.

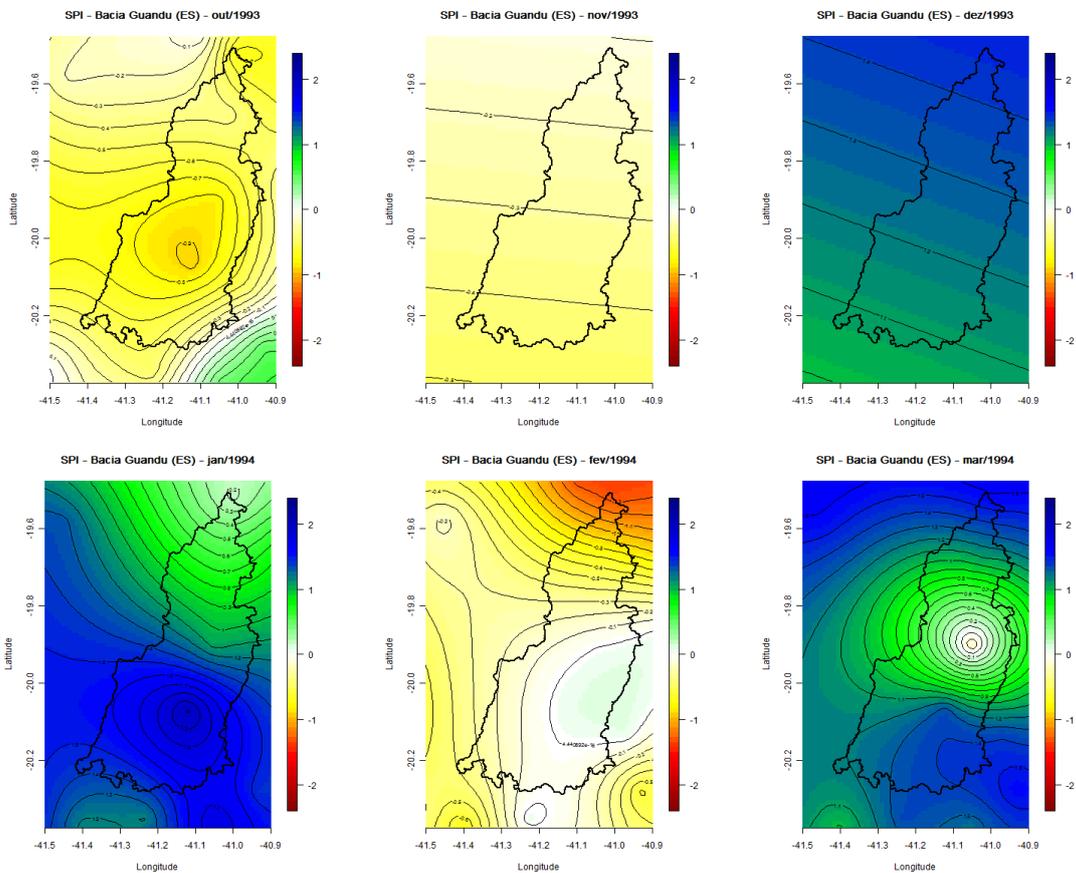


Figura 43: Mapas de SPI mensais – Período: out/ 1993 à mar/1994.

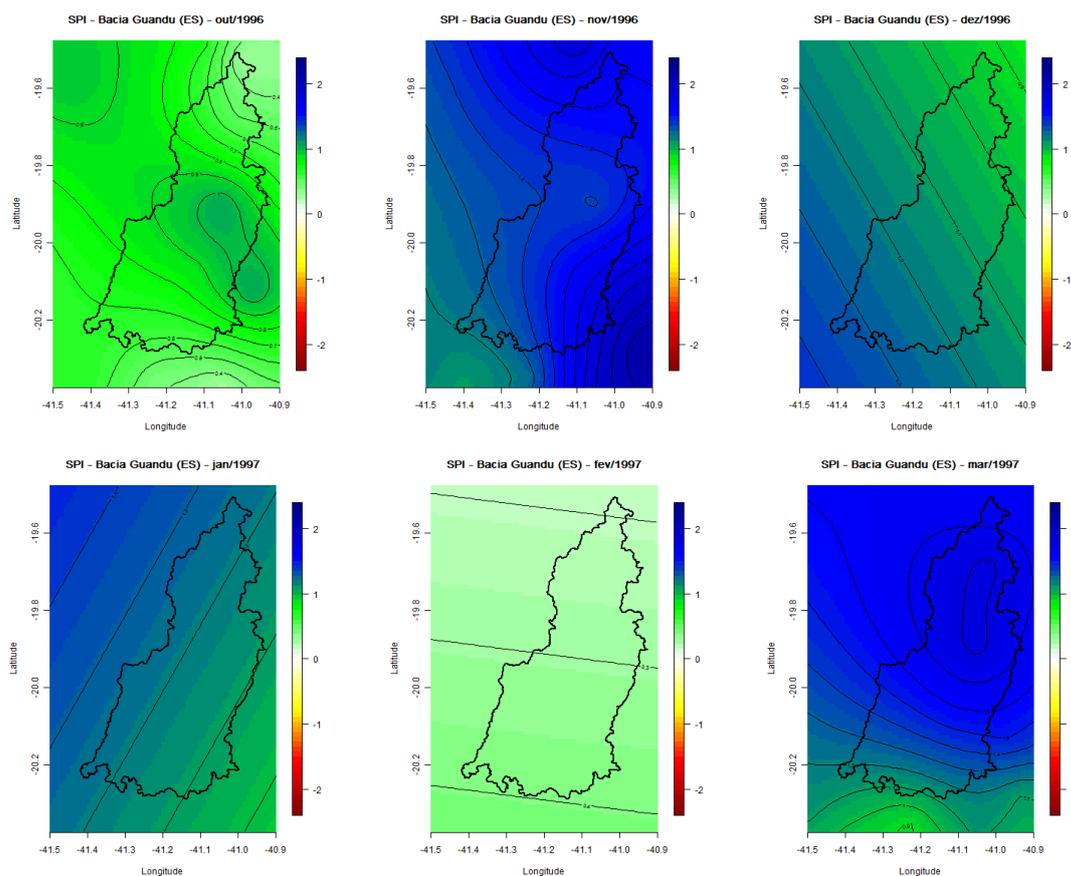


Figura 44: Mapas de SPI mensais – Período: out/ 1996 à mar/1997.

Os limites de variação para as classes do ISFS foram definidos em função dos resultados obtidos para o índice, nos anos rodados, o que resultou na tabela de convenção abaixo:

Tabela 17: Tabela de referência para classificação do ISFS, ajustada as condições da Bacia do rio Guandu.

| Categoria | Definição | Varição do ISFS | Cor |
|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------|
| Alta susceptibilidade | $ISFS > q_{0.85}^*$ | $ISFS > 73,96262$ | Red |
| Média-alta susceptibilidade | $q_{0.65}^* < ISFS \leq q_{0.85}^*$ | $62,56218 < ISFS \leq 73,96262$ | Yellow |
| Média susceptibilidade | $q_{0.35}^* < ISFS \leq q_{0.65}^*$ | $60,19024 < ISFS \leq 62,56218$ | Light Blue |
| Média-baixa susceptibilidade | $q_{0.15}^* < ISFS \leq q_{0.35}^*$ | $55,49058 < ISFS \leq 60,19024$ | Medium Blue |
| Baixa susceptibilidade | $ISFS < q_{0.15}^*$ | $ISFS < 55,49058$ | Dark Blue |

* $q_{0.85}$, $q_{0.65}$, $q_{0.35}$, $q_{0.15}$ – Quantis da distribuição do ISFS.

A Tabela 18 apresenta um resumo das variáveis e as convenções utilizadas no cálculo do ISFS para cada um destes anos.

Tabela 18: Variáveis consideradas nos cálculos do ISFS.

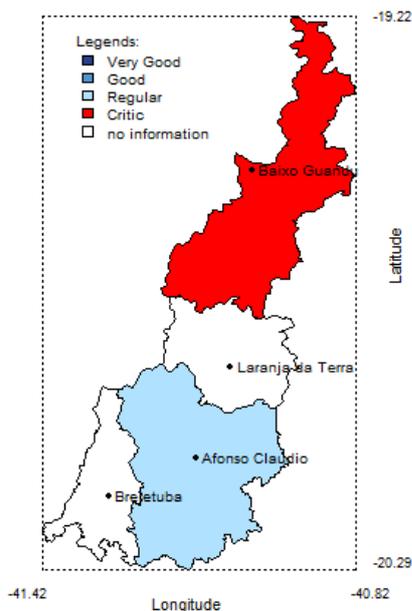
| Período | Ano Ref. ISFS | Subindicador - Variáveis utilizadas |
|----------------|----------------------|---|
| 1993/1994 | 1994 | PV11 - Classe de aptidão agrícola do município, dados do censo agropecuário de 2006 PV12 – Precipitação Média Histórica do período chuvoso dos municípios, calculados a partir de dados da ANA PV131 – Dados populacionais do censo de 2010 PV132 – PIB Médio (1999-2005) PV133 – Receita corrente média (1994-2010) PV21 – Precipitação diária de out/1993 à mar/1994 PV22 – Dados do SNIS |
| 1994/1995 | 1995 | PV11 - Classe de aptidão agrícola do município, dados do censo agropecuário de 2006 PV12 – Precipitação Média Histórica do período chuvoso dos municípios, calculados a partir de dados da ANA PV131 – Dados populacionais do censo de 2010 PV132 – PIB Médio (1999-2005) PV133 – Receita corrente do ano de 1994 PV21 – Precipitação diária de out/1994 à mar/1995 PV22 – Dados do SNIS |
| 1996/1997 | 1997 | PV11 - Classe de aptidão agrícola do município, dados do censo agropecuário de 2006 PV12 – Precipitação Média Histórica do período chuvoso dos municípios, calculados a partir de dados da ANA PV131 – Dados populacionais do censo de 2010 PV132 – PIB Médio (1999-2005) PV133 – Receita corrente do ano de 1996 PV21 – Precipitação diária de out/1996 à mar/1997 PV22 – Dados do SNIS |

Os valores do PV são apresentados numa escala de 0 a 100, porem não são percentagem, apesar de poderem ser entendido como se o fosse.

4.3.1. Resultados do ISFS – Períodos: 1993-1994, 1994-1995, 1996-1997.

Nas Figuras 45, 46 e 47 são apresentados os mapas dos Índices de Distribuição de Chuvas (IDC), variável que constitui o subindicador PV21, para todos os períodos chuvosos considerados no trabalho.

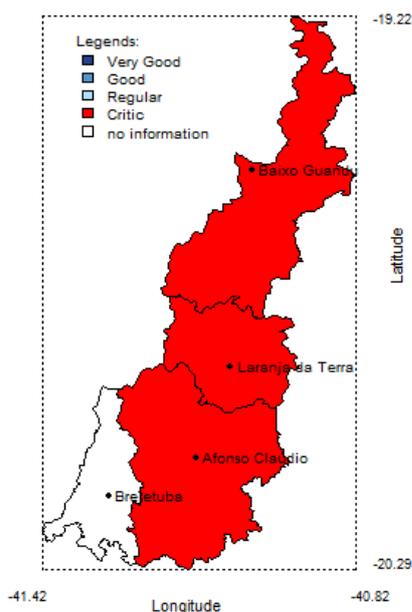
Rainfall Distribution Index (RDI) – Bacia Rio Guandu – Year: 1994
Período: 1/10/1993 a 31/3/1994



Copyright: ISFS_Sist

Figura 45: Índice de Distribuição de Chuvas (IDC) - Ano: 1994.

Rainfall Distribution Index (RDI) – Bacia Rio Guandu – Year: 1995
Período: 1/10/1994 a 31/3/1995

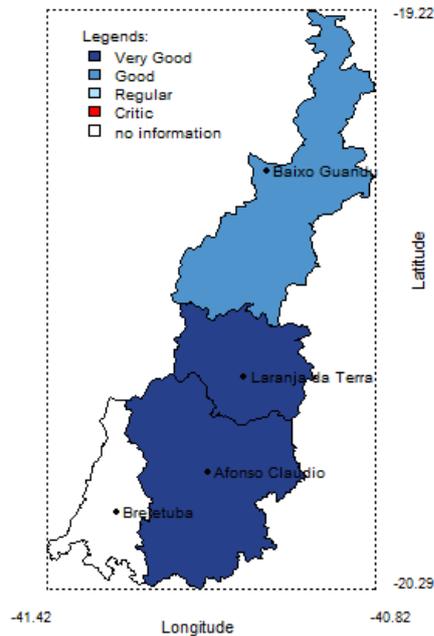


Copyright: ISFS_Sist

Figura 46: Índice de Distribuição de Chuvas (IDC) - Ano: 1995.

Rainfall Distribution Index (RDI) - Bacia Rio Guandu - Year: 1997

Período: 1/10/1996 a 31/3/1997



Copyright: ISFS_Sist

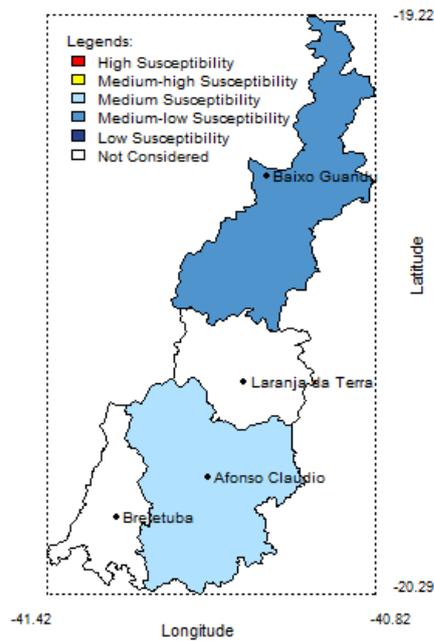
Figura 47: Índice de Distribuição de Chuvas (IDC) - Ano: 1997.

Os mapas apresentados acima referendam os cenários apresentados pelos mapas de SPI's (Figura 42), onde o ano de 1994 apresenta uma melhor distribuição no sul da bacia do que ao norte desta, e no quadro geral uma condição de normalidade, ou seja, locais com chuvas normais e locais com chuvas abaixo da precipitação média. Para o ano de 1995 vê-se que houve uma situação de distribuição crítica ao longo de toda a bacia o que referenda os resultados apresentados dos mapas de SPI (Figura 44) apresenta os meses de out/1994, jan/1995 e fev/1995 com anomalias negativas em toda a bacia. Já para o ano de 1997 que em função do SPI (Figura 45) apresentou anomalias positivas ao longo de todo o período chuvoso, isso se reflete no Mapa de IDC no qual quase toda a totalidade da bacia teve uma distribuição de chuvas de boa a muito boa.

Nas Figuras 49, 50 e 51 são apresentados os mapas com os resultados do ISFS preliminar, ou seja, sem o preenchimento das falhas, e nas Figuras 52, 53 e 54 os mapas finais do ISFS já com as falhas preenchidas. Por fim, na Tabela 19 são apresentados os resultados da classificação dos municípios em função do ISFS para cada ano rodado.

Index of Susceptibility to Drought - Bacia Guandu - Year: 1994

Período: 1/10/1993 a 31/3/1994

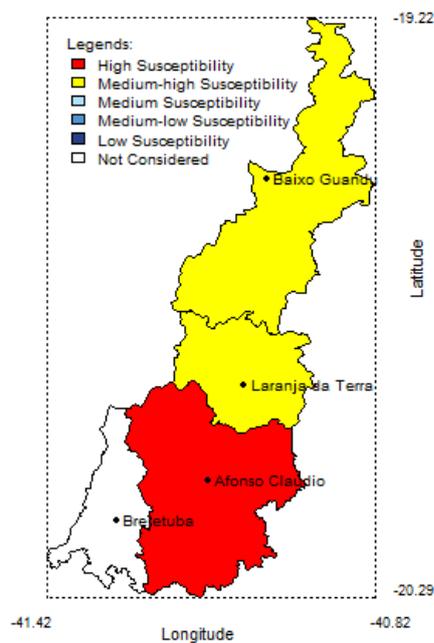


Copyright: ISFS_Sist

Figura 48: ISFS – 1994 – Resultado Preliminar.

Index of Susceptibility to Drought - Bacia Guandu - Year: 1995

Período: 1/10/1994 a 31/3/1995

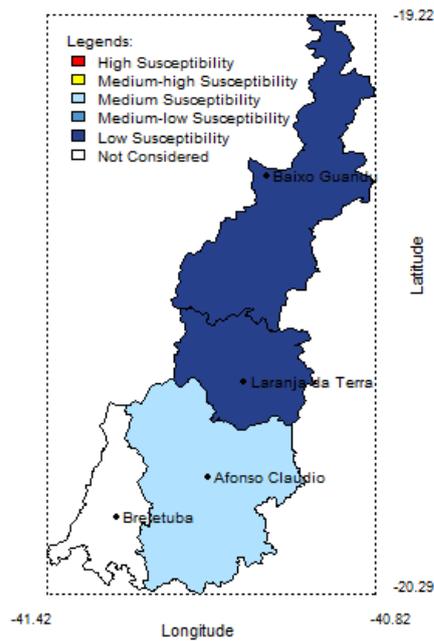


Copyright: ISFS_Sist

Figura 49: ISFS - 1995– Resultado Preliminar.

Index of Susceptibility to Drought - Bacia Guandu - Year: 1997

Período: 1/10/1996 a 31/3/1997

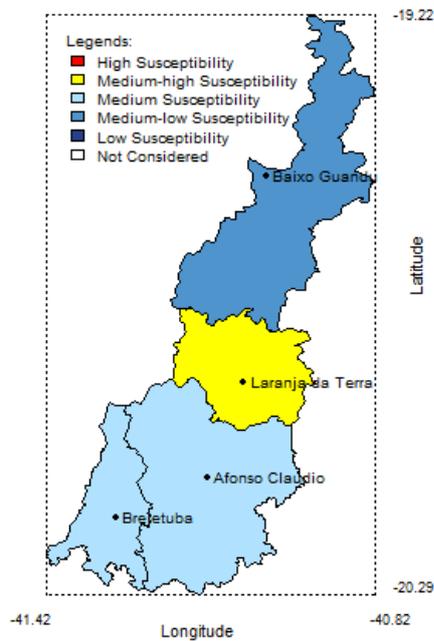


Copyright: ISFS_Sist

Figura 50: ISFS - 1997- Resultado Preliminar.

Index of Susceptibility to Drought - Bacia Guandu - Year: 1994

Período: 1/10/1993 a 31/3/1994

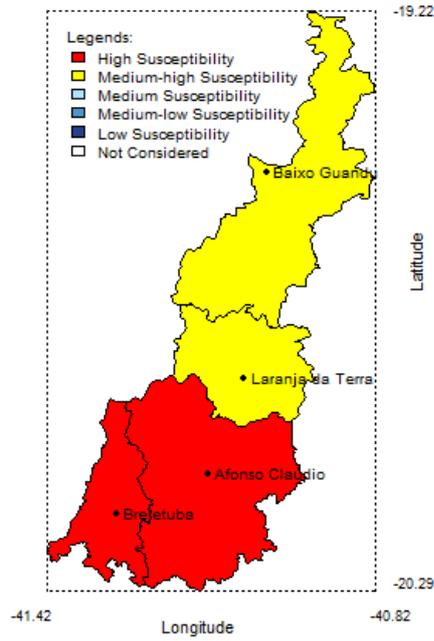


Copyright: ISFS_Sist

Figura 51: ISFS - 1994 - Mapa Final.

Index of Susceptibility to Drought - Bacia Guandu - Year: 1995

Período: 1/10/1994 a 31/3/1995

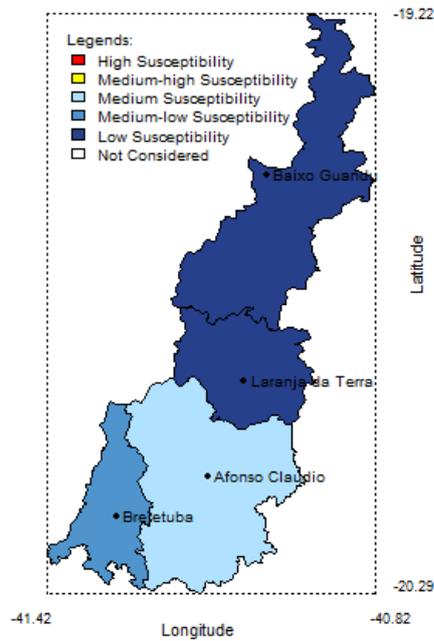


Copyright: ISFS_Sist

Figura 52: ISFS – 1995 – Mapa Final

Index of Susceptibility to Drought - Bacia Guandu - Year: 1997

Período: 1/10/1996 a 31/3/1997



Copyright: ISFS_Sist

Figura 53: ISFS – 1997 – Mapa Final

Tabela 19: Resultados da classificação do ISFS.

| COD | Município | PV11 | PV12 | PV131 | PV132 | PV133 | PV21 | PV22 | ISFS | Cor |
|------------------|------------------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-----|
| Ano: 1994 | | | | | | | | | | |
| 316 | Laranja da Terra | 48,43 | 79,69 | 29,19 | 56,61 | 32,91 | 66,12 | 97,51 | 62,70 | |
| 10 | Afonso Cláudio | 100,00 | 53,75 | 60,90 | 43,38 | 65,86 | 11,11 | 96,62 | 61,29 | |
| 115 | Brejetuba | 55,19 | 35,63 | 34,02 | 100,00 | 4,49 | 58,44 | 98,08 | 61,23 | |
| 80 | Baixo Guandu | 47,06 | 100,00 | 26,27 | 10,49 | 32,66 | 97,40 | 63,66 | 58,43 | |
| Ano: 1995 | | | | | | | | | | |
| 10 | Afonso Cláudio | 100,00 | 53,75 | 60,90 | 43,38 | 100,00 | 95,70 | 96,62 | 80,26 | |
| 115 | Brejetuba | 55,19 | 35,63 | 34,02 | 100,00 | 100,00 | 95,62 | 98,08 | 74,39 | |
| 316 | Laranja da Terra | 48,43 | 79,69 | 29,19 | 56,61 | 100,00 | 95,00 | 97,51 | 72,50 | |
| 80 | Baixo Guandu | 47,06 | 100,00 | 26,27 | 10,49 | 100,00 | 98,20 | 63,66 | 62,63 | |
| Ano: 1997 | | | | | | | | | | |
| 10 | Afonso Cláudio | 100,00 | 53,75 | 60,90 | 43,38 | 100,00 | 6,69 | 96,62 | 62,45 | |
| 115 | Brejetuba | 55,19 | 35,63 | 34,02 | 100,00 | 100,00 | 8,27 | 98,08 | 56,92 | |
| 316 | Laranja da Terra | 48,43 | 79,69 | 29,19 | 56,61 | 100,00 | 8,46 | 97,51 | 55,19 | |
| 80 | Baixo Guandu | 47,06 | 100,00 | 26,27 | 10,49 | 100,00 | 9,86 | 63,66 | 44,96 | |

Para o ano referência 1994, considerado neste trabalho como “ano de precipitação normal”, os resultados demonstram a predominância de municípios da categoria “Media Susceptibilidade” (Afonso Cláudio e Brejetuba), um município na categoria “Media Baixa Susceptibilidade” (Baixo Guandu) e um município na categoria “Média Alta Susceptibilidade” (Laranja da Terra). Estes resultados seguem a tendência de precipitação, apresentados pelos Mapas do SPI (Figura 43).

A classificação de Laranja da Terra, na categoria “Media Alta Susceptibilidade” ocorreu em função da elevada pontuação dada pela condição do abastecimento d’água (PV22), pela climatologia da precipitação (PV12) e pelo índice de distribuição de chuvas (PV21). Apesar do subindicador PV21, apresentar-se como “falha de dado” (Figura 48), analisando os mapas do SPI (Figura 43) vemos que o município de Laranja da Terra apresentou 4 dos 6 meses da estação chuvosa, como anomalias negativas à normais, o que valida os resultados obtidos pela regressão no preenchimento do ISFS.

0316 - Laranja da Terra

| | |
|--|-----------------------|
| ISFS(1994) | 62.7005 |
| Rank: | 1 |
| PV11: | 48.42 |
| PV12: | 79.68 |
| PV131: | 29.19 |
| PV132: | 56.61 |
| PV133: | 32.9 |
| PV21: | 66.12 |
| PV22: | 97.51 |
| Há preenchimento mutiplo? | Sim |
| Há winsorização de dados? | Não |
| Período: | 1/10/1993 a 31/3/1994 |
| Categoria: Média-Alta Susceptibilidade | |

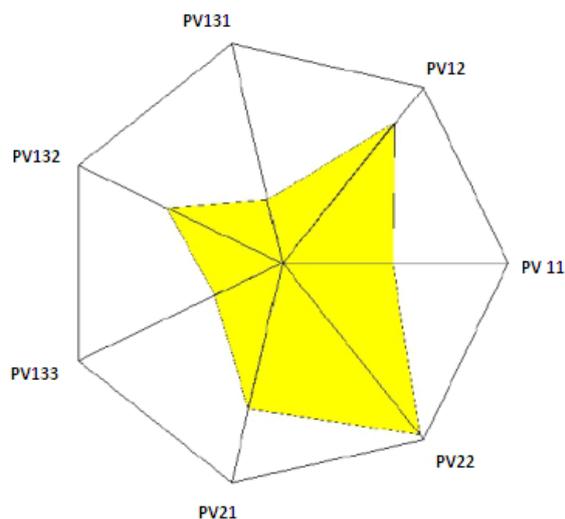


Figura 54: Perfil do ISFS para o ano de 1994, município de Laranja da Terra.

Por outro lado, o município de Baixo Guandu apresentou-se na categoria da “Media Baixa Susceptibilidade” em função dos subindicadores da Natureza Socioeconômica (PV131, PV132 e PV133) e por suas condições de abastecimento d’água (PV22) (Figura 55) apresentarem-se melhor que os demais municípios.

0080 - Baixo Guandu

| | |
|---|-----------------------|
| ISFS(1994) | 58.43 |
| Rank: | 4 |
| PV11: | 47.06 |
| PV12: | 100 |
| PV131: | 26.26 |
| PV132: | 10.49 |
| PV133: | 32.65 |
| PV21: | 97.4 |
| PV22: | 63.66 |
| Há preenchimento mutiplo? | Não |
| Há winsorização de dados? | Não |
| Período: | 1/10/1993 a 31/3/1994 |
| Categoria: Média-Baixa Susceptibilidade | |

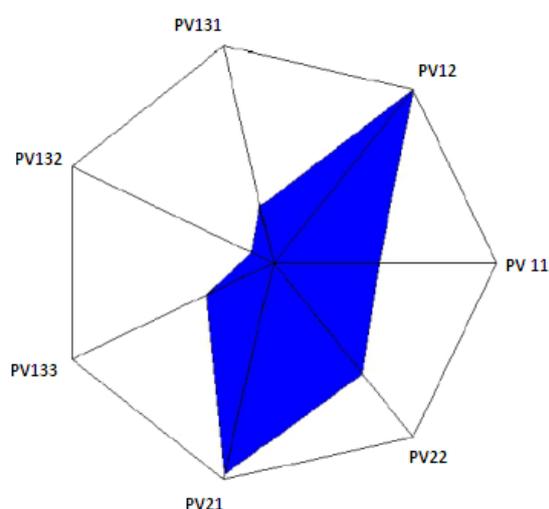


Figura 55: Perfil do ISFS para o ano de 1994, município de Baixo Guandu.

Para o ano de 1995, considerado como “ano seco”, os resultados apresentam todos os municípios na categoria mais crítica, com destaque para Afonso Cláudio e Brejetuba, localizados mais ao Sul da Bacia. Estes resultados corroboram os mapas de SPI (Figura 42). Os municípios incluídos na categoria “Alta Susceptibilidade” (Afonso Cláudio e Brejetuba) (Figuras 56 e 57) apresentaram baixa renda per capita municipal (PV133), uma situação crítica de distribuição de chuvas (PV21) e alto risco no abastecimento de água (PV22), sendo que o município de Afonso Cláudio apresenta uma condição de aptidão agrícola do solo e uso da terra (PV11) mais crítica que Brejetuba, em contrapartida o Município de Brejetuba apresentou uma condição de participação da agropecuária no PIB (PV132), pior que Afonso Cláudio, justificando suas classificações no ÍSFS.

ÍSFS - Índice de Susceptibilidade ao Fenômeno da Seca

0010 - Afonso Cláudio

| | |
|---------------------------|-----------------------|
| ÍSFS(1995) | 80.2552 |
| Rank: | 1 |
| PV11: | 100 |
| PV12: | 53.75 |
| PV131: | 60.9 |
| PV132: | 43.38 |
| PV133: | 100 |
| PV21: | 95.7 |
| PV22: | 96.62 |
| Há preenchimento mutiplo? | Não |
| Há winsorização de dados? | Não |
| Período: | 1/10/1994 a 31/3/1995 |
| Categoria: | Alta Susceptibilidade |

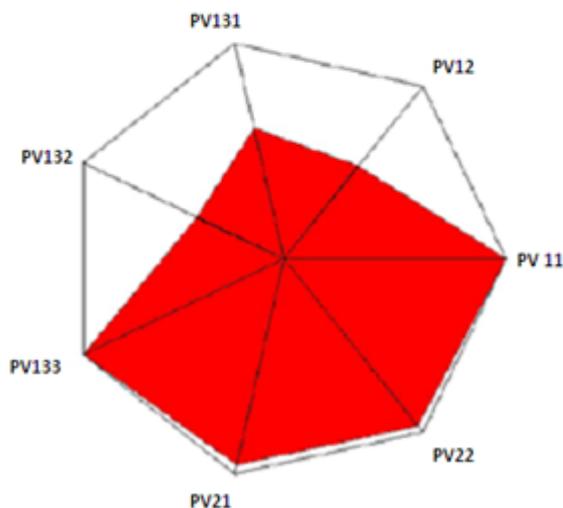


Figura 56: Perfil do ISFS para o ano de 1995, município de Afonso Cláudio.

0115 - Brejetuba

| | |
|---------------------------|-----------------------|
| ISFS(1995) | 74.3968 |
| Rank: | 2 |
| PV11: | 55.18 |
| PV12: | 35.62 |
| PV131: | 34.01 |
| PV132: | 100 |
| PV133: | 100 |
| PV21: | 95.62 |
| PV22: | 98.08 |
| Há preenchimento mutiplo? | Sim |
| Há winsorização de dados? | Não |
| Período: | 1/10/1994 a 31/3/1995 |
| Categoria: | Alta Susceptibilidade |

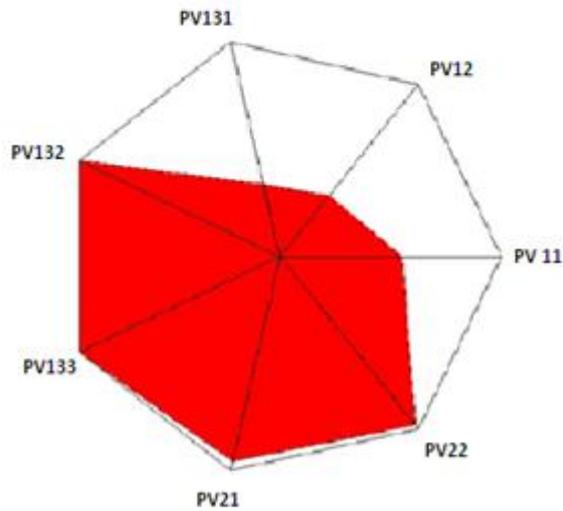


Figura 57: Perfil do ISFS para o ano de 1995, município de Brejetuba.

Em contrapartida os municípios de Baixo Guandu e Laranja da Terra, apesar de apresentarem os subindicadores PV133 e PV21, em situação mais críticas, apresentaram os outros indicadores em condições melhores que os municípios do subindicadores da classe anterior (Figuras 58 e 59).

0080 - Baixo Guandu

| | |
|---------------------------|-----------------------------|
| ISFS(1995) | 62.6306 |
| Rank: | 4 |
| PV11: | 47.06 |
| PV12: | 100 |
| PV131: | 26.26 |
| PV132: | 10.49 |
| PV133: | 100 |
| PV21: | 98.2 |
| PV22: | 63.66 |
| Há preenchimento mutiplo? | Não |
| Há winsorização de dados? | Não |
| Período: | 1/10/1994 a 31/3/1995 |
| Categoria: | Média-Alta Susceptibilidade |

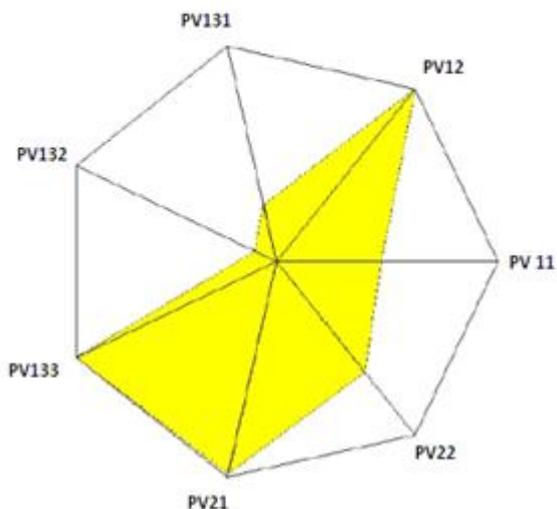


Figura 58: Perfil do ISFS para o ano de 1995, município de Baixo Guandu.

0316 - Laranja da Terra

| | |
|---------------------------|-----------------------------|
| ISFS(1995) | 72.5006 |
| Rank: | 3 |
| PV11: | 48.42 |
| PV12: | 79.68 |
| PV131: | 29.19 |
| PV132: | 56.61 |
| PV133: | 100 |
| PV21: | 95 |
| PV22: | 97.51 |
| Há preenchimento mutiplo? | Não |
| Há winsorização de dados? | Não |
| Período: | 1/10/1994 a 31/3/1995 |
| Categoria: | Média-Alta Susceptibilidade |

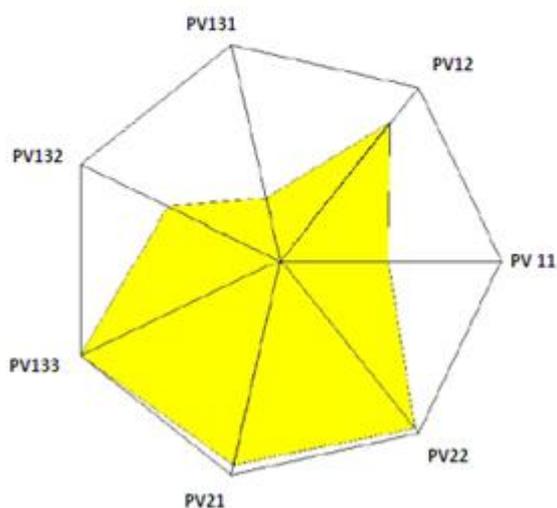


Figura 59: Perfil do ISFS para o ano de 1995, município de Laranja da Terra.

Para o ano de 1997, considerado como “ano chuvoso”, os resultados do ISFS apresentam todos os municípios nas categorias de “Menor Susceptibilidade” (Figura 53). Estes resultados corroboram os resultados dos mapas do SPI (Figura 44), que apresentaram todos os meses da estação chuvosa com anomalias positivas. As Figuras 60 a 63 justificam o porquê desta classificação, dada em função do subindicador PV21, o qual apresentou condição altamente favorável em todos os municípios.

0010 - Afonso Cláudio

| | |
|---------------------------|------------------------|
| ISFS(1997) | 62.4539 |
| Rank: | 1 |
| PV11: | 100 |
| PV12: | 53.75 |
| PV131: | 60.9 |
| PV132: | 43.38 |
| PV133: | 100 |
| PV21: | 6.69 |
| PV22: | 96.62 |
| Há preenchimento mutiplo? | Não |
| Há winsorização de dados? | Não |
| Período: | 1/10/1996 a 31/3/1997 |
| Categoria: | Média Susceptibilidade |

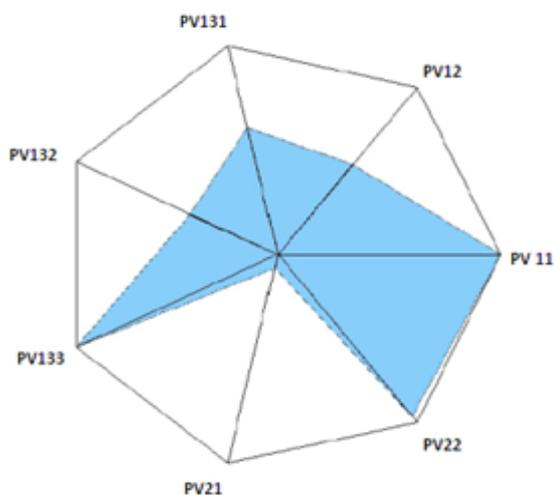


Figura 60: Perfil do ISFS para o ano de 1997, município de Afonso Cláudio.

0080 - Baixo Guandu

| | |
|---------------------------|------------------------|
| ISFS(1997) | 44.9624 |
| Rank: | 4 |
| PV11: | 47.06 |
| PV12: | 100 |
| PV131: | 26.26 |
| PV132: | 10.49 |
| PV133: | 100 |
| PV21: | 9.85 |
| PV22: | 63.66 |
| Há preenchimento mutiplo? | Não |
| Há winsorização de dados? | Não |
| Período: | 1/10/1996 a 31/3/1997 |
| Categoria: | Baixa Susceptibilidade |

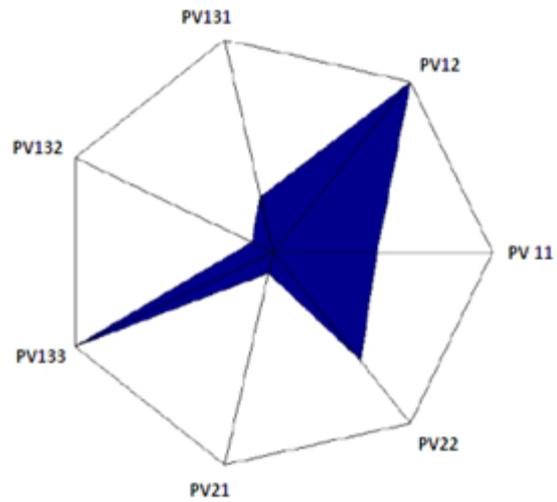


Figura 61: Perfil do ISFS para o ano de 1997, município de Baixo Guandu.

0115 - Brejetuba

| | |
|---------------------------|------------------------------|
| ISFS(1997) | 56.9265 |
| Rank: | 2 |
| PV11: | 55.18 |
| PV12: | 35.62 |
| PV131: | 34.01 |
| PV132: | 100 |
| PV133: | 100 |
| PV21: | 8.27 |
| PV22: | 98.08 |
| Há preenchimento mutiplo? | Sim |
| Há winsorização de dados? | Não |
| Período: | 1/10/1996 a 31/3/1997 |
| Categoria: | Média-Baixa Susceptibilidade |

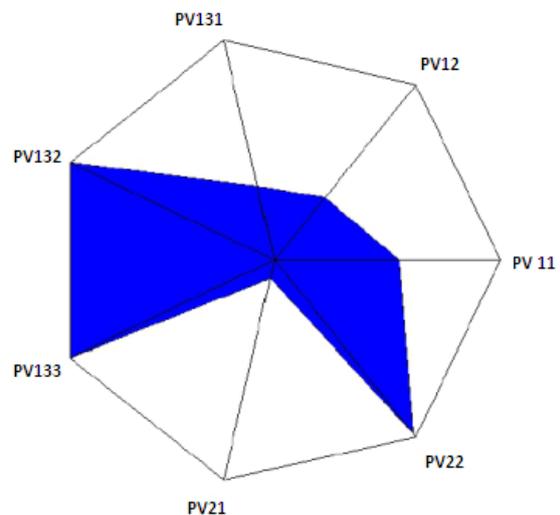


Figura 62: Perfil do ISFS para o ano de 1997, município de Brejetuba.

0316 - Laranja da Terra

| | |
|---------------------------|------------------------|
| ISFS(1997) | 55.193 |
| Rank: | 3 |
| PV11: | 48.42 |
| PV12: | 79.68 |
| PV131: | 29.19 |
| PV132: | 56.61 |
| PV133: | 100 |
| PV21: | 8.46 |
| PV22: | 97.51 |
| Há preenchimento mutiplo? | Não |
| Há winsorização de dados? | Não |
| Período: | 1/10/1996 a 31/3/1997 |
| Categoria: | Baixa Susceptibilidade |

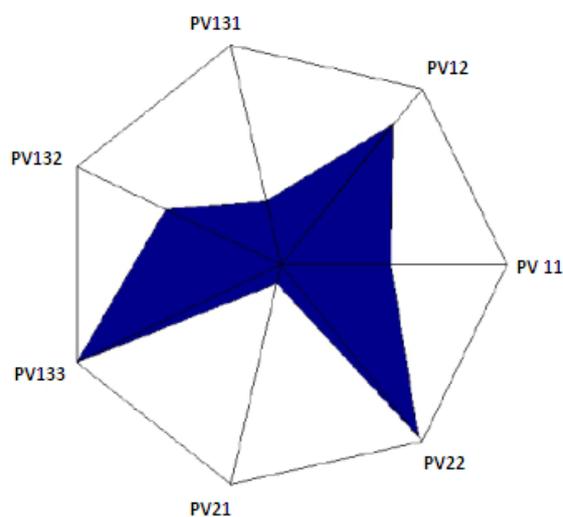


Figura 63: Perfil do ISFS para o ano de 1997, município de Laranja da Terra.

5. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho de tese, cujo primeiro objetivo foi avaliar os eventos extremos de precipitação na bacia do rio Guandu, demonstram:

- Incidência de maior ocorrência de secas meteorológicas ou agrícolas, nas partes central e norte da bacia, com reflexos diretos sobre as culturas de ciclo curto;

- as secas hidrológicas podem acontecer ao longo de toda a bacia, com reflexos diretos sobre culturas perenes;

- maior incidência de eventos secos e chuvosos na década de 90, colocando a região em estudo sobre ameaça de ocorrência de secas (meteorológicas, agrícolas e hidrológicas) mais intensas e de enchentes mais frequentes.

Como consequência, os resultados aqui encontrados validam a utilização do SPI, para caracterização de diferentes tipos de secas, com o auxílio de médias móveis de precipitação para o cálculo do índice.

Com relação ao segundo objetivo proposto neste trabalho de tese, os resultados demonstram a viabilidade de utilização do ISFS, para estudos no âmbito de bacias hidrográficas e também validam a sua utilização em regiões exteriores ao semiárido nordestino.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. **Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables**. New York: Dover, 1046 p. 1965.
- AGNEW, C. T. **"Using the SPI to Identify Drought"**. *Drought Network News (1994-2001)*. Disponível em <http://digitalcommons.unl.edu/droughtnetnews/1>. Acesso em janeiro de 2012.
- ALTAMIRANO, R. J. A. **Climatologia de eventos severos chuvosos e secos usando o índice de precipitação normalizada (SPI) para as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil**. 2010. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, Brasil.
- ALTAMIRANO, R. J. A.; SANSIGOLO, C. A. **Variabilidade decenal da precipitação no Sul da Amazônia usando o SPI-6**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16. (CBMET), Belém, PA. **Anais...** 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/38BDTU2>>. Acesso em: 31 jan. 2012.
- ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CASTRO, C. A. C. **Início das chuvas na região Sudeste do Brasil: análise climatológica**. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, SBMet, Foz do Iguaçu, PR. Anais...CD-Rom, p.1403-1410. 2002
- AMBRIZZI, T.; ROCHA, R.; MARENGO J. PISNITCHENKO, A. I.; ALVES, L.; FERNANDEZ, J. P. (2007): **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI: projeções de clima usando três modelos regionais**". *Relatório 3*, Ministério do Meio Ambiente , Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Diretoria de Conservação da Biodiversidade - Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade – Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, fevereiro 2007.
- BANA E COSTA,C. A.; CORREA, E. C. O processo de construção do índice FUNCEME de vulnerabilidade à seca. Centro de Gestão (CEG-IST), Artigo de Investiga ção/Research Paper, n.16, 2000.
- BELLEN, H. M. V. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006. 253 p.

- BHALME, H. N.; MOOLEY, D. A. **Large-scale drought/floods and monsoon circulation**. Monthly Weather Review, Boston, v. 108, n. 8, p. 1197-1211, 1980.
- BLAIN, G. C. **Avaliação e adaptação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) e do índice padronizado de precipitação (SPI) às condições climáticas do Estado de São Paulo**. 2005. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas.
- BLAIN, G. C.; BRUNINI, O. **Análise da Escala Temporal de Monitoramento das Secas Agrícolas e Meteorológicas no Estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso), v. 22, p. 255-261, 2007.
- BRASIL - Ministério da Saúde. **Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na saúde: cenários e incertezas para o Brasil**. – Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde, 2008
- BRASIL - Ministério do Meio Ambiente. **PAN-Brasil Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca**. – Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos, 2004. 242p.
- BYUN, H.; WILHITE, D. A. **Objective quantification of drought severity and duration**. Journal of Climate, v. 12, p. 2747-2756, 1999.
- CAMPOS, J.N.B.; STUDART, T. M. C. **Secas no nordeste do Brasil: Origens, Causas e Soluções**. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, (CDROM). Foz do Iguaçu, PR, 2002.
- CARVALHO, L., JONES, C., LIEBMAN B. **The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationship with intraseasonal to interannual Activity and Extreme Rainfall**. **Journal of Climate**, v.17, p. 88-108. 2004.
- CASTRO NETO, P.; VILLELA, E. A. **Veranico: um problema de seca no período chuvoso**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.12, n.138, p.59-62. 1986.
- CASTRO, R. **Distribuição probabilística de precipitação na região de Botucatu-SP**. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 88 p., 1996.
- CAVALCANTI, E. R.; COUTINHO, S. F. S.; SELVA, V. S. F. **Desertificação e Desastres Naturais na Região do Semiárido Brasileiro**. In: Cadernos de

Estudos Sociais. v. 22, n. 1. jan/jun, 2006. Recife: Editora Massangana, 2007. pp. 19-31. ISSN 0102-4248.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Análise Guandu - PARH GUANDU**, in Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e Planos de Ações para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce. Brasília, 2010.

CUPOLILLO, F.; ABREU, M. L.; VIANELLO, R. L. **Climatologia da Bacia do Rio Doce e sua Relação com a Topografia Local**. Geografias, v. 4, p. 45-60, 2008.

FALKENMARK, M. **Water scarcity and population growth: a spiralling risk**, Ecodecision, v.6, p.21-23, 1992.

FARAGO, T., KOZMA, E., NEMES, C. **Drought indices in meteorology**. Idojaras, Budapest, v. 93, p. 9-17. 1989.

FARIA, E. L.; ALBUQUERQUE, M. P.; ALFONSO, J. L. G.; CAVALCANTI, J. T. P. **Previsão de Séries Temporais utilizando Métodos Estatísticos**. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF. Pontifícia Universidade Católica – PUC. Rio de Janeiro. 2008.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. F. L.; AMORIM, A. O.; CARDOSO, A. S.. **Índices para Quantificação da Seca**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009 (Documento Técnico).

FERREIRA, J. H. D.; NERY, J. T. **Análise de Componentes Principais da Precipitação do Estado de Minas Gerais** In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, (CD-ROM). Foz do Iguaçu, PR, 2002.

FREITAS, M. A. S.: **Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Áridas**. Revista Tecnologia (UNIFOR), Fortaleza, v. Suplem, p. 84-95, 2005.

GIBBS, W. J., MAHER, J. V. **Rainfall deciles as drought indicators**. Bureau of Meteorology, Bulletin nº 48, Commonwealth of Australia, Melbourne, 1967.

GUTTMAN, G.B.: **Comparing the Palmer Drought Index and the "Standardized Precipitation Index"**. Journal of the American Water Resources, v.16, p.113-121, 1998.

HAYES, J. M.; SVOBODA, M.D.; WILHITE, D. A.; VANYARKHO, O.V.: **Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index.** Bulletin of the American Meteorological Society, v. 80, n. 3, p. 429-438, 1999.

HEIM JUNIOR, R. R. **A review of twentieth - century drought indices used in the United States.** Bulletin of the American Meteorology Society, v. 83, n.8, p.1149-1163, 2002.

HOUGHTON, J. T.; MEIRA FILHO, L. C.; CALLANDER, B. A.; HARRIS, N.; KATTERBERG, A.; MASKELL, K. (Ed.). **Climate change 1995: the science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge (Inglaterra): Cambridge University Press, 1996. 584p.

IICA - INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA. **Programa de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca na América do Sul.** 2006. Disponível em: <http://www.iicadesertification.org.br/lendo.php?sessao=OTA>. Acesso: março 2009.

IMP - INSTITUTO DE METEOROLOGIA, PORTUGAL. **Definições de Seca.** 2008. Disponível em <http://www.meteo.pt/pt/areaeducativa/otempo.eoclima/seca.meteo/index.html?page=definicao.seca.xml>. Acesso em março de 2009.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007b). **Impacts, Adaptation and Vulnerability.** Working Group II Contributions to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers and Technical Summary. 2007.

KARL, T. R., NICHOLLS, N. AND GREGORY, J. **'The Coming Climate.'** *Scientific American*, Vol. 276, pp. 79–83. 1997.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A; MARCELINO, I.P.V.O; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos.** Curitiba: Ed. Organic Trading , 2006. 109p.

KODAMA, Y. M. **Large – scale common features of subtropical precipitation zone (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ).** Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. *Journal Meteorological Society Japan*, v. 70, n. 4, p. 813-836, Aug.1992.

KOGAN, F. N. **Global Drought Watch from Space**. Bulletin of American Meteorology Society, v. 78, n. 4, p. 621-636, 1997.

LANNA, A. E. Elementos de estatística e probabilidades. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. Universidade, ABRH, p. 79-164. 2001.

LLOYD-HUGHES, B.; SAUNDERS, M. **A drought climatology for Europe**. International Journal of Climatology, v. 22, p. 1571-1592, 2002.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. Caderno Didático Nº. 1. Santa Maria/RS. MCT/INPE/CPTEC. 2008.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil**. In: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. Disponível em: <http://www.fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-504.pdf>. Acesso em: 24 de fev. de 2012.

MARENGO, J. A. **Caracterização do clima no Século XX e Cenários Climáticos no Brasil e na América do Sul para o Século XXI derivados dos Modelos Globais de Clima do IPCC 2007** (Relatório Técnico).

MARENGO, J. A. **Water and Climate Change**. Estudos Avançados (USP.Impresso), v. 22, p. 83-96, 2008.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; NOBRE, C.; ALVES, L. M. **Atlas de Cenários Climáticos Futuros para o Brasil (Versão 1.0) Projeções climáticas (precipitação e temperatura) para o Brasil durante a segunda metade do Século XXI usando modelos regionais, nos cenários de baixas emissões (otimista IPCC-B2) e de altas emissões (pessimista IPCC-A2)**. 2007 (Relatório Técnico).

MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. **The relationship of drought frequency and duration to time scales**. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, pp. 179–184. January 17–22, Anaheim, California. 1993.

MENDES, S. L.; PADOVAN, M. P. **A Estação Biológica de Santa Teresa, Espírito Santo**. Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão. Santa Teresa, ES: Museu de Biologia Mello Leitão, 2000, v. 1, p. 07-34.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G.C.: **Relação do Dipolo do Atlântico Tropical com o período chuvoso da Região Sudeste do Brasil**. In: XIII Congresso

Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004.

MINUZZI, R. B.; VIANELLO, R. L.; SEDIYAMA, G.C. **Oscilações climáticas em Minas Gerais**. Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso), v. 25, p. 227-236, 2010.

MINUZZI, R.B.; SEDIYAMA, G.C.; BARBOSA, E.M.; MELO JÚNIOR, J.C.F. **Climatologia do comportamento do período chuvoso da região Sudeste do Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.22, n.3, p.338-346, 2007.

MORAIS, B. S.; LINS, R. O. C.; SILVA, G. B. L. **Previsão de Seca Usando Redes Neurais Artificiais**. In: IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2008, Salvador. Anais do IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Porto Alegre: ABRH, 2008. v. 1. p. 1-10.

MOREIRA, E.; TARGINO, I. **Desertificação, desenvolvimento sustentável e agricultura familiar: recortes no Brasil, em Portugal e na África**. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB; Ministério do Meio Ambiente. 2010. 344p. Edição Bilíngue.

NASCIMENTO, F. R.: **Conceitos e teorias sobre desertificação em bacias hidrográficas - Subsídios para abordagens metodológicas**. In: V Seminário Latino Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero Americano de Geografia Física, 2010, Coimbra. ANAIS DO VI SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA II SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA. Coimbra : Ed. da Universidade de Coimbra, 2010.

NATIONAL DROUGHT MITIGATION CENTER (NDMC). **What is Drought?** 2006. Disponível em: <http://drought.unl.edu/whatis/what.htm> Acesso em março de 2009.

NEVES, J. A. **Um índice de susceptibilidade ao fenômeno da seca para o semiárido nordestino**. 2010. Doutorado em Matemática Computacional. Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Brasil.

NEVES, J. A.; BRISTOT, G.; SANTOS, A. S.; PINHEIRO, U. **Uma biblioteca para cálculo do SPI no R**. In: XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2011, Guarapari. Anais do XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2011. v. 1.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. SUPREN/IBGE. Volume 4. 1979.

NOBRE, C. A. **Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul: a importância do Oceano Atlântico.** Climanálise, v. 3, n° 4, p. 30-33, 1988.

NÓBREGA, N. E. F.; SILVA, J. G. F.; RAMOS; H. E. A. PAGUNG, F. S. **Análise da distribuição espacial e sazonal da precipitação no norte do Estado do Espírito Santo.** In: XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008, São Paulo-SP. XV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro-RJ : SBMET.

ONU/UNCCD - **Convenção das Nações Unidas de combate à desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África.** 3ª ed. Brasília:MMA. 2010.

ONU/UNCCD - Convención de Lucha contra La Desertificación. **Informe de La Quinta Reunión del Grupo de Expertos del Comité de Ciencia Y Tecnología.** Madrid, España. 2007. 14p.

PAIVA, C. M. **Determinação das datas de início e fim da estação chuvosa e da ocorrência de veranico na Bacia do Rio Doce.** Viçosa, MG, Tese M.Sc, 65p., Universidade Federal de Viçosa. 1997

PALMER, W. C.: **Meteorological drought.** Research paper n. 45, Weather Bureau, Washington, 58, p. 1965.

PANOFSKY, H. A.; BRIER, G. W. **Some applications of statistics to meteorology.** University Park: Pennsylvania State University, 1958. 224 p.

PARRY, M. L. & CARTER, T. R. **Climate impact assessment: A review of some approaches,** Capítulo 13, em D.A. Wilhite e W.E. Esasterling (eds.), Planning for Drought: Toward a Reduction of Societal Vulnerability, West view Press, Boulder, Colorado, EUA. 1987.

PEREIRA, L. S.; PAULO, A. A. **Indicadores de Escassez de Água: Índices de Secas,** Conf. Conv. Workshop Indicadores y Tecnologias de Uso del Agua en las Tierras secas de Iberoamérica (Proyeto CYTED XVII-1) CYTED, Mendoza, Argentina. 2004.

PETERNELLI, L. A.; MELLO, M. P. **Conhecendo o R: Uma Visão Estatística.** 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2011. v. 1. 185 p.

PICCININI, M. R. D. **Distribuições de probabilidade de precipitação de intensidade máxima para Piracicaba, SP.** Dissertação (Mestrado em

Estatística e Experimentação Agronômica) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993. 81f.

PRESS, W. H.; FLANNERY, B. P.; TEUKOLSKY, S. A.; VETTERLING, W. T. **Numerical recipes in C**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. 768 p.

RIEBSAME, W. E, CHANGNON, JR. S. A. & KARL, T. R. **Drought and Natural Resources Management in the United States: Impacts and Implications of the 1987-89 Drought**, Westview Press, Boulder, Colorado, EUA. 1990.

ROSSI, R., CASTIGLIONE, L., BONACCORSO, B.: (2007). **Guidelines for planning and implementing drought mitigation measures** in *Methods and Tools for Drought Analysis and Management*, Rossi, G., Vega, T. and Bonaccorso, B. (Eds.), ISBN: 978-1-4020-5923-0. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 62, pp. 325-347.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro**. Revista Brasileira de Climatologia, Rio de Janeiro, v. 1, p. 43-60, 2005.

SANTOS, J. F., PORTELA, E M. M. **Caracterização de secas em bacias hidrográficas de Portugal Continental: aplicação do índice de precipitação padronizada, SPI, a séries de precipitação e de escoamento**, 10 Congresso da Água, Associação Portuguesa dos recursos Hídricos, APRH, Alvor, Portugal. 2010.

SANTOS, R. M. N. **Avaliação do índice de Palmer para a caracterização de períodos de seca no estado de São Paulo**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1998. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SANTOS, T. S.; SANSIGOLO, C. A. **Frequência de eventos secos e chuvosos na Amazônia usando o Índice de Precipitação Normalizada (SPI)**. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2010, Belém. A Amazônia e o Clima Global, 2010.

SHIEN-TSUNG CHEN, CHUN-CHAO KUO & PAO-SHAN YU. **Historical trends and variability of meteorological droughts in Taiwan / Tendencias historiquas et variabilité des sécheresses météorologiques à Taiwan**, Hydrological Sciences Journal, 54:3, 430-441, 2009.

SILVA, A. O. ; AZEVEDO, P. V. **Frequência de ocorrência de decas no Estado do Ceará**. In: IV Simpósio Internacional de Climatologia, 2011, João

Pessoa-PB. Mudanças Climáticas e seus Impactos em Áreas. Rio de Janeiro-RJ : SBMET, 2011. v. 1. p. 1-5.

SILVA, A.C.; PIMENTA, A.A.G. SILVA NETO, F.B.: **Histórico de desastres do Estado do Espírito Santo 2000-2009**. Vitória - ES: Departamento de Imprensa Oficial do Espírito Santo - DIO/ES, 2011.

SILVA, F. J. L., AMARANTE, O. A. C. **Atlas do Potencial Eólico do Estado do Espírito Santo**. Camargo Schubert Engenharia Eólica. ASPE - Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo. 2009. Disponível em http://www.aspe.es.gov.br/atlaseolico/eo_emp.htm. Acesso, junho de 2012.

SMAKHTIN, V. U.; HUGHES, D. A. **Review, automated estimation and analyses of drought indices in South Asia**. Working Paper 83. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute,. 24 pp. 2004.

STERN, R.D., M.D. DENNETT; DALE I.C. (1982): **Analysis of daily rainfall measurements to give agronomically useful results**. I. Direct methods. *Expl. Agric.* 18: 223 -236

STROMMEN, N.; KRUMPE, P.; REID, M.; STEYAERT, L. **Early warning assessments of droughts used by the US agency for international development**. In: Pocinki LS, Greeley RS, Slater L (eds) Climate and risk. The MITRE corporation, McLean, pp 8–37. 1980.

SUASSUNA, J. **Uma Metodologia para a Preparação do Combate aos Efeitos da Seca**. Fundação Joaquim Nabuco. Recife, julho de 1999. Disponível em <http://www.fundaj.gov.br/docs/tropico/desat/js050799.html>. Acesso em março de 2011.

SUDENE - Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste. **O FENÔMENO DAS SECAS**. Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br/>>. Acesso em Abril de 2012.

THOM, H. C. S. **Some methods of climatological analysis**. Geneva: World Meteorological Organization, 1966. 53 p. (WMO. Technical note, 81).

TOBIN, G. A; MONTZ, B. E. **Natural hazards: explanation and integration**. New York: The Guilford Press, 1997. 388p.

VALORY, R. **Gestão de Conflitos Entre Usuários De Água nas Microbacias do Espírito Santo**. Espírito Santo: Fórum Estadual Permanente de Recursos Hídricos, 2010 (Nota Técnica).

- VIANELLO, R. L.; MAIA, L. F. P. G. **Estudo Preliminar da Climatologia Dinâmica do Estado de Minas Gerais**. In: I Congresso Interamericano de Meteorologia, 1986, Brasília. Anais I, 1986. p. 185-194.
- VIAU, A. A.; VOGT, J. V.; BEAUDIN, I. **Comparison of a Satellite-Based and Precipitation-Based Drought Index**. Canadian Journal of Remote Sensing, v. 26, n. 6, p. 580-583, 2000.
- VIEGAS, J. S. F.; CONCEIÇÃO, A. R.; MACHADO, A. A.; LANNA, A. E. L.; DAMÉ, R. C. F. **PROCEDA - Processador de Dados do SAGBAH**. 2004.
- WILHITE, D. A.; GLANTZ, M.H. **Understanding the drought phenomenon: The role definitions**. In: WILHITE et al., **Planning for drought toward a reduction of societal vulnerability**. Colorado: Westview, 1987. cap. 2.
- WILHITE, D.A. **Drought assessment, managment and planning: Theory and case studies**, Kluwer Acad. Publ., Boston, Mass. 1993.
- XU, L.; SAMANTA, A.; COSTA, M. H. ; GANGULY, S.; RAMAKRISHNA, R. ; MYNENI, R. B. **Widespread decline in greenness of Amazonian vegetation due to the 2010 drought**. Geophysical Research Letters, v. 38, p. L07402, 2011.
- YEVJEVICH, V., DA CUNHA, L. AND VLACHOS, E. **Coping with Droughts**. Water Resources Pubblcation, Littleton, Colorado. 1983.