



Índice de precipitação padronizado: estudo de caso para região noroeste do Estado do Espírito Santo, Brasil

Eduardo Morgan ULIANA^{1*}, Múcio André dos Santos Alves MENDES¹, Frederico Terra de ALMEIDA¹, Edvaldo Fialho dos REIS², Alexandre Cândido XAVIER², José Geraldo Ferreira da SILVA³

¹ Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, Mato Grosso, Brasil.

² Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, Espírito Santo, Brasil.

³ Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

*E-mail: morganuliana@ufmt.br

Recebido em março/2017; Aceito em maio/2017.

RESUMO: Uma das preocupações quanto às chuvas são seus efeitos potencialmente danosos relacionados a excesso ou escassez, que afetam principalmente o setor agropecuário segmento importante do setor produtivo. Um problema ainda existente é a definição de metodologias para diferenciar seca e umidade. Meteorologistas e hidrólogos propuseram índices para caracterizar, detectar e monitorar as secas meteorológicas. Dentre estes índices destaca-se o índice de precipitação padronizado (SPI). O objetivo deste trabalho foi aplicar e avaliar o SPI para caracterização do déficit e do excesso de precipitação na escala mensal e trimestral para a região norte do estado do Espírito Santo. O SPI foi calculado utilizando a distribuição gama incompleta e foram estimados os limites de precipitação que correspondem a cada categoria do índice. Foi estudada a distribuição espacial do índice no período de outubro de 2009 a março de 2010. O SPI mostrou-se eficaz para caracterização e monitoramento da seca e da umidade na região noroeste do estado do Espírito Santo. A distribuição espacial do SPI permitiu identificar as localidades da região noroeste com situação crítica em relação à seca ou a umidade, o que possibilita o direcionamento de ações de gestão dos recursos hídricos.

Palavras-chave: chuva, índice de seca, probabilidade, krigagem.

Standardized precipitation index: a case study on the northwestern region of Espírito Santo State, Brazil

ABSTRACT: One of the concerns regarding the rainfall is its potentially harmful effects related to excess or shortage, primarily affecting the agricultural sector, important segment of the economy. One problem that still exists is the definition of methodologies to identify drought and humidity. Meteorologists and hydrologists proposed indexes to characterize, detect and monitor the meteorological droughts. Among these indexes highlight the standardized precipitation index (SPI). The objective of this study was to apply and evaluate the SPI to characterize the deficit and excess of rainfall in a monthly and quarterly scale on the Northwestern region of Espírito Santo state, Brazil. The SPI was calculated using incomplete gamma distribution and the limits of precipitation that correspond to each category of the index were estimated. The spatial distribution to the index on the period from October, 2009 to March, 2010 was studied. The SPI was effective for characterization and monitoring of drought and humidity on the northwestern of Espírito Santo state. The spatial distribution of SPI identified localities on the region with a critical situation in relation to drought or humidity, which enables to direct actions of water resources management.

Keywords: rain, drought index, probability, kriging.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as variáveis do ciclo hidrológico a precipitação é fundamental para o entendimento da dinâmica do meio físico e tem influência no desenvolvimento dos diversos setores produtivos, sendo que seus efeitos interferem na economia, no meio ambiente e na sociedade. Seu entendimento e comportamento são importantes para estudos estratégicos associados ao planejamento do meio ambiente, geração de

energia e manejo da agricultura, principalmente em condições tropicais (Mello; Silva, 2009).

Uma das preocupações quanto às chuvas são seus efeitos potencialmente danosos relacionados a excesso ou escassez, que afetam principalmente o setor agropecuário.

A seca é um fenômeno meteorológico complexo, com influência local a regional e de acordo com Wilhite; Glantz (1987) sua causa básica é o déficit temporário de precipitação que resulta em uma baixa disponibilidade hídrica para a

atividade que a requer. Dentre os impactos da seca destacam-se: quebra na safra; redução no abastecimento de água; deterioração da qualidade da água; redução na geração de energia elétrica; aumento de conflitos pelo uso da água. Estudar a seca é de grande importância para o planejamento e gestão dos recursos hídricos.

É comum confundir seca com aridez. Mishra; Singh (2010) expressam que as secas podem ocorrer em praticamente todas as zonas climáticas, tais como nas de elevada bem como nas de baixa precipitação pluviométrica e estão principalmente relacionadas com a redução na quantidade de precipitação recebida durante um período prolongado de tempo. A seca é uma anomalia temporária. De acordo com Wilhite (1992) aridez é uma característica permanente do clima e está restrita a áreas de baixa pluviosidade.

O Brasil apesar de apresentar uma construção integrada da gestão dos recursos hídricos por meio da Lei 9.433/97 dispõe de uma política falha na gestão de secas, que vem resultando em impactos cada vez maiores (Albuquerque; Mendes, 2009).

Os elevados prejuízos econômicos e a vulnerabilidade social causada pela seca têm levado a uma crescente atenção a este risco climático. Segundo Wilhite (2000) as perdas com eventos de seca aumentaram significativamente em todo o mundo como paralelo ao aumento do número e gravidade das secas.

Os prejuízos econômicos ocasionados pela estiagem no estado do Espírito Santo entre os anos 2000 e 2009 foram de 638,84 milhões de reais, sendo que somente na agricultura o prejuízo foi de 420,80 milhões de reais (Silva et al., 2012).

Um problema ainda existente é a definição de metodologias para diferenciar seca e umidade. É comum ouvir leigos e pesquisadores dizerem que um determinado mês ou ano foi seco, ou que se perdeu a safra devido à seca, mas muitas vezes esta afirmação não tem base científica. Abaixo ou acima de qual valor de precipitação se tem seca ou umidade em determinada localidade?

Devido a estes fatores, meteorologistas e hidrólogos propuseram índices para caracterizar, detectar e monitorar as secas. Dentre estes índices está o índice de precipitação padronizado (SPI) proposto por McKee et al. (1993 e 1995) que permite caracterizar o déficit ou o excesso de precipitação em uma localidade ou região.

Albuquerque; Mendes (2009) compararam a decretação de situação de emergência em municípios do Rio Grande do Sul com resultados do índice de precipitação padronizado (SPI) obtido para diferentes escalas de tempo e concluíram que a decretação de situação de emergência dos municípios analisados, na maioria dos casos, não coincidiu com os dados do SPI. Os autores afirmaram que estes resultados estão relacionados com critérios - na maioria subjetivos - utilizados pela defesa civil para avaliação de desastres e decretação da situação de emergência e recomendam a utilização do índice como ferramenta para tomada de decisão.

Com isso, o objetivo do trabalho foi aplicar e avaliar o SPI para caracterização do déficit e do excesso de precipitação na escala mensal e trimestral para a região noroeste do estado do Espírito Santo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As séries históricas de precipitação foram obtidas no sistema de informações hidrológicas da Agência Nacional de

Águas (ANA), no Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE).

Os dados foram tabulados em planilha eletrônica e em seguida foi realizada uma análise de consistência, excluindo da série, aqueles valores que se mostraram inconsistentes. O método utilizado para análise de consistência foi o da Dupla Massa, desenvolvido pelo Geological Survey (USA) e descrito por Bertoni; Tucci (2001). Foram utilizadas dezenove séries históricas com no mínimo trinta anos de dados, cuja localização dos pluviômetros pode ser observada na Figura 1.

A identificação (ID), as coordenadas geográficas, a localidade e o município dos pluviômetros podem ser observados na Tabela 1.

Condições de umidade do solo respondem a anomalias de precipitação em uma escala relativamente pequena. Já água subterrânea, vazão de corpos hídricos e níveis de reservatórios refletem a anomalias de precipitação de longo prazo (Mishra; Singh, 2010).

O SPI requer interpretações diferentes de acordo com sua escala de tempo. Por exemplo, o SPI de um mês reflete as condições de curto prazo e sua aplicação pode estar relacionada intimamente a umidade do solo, o SPI de três meses fornece uma estimativa da precipitação sazonal e também tem aplicação na análise da água disponível no solo, o SPI 6-9 meses indica tendências de médio prazo nos padrões de precipitação e o SPI de 12 meses reflete os padrões de precipitação de longo prazo,

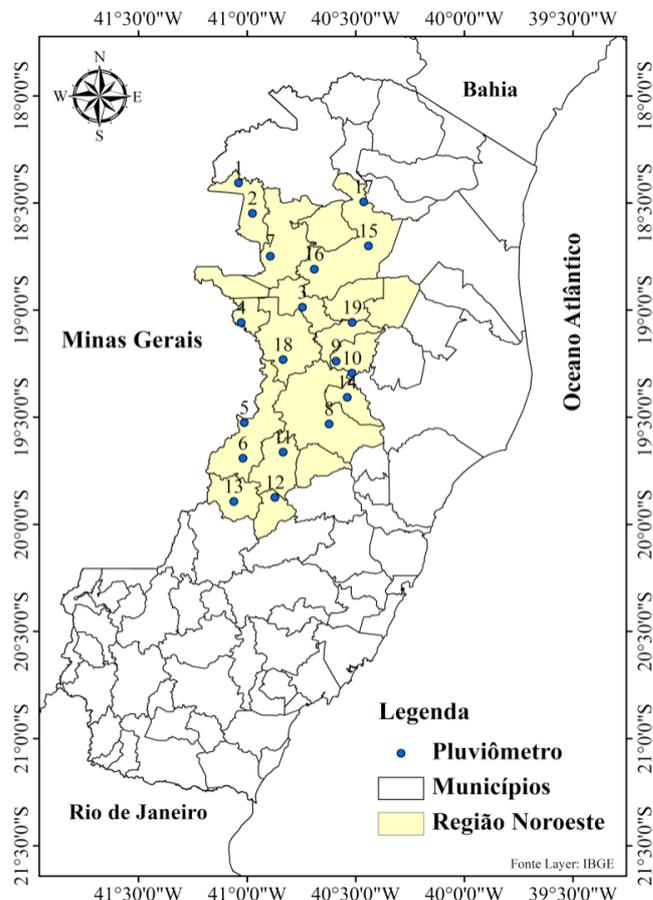


Figura 1. Mapa com a localização dos pluviômetros.
Figure 1. Map with the location of the rain gauges.

Tabela 1. Informações dos pluviômetros utilizados no estudo.
Table 1. Information of the rain gauges used at the study.

ID	Latitude	Longitude	Município
1	-18,406	-41,040	Água Doce do Norte
2	-18,548	-40,976	Água Doce do Norte
3	-18,986	-40,746	Água Branca
4	-19,058	-41,028	Alto Rio Novo
5	-19,525	-41,014	Baixo Guandú
6	-19,691	-41,020	Baixo Guandú
7	-18,748	-40,894	Barra de São Francisco
8	-19,531	-40,623	Colatina
9	-19,238	-40,591	Governador Lindenberg
10	-19,294	-40,518	Governador Lindenberg
11	-19,663	-40,835	Itaguaçu
12	-19,874	-40,873	Itarana
13	-19,893	-41,062	Laranja da Terra
14	-19,407	-40,540	Marilândia
15	-18,700	-40,442	Nova Venécia
16	-18,809	-40,691	Nova Venécia
17	-18,494	-40,464	Nova Venécia
18	-19,231	-40,835	Pancas
19	-19,057	-40,517	São Gabriel da Palha

geralmente vinculados a vazões, níveis de reservatórios e de água subterrânea (NDMC, 2007).

Segundo Panu; Sharma (2002) a escala de tempo mensal do SPI parece ser a mais adequada para controlar os efeitos de uma seca em situações relacionadas com a agricultura e abastecimento de água.

Com isso, foi determinado neste trabalho o SPI para a escala mensal (SPI-1) e para a escala trimestral (SPI-3). As séries históricas de precipitação foram organizadas para estas escalas de tempo e depois determinou-se as probabilidades acumuladas de ocorrência de precipitação pluvial por meio da distribuição gama incompleta definida pela seguinte função densidade de probabilidade:

$$G(x) = \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}; \beta > 0, \gamma > 0 \quad (1)$$

em que: x é a variável aleatória; β é o parâmetro de escala; γ é o parâmetro de forma; e Γ é a função gama.

A função gama Γ(γ) é dada pela equação:

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^\infty x^{\gamma-1} e^{-x} dx, \gamma > 0 \quad (2)$$

em que: γ é o parâmetro de forma.

A probabilidade acumulada de ocorrência de cada valor de precipitação foi calculada com a seguinte equação:

$$g(x) = \int_0^x \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} x^{\gamma-1} e^{-x/\beta} dx \quad (3)$$

em que: g(x) é a probabilidade de ocorrência do evento x; x é a variável aleatória contínua (quantidade de chuva), mm; β é o parâmetro de escala; γ é o parâmetro de forma; Γ é a função gama.

Os parâmetros β e γ foram obtidos pelo método da máxima verossimilhança.

Para verificar a aderência da distribuição de probabilidade gama a série de dados foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 10% de probabilidade.

Como a função gama incompleta é indefinida para valores de x = 0 e a amostra de dados de precipitação pode conter zeros, a probabilidade cumulativa foi corrigida por meio da equação:

$$H(x) = q + (1 - q)g(x) \quad (4)$$

em que:

$$q = \frac{m}{n} \quad (5)$$

sendo: q a probabilidade de ocorrência de precipitação zero; m o número de observações com chuva igual a zero no período considerado; n o número de observações com chuva maior do que zero no período considerado.

O valor H(x) foi transformado em uma variável normal com auxílio das equações desenvolvidas por Abramowitz; Stegun (1965). Essa transformação resulta no valor do SPI.

A relação entre as distribuições de probabilidade gama incompleta e normal é dada por:

$$SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (6)$$

$$SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (7)$$

sendo: c₀ = 2,515517; c₁ = 0,802853; c₂ = 0,010328; d₁ = 1,432788; d₂ = 0,189269; d₃ = 0,001308, em que:

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(H(x))^2} \right)}, \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (8)$$

e

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(1 - H(x))^2} \right)}, \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (9)$$

A caracterização para o déficit e para o excesso de precipitação em função do valor SPI pode ser observado na Tabela 2.

O evento seca inicia-se quando o índice padronizado de precipitação (SPI) torna-se negativo e termina quando este torna-se positivo. Dentro de sua escala o valor limite inferior - 1,5 indica “seca extrema” e o valor superior + 1,5 indica “umidade extrema”.

Tabela 2. Classificação do déficit e excesso de precipitação em função do valor SPI (modificado de McKee et al., 1993).

Table 2. Classification of the precipitation deficit and excess as a function of the SPI value (modified by McKee et al., 1993).

Categoria	Valor SPI
Extremamente Úmido	SPI ≥ 1,5
Moderadamente Úmido	1 ≤ SPI < 1,5
Umidade Incipiente	0 ≤ SPI < 1
Seca Incipiente	-1 < SPI < 0
Moderadamente Seco	-1,5 < SPI ≤ -1
Extremamente Seco	SPI ≤ -1,5

Como os valores de SPI são iguais aos valores de Z que segue distribuição normal com média zero e desvio padrão igual a um, é possível apresentar as classificações da Tabela 2 em função da probabilidade acumulada de ocorrência da precipitação (Tabela 3).

Foram estimados com a distribuição gama incompleta os valores de precipitação para cada nível de probabilidade apresentado na Tabela 3. Com isso foi possível definir faixas de precipitação para cada categoria SPI para as localidades em estudo.

Muitos agricultores e pecuaristas do estado tiveram prejuízos econômicos devido ao déficit de precipitação que ocorreu principalmente nos meses de novembro de 2009 a fevereiro de 2010. Segundo relatório da Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária, Abastecimento e Pesca (SEAG), divulgado por A Gazeta (2010) os prejuízos econômicos chegaram a 401 milhões de reais. A produção de café, uma das principais atividades agrícolas do estado, foi a mais prejudicada com a escassez hídrica tendo perda estimada de 347 milhões de reais. Com isso o SPI-1 e o SPI-3 foram aplicados para identificação de seca e umidade no período de outubro de 2009 a março de 2010.

Para estudar a distribuição espacial do SPI no período avaliado utilizou-se a krigagem ordinária como método de interpolação. Com isso, foi realizada análise geoestatística na qual foram avaliados os modelos teóricos de semivariograma: esférico, gaussiano, exponencial e linear. Por meio da validação cruzada foi selecionado o modelo que proporcionou a maior correlação entre os valores observados e estimados por krigagem. Nessa análise foram também observadas a significância da correlação pelo teste t e a análise de resíduo.

Tabela 3. Classificação do déficit e excesso de precipitação em função da probabilidade acumulada (P) de ocorrência da precipitação.

Table 3. Classification of the precipitation deficit and excess as a function of the cumulative probability (P) of occurrence of precipitation.

Categoria	Prob. (%)	Número de ocorrência
Extremamente Úmido	$P \geq 93,3$	7 vezes em 100 anos
Moderadamente Úmido	$84,1 \leq P < 93,3$	8 a 16 vezes em 100 anos
Umidade Incipiente	$50 \leq P < 84,1$	17 a 50 vezes em 100 anos
Seca Incipiente	$15,86 < P < 50$	17 a 50 vezes em 100 anos
Moderadamente Seco	$6,6 < P \leq 15,86$	8 a 16 vezes em 100 anos
Extremamente Seco	$P \leq 6,6$	7 vezes em 100 anos

3. RESULTADOS

A distribuição gama incompleta ajustou-se a todos os dados de precipitação mensal (SPI – 1 mês) e trimestral (SPI – 3 meses).

Os limites de precipitação (mm) para cada categoria SPI-1 e SPI-3 para a região noroeste do Estado do Espírito Santo podem ser visualizados nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

No mês de janeiro na região noroeste do estado do Espírito Santo ocorrerá: seca extrema no mês de janeiro se a precipitação for menor ou igual a 29 mm; seca moderada se a precipitação for maior que 29 mm e menor ou igual a 53 mm; umidade moderada se a precipitação for maior ou igual a 295 mm e menor que 403 mm; umidade extrema se a precipitação for maior ou igual a 403 mm (Tabela 4).

No mês de junho poderá ocorrer: seca extrema se a precipitação mensal for menor ou igual a 2 mm; seca moderada

Tabela 4. Limites de precipitação (mm) para cada categoria SPI-1 para a região noroeste do estado do Espírito Santo.

Table 4. Precipitation limits (mm) for each SPI-1 category on the northwestern region of Espírito Santo state.

Período	Categoria SPI					
	ES	MS	SI	UI	UM	EU
Janeiro	≤ 29	29 + 53	53 - 139	139 + 295	295 + 403	≥ 403
Fevereiro	≤ 22	22 + 38	38 - 91	91 + 181	181 + 242	≥ 242
Março	≤ 25	25 + 42	42 - 105	105 + 212	212 + 286	≥ 286
Abril	≤ 16	16 + 26	26 - 56	56 + 105	105 + 137	≥ 137
Mai	≤ 4	4 + 8	8 - 26	26 + 61	61 + 87	≥ 87
Junho	≤ 2	2 + 5	5 - 18	18 + 44	44 + 64	≥ 64
Julho	≤ 3	3 + 6	6 - 21	21 + 51	51 + 73	≥ 73
Agosto	≤ 3	3 + 6	6 - 21	21 + 50	50 + 72	≥ 72
Setembro	≤ 5	5 + 10	10 - 31	31 + 72	72 + 102	≥ 102
Outubro	≤ 12	12 + 24	24 - 68	68 + 149	149 + 207	≥ 207
Novembro	≤ 65	65 + 91	91 - 166	166 + 275	275 + 343	≥ 343
Dezembro	≤ 86	86 + 115	115 - 195	195 + 308	308 + 377	≥ 377

ES: Extremamente Seco; MS: Moderadamente Seco; SI: Seca Incipiente; UI: Umidade Incipiente; UM: Umidade Moderada; EU: Extremamente Úmido.

Tabela 5. Limites de precipitação (mm) para cada categoria SPI-3 para a região noroeste do estado do Espírito Santo.

Table 5. Precipitation limits (mm) for each SPI-3 category on the northwestern region of Espírito Santo state.

Período	Categoria SPI					
	ES	MS	SI	UI	UM	EU
Janeiro	≤ 334	334 + 399	399 - 553	553 + 743	743 + 853	≥ 853
Fevereiro	≤ 249	249 + 313	313 - 477	477 + 691	691 + 819	≥ 819
Março	≤ 167	167 + 224	224 - 380	380 + 595	595 + 728	≥ 728
Abril	≤ 132	132 + 173	173 - 282	282 + 430	430 + 520	≥ 520
Mai	≤ 91	91 + 123	123 - 209	209 + 330	330 + 404	≥ 404
Junho	≤ 46	46 + 64	64 - 112	112 + 181	181 + 225	≥ 225
Julho	≤ 22	22 + 34	34 - 74	74 + 136	136 + 178	≥ 178
Agosto	≤ 22	22 + 34	34 - 70	70 + 126	126 + 163	≥ 163
Setembro	≤ 30	30 + 44	44 - 86	86 + 150	150 + 191	≥ 191
Outubro	≤ 56	56 + 78	78 - 141	141 + 233	233 + 290	≥ 290
Novembro	≤ 135	135 + 177	177 - 290	290 + 443	443 + 536	≥ 536
Dezembro	≤ 261	261 + 319	319 - 462	462 + 642	642 + 748	≥ 748

ES: Extremamente Seco; MS: Moderadamente Seco; SI: Seca Incipiente; UI: Umidade Incipiente; UM: Umidade Moderada; EU: Extremamente Úmido.

se a precipitação for maior que 2 mm e menor ou igual a 5 mm; umidade moderada se a precipitação for maior ou igual a 44 mm e menor que 64 mm; umidade extrema se a precipitação mensal for maior ou igual a 64 mm (Tabela 4).

No mês de novembro ocorrerá: seca extrema quando a precipitação for menor ou igual a 65 mm; seca moderada se a precipitação for maior que 65 mm e menor ou igual a 91 mm; umidade moderada se a precipitação for maior ou igual a 275 mm e menor que 343 mm; umidade extrema se a precipitação for maior ou igual a 343 mm (Tabela 4).

Valores de precipitação mensal na categoria seca incipiente (SI) e umidade incipiente (UI) são esperados com maior frequência e podem ser visualizados também na Tabela 4.

Na Tabela 5 podem ser observados os limites de precipitação para cada categoria SPI-3 para a região noroeste do estado.

No mês de janeiro (corresponde à soma das precipitações de novembro, dezembro e janeiro) para o SPI-3, poderá ocorrer: seca extrema se a precipitação for menor ou igual a 334 mm; seca moderada se a precipitação for maior que 334 mm e menor ou igual a 399 mm; umidade moderada se a precipitação for maior ou igual a 743 mm e menor que 853 mm; umidade extrema se a precipitação for maior ou igual a 853 mm (Tabela 5).

No mês de junho (corresponde a soma das precipitações de abril, maio e junho), para o SPI-3, poderá ocorrer: seca extrema se a precipitação for menor ou igual a 46 mm; seca moderada se a precipitação for maior que 46 mm e menor ou igual a 64 mm; umidade moderada se a precipitação for maior ou igual a 181 mm e menor que 225 mm; umidade extrema se a precipitação for maior ou igual a 225 mm (Tabela 5).

No mês de novembro (corresponde a soma das precipitações de setembro, outubro e novembro), para o SPI-3, poderá ocorrer: seca extrema se a precipitação for menor ou igual a 135 mm; seca moderada se a precipitação for maior que 135 mm e menor ou igual a 177 mm; umidade moderada se a precipitação for maior ou igual a 443 mm e menor que 536 mm; umidade extrema se a precipitação for maior ou igual a 536 mm (Tabela 5).

Valores de precipitação trimestral (SPI-3) na categoria seca incipiente (SI) e umidade incipiente (UI) possuem maior probabilidade de ocorrência e podem ser visualizados também na Tabela 5.

Nas Figuras 2 e 3 podem ser observadas as precipitações médias mensais para cada categoria SPI-1 e SPI-3 para a região Noroeste do Estado do Espírito Santo.

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados da análise geoestatística para interpolação do SPI-1 e SPI-3 por krigagem ordinária para o período de outubro de 2009 a março de 2010. Os resultados das interpolações podem ser observados nas Figuras 4 e 5.

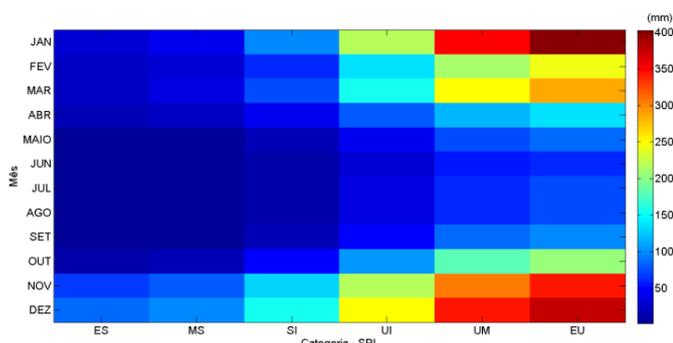


Figura 2. Gráfico da precipitação média mensal para cada categoria SPI-1 para a região noroeste do estado do Espírito Santo.

Figure 2. Monthly mean precipitation plot for each SPI-1 category on the northwestern region of Espírito Santo state.

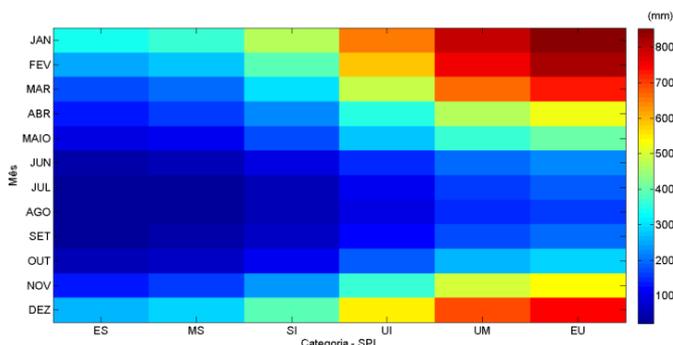


Figura 3. Gráfico da precipitação média trimestral para cada categoria SPI-3 para a região noroeste do estado do Espírito Santo.

Figure 3. Average quarterly precipitation plot for each SPI-3 category on the northwestern region of Espírito Santo state.

Tabela 6. Informações da modelagem geoestatística para o SPI-1 e SPI-3 para o período de outubro de 2009 a março de 2010 para a região noroeste do estado do Espírito Santo.

Table 6. Geostatistical modeling information for SPI-1 and SPI-3 to the period from October 2009 to March 2010 on the northwestern region of Espírito Santo state.

Período	SPI	Modelo	C ₀	C ₀ +C	a**	r
Outubro/09	1	Gaussiano	0,188	0,681	1,801	0,694*
Novembro/09	1	Gaussiano	0,308	0,705	0,644	0,319*
Dezembro/09	1	Esférico	0,189	1,586	2,489	0,778*
Janeiro/10	1	Gaussiano	0,036	0,150	2,811	0,619*
Fevereiro/10	1	Gaussiano	0,231	0,601	1,084	0,570*
Março/10	1	Gaussiano	0,191	0,653	1,398	0,668*
Outubro/09	3	Gaussiano	0,275	0,630	1,850	0,612*
Novembro/09	3	Gaussiano	0,165	0,594	1,597	0,601*
Dezembro/09	3	Esférico	0,136	0,625	1,591	0,670*
Janeiro/10	3	Esférico	0,158	0,699	0,597	0,430*
Fevereiro/10	3	Exponencial	0,147	0,733	1,998	0,616*
Março/10	3	Gaussiano	0,224	0,653	1,303	0,671*

C₀: efeito pepita puro; C₀+C₁: patamar; a: alcance; r: coeficiente de correlação (validação cruzada); * Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t; ** A unidade utilizada foi graus decimais.

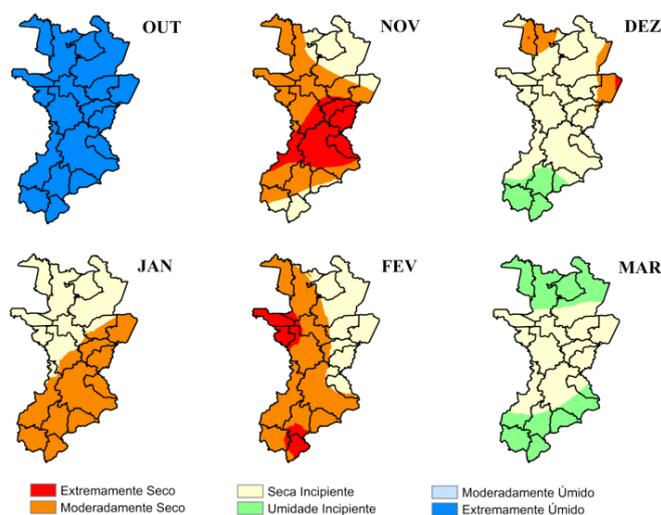


Figura 4. Distribuição espacial do SPI-1 mês para a região noroeste do estado do Espírito Santo para o período de outubro de 2009 a março de 2010.

Figure 4. Spatial distribution of SPI-1 month on the northwestern region of Espírito Santo state to the period from October 2009 to March 2010.

4. DISCUSSÃO

Observa-se na Figura 2 que a precipitação média que caracteriza cada categoria SPI para a região noroeste do estado, varia mensalmente. No período de maio a setembro ocorrem as menores precipitações e observa-se pouca variação nos valores de chuva mensal e nas categorias SPI-1. As maiores lâminas de chuva ocorrem entre os meses de outubro a abril como pode ser observado na Figura 2.

As maiores precipitações que ocorrem na região noroeste e que correspondem a categoria “extremamente úmido” podem ocorrer no mês de janeiro (Figura 2).

Para o SPI-3 (Figura 3) verifica-se que as maiores precipitações que correspondem a esta categoria podem ocorrer nos meses de janeiro e fevereiro. As menores precipitações para o SPI-3 são registradas no período de junho a setembro.

Os modelos teóricos de semivariância esférico e gaussiano foram os que apresentaram melhores resultados para o SPI-1.

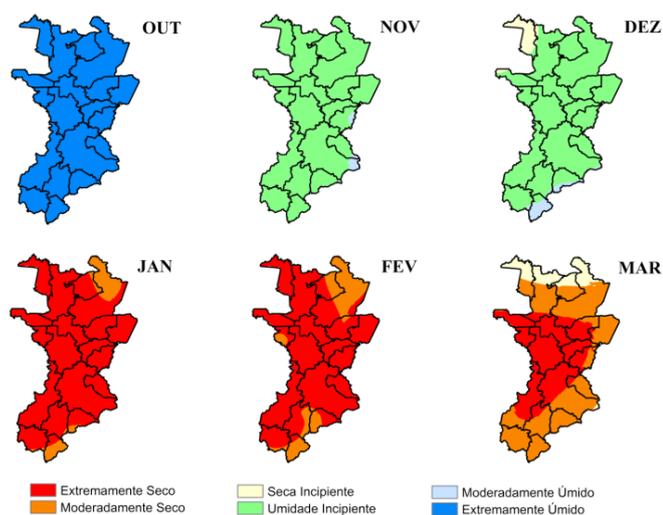


Figura 5. Distribuição espacial do SPI-3 meses para a região noroeste do estado do Espírito Santo para o período de outubro de 2009 a março de 2010.

Figure 5. Spatial distribution of SPI-3 months on the northwestern region of Espírito Santo state to the period from October 2009 to March 2010.

Observa-se que o modelo gaussiano ajustou-se melhor ao SPI-1 em quase todos os meses em estudo (Tabela 6). Na maior parte dos meses a correlação entre os valores observados e estimados por krigagem pode ser considerada moderada e o teste t significativo confirma a existência de correlação entre as variáveis (Tabela 6).

Para o SPI-3 os modelos teóricos de semivariância esférico, exponencial e gaussiano foram os que apresentaram melhores resultados. Na maior parte dos meses a correlação entre os valores observados e estimados por krigagem pode ser considerada moderada e o teste t significativo confirma a existência de correlação entre as variáveis (Tabela 6).

A distribuição espacial do SPI (Figuras 4 e 5) permitiu identificar as localidades da região noroeste do estado com situação crítica em relação a seca ou umidade, o que permite direcionar ações de gestão dos recursos hídricos.

Como pode ser observado nas Figuras 4 e 5 no mês de outubro de 2009 ocorreu umidade extrema em toda a região noroeste.

Verifica-se ainda na Figura 4 que no mês de novembro predominou seca extrema e moderada na região. Já no período de dezembro a março as secas incipiente e moderada predominaram na região.

Destaca-se nos mapas da Figura 4 que nos meses mais chuvosos (novembro, dezembro e janeiro) a precipitação registrada ficou abaixo do normal na região havendo com isso predomínio de seca incipiente, moderada e extrema. Esse período coincidiu com as fases de granação dos frutos (janeiro-fevereiro) e desenvolvimento vegetativo (outubro-maio) do cafeeiro Conilon (Pezzopane et al., 2010), nas quais o déficit hídrico para a planta causa redução na sua produtividade. Isso explica as perdas na produção de café, principalmente em lavouras não irrigadas, para o período em estudo.

O predomínio de umidade incipiente em novembro e dezembro (Figura 5) em contraste com o SPI-1 (Figura 4) deve-se principalmente a alta precipitação que ocorreu no mês de outubro. Verifica-se que nos meses de janeiro a março de

2010 (Figura 5) em contraste com o SPI-1 (Figura 4) a seca moderada e, sobretudo a extrema predominou na região. Esse resultado tem relação com o déficit de precipitação em novembro e dezembro de 2009.

5. CONCLUSÕES

O índice de precipitação padronizado (SPI) é eficaz para caracterização e monitoramento da seca e da umidade na região noroeste do estado do Espírito Santo.

A distribuição espacial do SPI permitiu identificar as localidades da região noroeste com situação crítica em relação à seca ou a umidade, o que possibilita o direcionamento de ações de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

A distribuição de probabilidade gama incompleta ajusta-se aos dados de precipitação mensal e trimestral, sendo assim recomendada para o cálculo da probabilidade acumulada de ocorrência de precipitação.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Agência Nacional de Águas (ANA), o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) pela disponibilidade dos dados pluviométricos e a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

7. REFERÊNCIAS

- A GAZETA. **Seca traz prejuízos à lavoura e restrição ao uso de água**. Disponível em: <<https://goo.gl/Cmhqm4>>. Acesso em: 13 fev. 2010.
- ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. **Handbook of mathematical function**, Dover Publications, 1965. 1046 p.
- ALBUQUERQUE, T. M. A.; MENDES, C. A. B. Avaliação do processo de gestão de seca: estudo de caso no Rio Grande do Sul. Rega: **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p.17-29, 2009.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Organizador). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: ABRH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. p. 177-241.
- MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8., 1993, Anaheim. Anaheim: American Meteorological Society, 1993. p. 179 - 184.
- MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. Drought monitoring with multiple time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 9., 1995, Dallas. Dallas: American Meteorological Society, 1995. p. 233-236.
- MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Modelagem estatística da precipitação mensal e anual e no período seco para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p.68-74, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000100010>
- MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 391, n. 1-2, p.202-216, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>

- NDMC. **Interpretation of Standardized Precipitation Index Maps**. Disponível em: <<http://drought.unl.edu/>>. Acesso em: 10 abr. 2007.
- PANU, U. S.; SHARMA, T. C. Challenges in drought research: some perspectives and future directions. **Hydrological Sciences - Journal Des Sciences Hydrologiques**, Oxford, v. 47, n. S, p. S19-S30, 2002. <http://dx.doi.org/10.1080/02626660209493019>
- PEZZOPANE, J. R. M.; CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; BONOMO, R.; SARAIVA, G. S. Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p.341-348, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-669020100003000>
- SILVA, A. C.; PIMENTA, A. A. G.; SILVA NETO, F. B. **Histórico de Desastres do Estado do Espírito Santo 2000-2009**. Disponível em: <http://www.defesacivil.es.gov.br/files/pdf/historico_de_desastres.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2012.
- WILHITE, D. A. **Preparing for Drought**: A guidebook for developing countries. Nairobi: United Nations Environment Programme, 1992.
- WILHITE, D. A. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions. In: WILHITE, D. A. (Org.). **Drought: A Global Assessment**, Natural Hazards and Disasters Series. Oxford: Routledge Publishers, 2000. Cap. 1
- 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.