

ALIXANDRE SANQUETTA LAPORTI LUPPI

**POTENCIAL AGROCLIMÁTICO PARA O DESENVOLVIMENTO DA  
CULTURA DO CAFEIEIRO NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2014

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

T

L965p  
2014  
Luppi, Alixandre Sanquetta Laporti, 1988-  
Potencial agroclimático para o desenvolvimento da cultura do  
cafeeiro no estado do Espírito Santo / Alixandre Sanquetta Laporti  
Luppi. - Viçosa, MG, 2014.  
x, 131 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Gilberto Chohaku Sedyama.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 99-108.

1. Café - Cultivo - Espírito Santo. 2. Meteorologia agrícola. 3.  
Sistemas de informação geográfica. 4. Zoneamento agroclimático. I.  
Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia  
Agrícola. Programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola. II.  
Título.

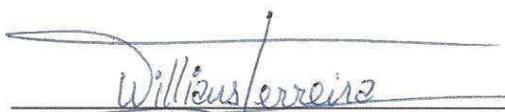
CDD 22. ed. 633.73098152

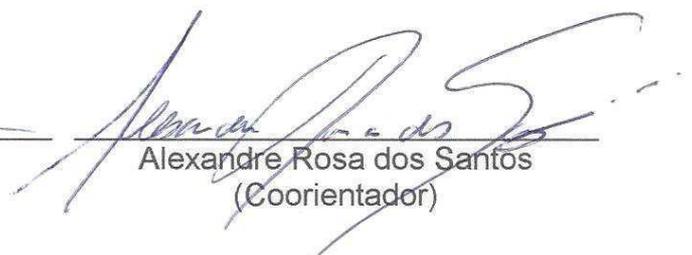
ALIXANDRE SANQUETTA LAPORTI LUPPI

**POTENCIAL AGROCLIMÁTICO PARA O DESENVOLVIMENTO DA  
CULTURA DO CAFEIEIRO NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

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

APROVADA: 24 de fevereiro de 2014.

  
Williams Pinto Marques Ferreira

  
Alexandre Rosa dos Santos  
(Coorientador)

  
Gilberto Chohaku Sediyama  
(Orientador)

À minha tia Luiza (*in memoriam*)  
e à minha mãe Lucimara.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre ajudar-me a superar os obstáculos da vida.

Aos meus amados pais Alberto Magno Luppi e Lucimara Sanquetta Laporti, pelo exemplo de vida, dignidade e simplicidade ao longo da vida.

Aos meus tios Luiza Laporti do Nascimento (*in memoriam*), Tânia Maria Laporti Pinto e Marco Vinícius de Oliveira Pinto, por sempre estarem do meu lado, dando grandes ensinamentos, realizando a função de pais.

À minha querida avó, Meltildes Sanquetta Laporti, por sempre me amar e ter fé nas batalhas da minha vida.

Ao meu irmão Átila Laporti Luppi, pela paciência e sempre me continuar amando mesmo diante das nossas divergências.

A todos os meus primos, por serem mais do que primos, mas sim grandes irmãos.

À Universidade Federal de Viçosa, por meio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de participação no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu orientador, Ph.D. Gilberto Chohaku Sedyama, pela convivência agradável, amizade, companheirismo, ensinamentos transmitidos e, principalmente, pela confiança em realizar trabalhos futuros.

Ao meu coorientador, Dr. Alexandre Rosa dos Santos, pelo apoio, paciência, compreensão, incentivo e pelos preciosos ensinamentos transmitidos durante a graduação e o mestrado.

Ao amigo pesquisador da EMBRAPA, Dr. Williams Pinto Marques Ferreira, por estar sempre disponível para ajudar e confiar na minha capacidade científica.

À secretária do Programa de Pós Graduação de Meteorologia Agrícola, Graça Freitas, por ajudar em tudo que lhe é solicitado.

Aos meus amigos da República Moage, incluindo Livia Simões, em Viçosa, MG, principalmente a José Eduardo Rosa Scardua e a Cícero Pola Cardoso, por terem me proporcionado momentos de muitas alegrias e

felicidades desde a graduação e por isso passaram a fazer parte da minha família como irmãos.

Aos meus amigos de infância Édipo Lopes Paquiela, Tiago dos Santos Bisi e Leonardo Ruy Dambróz, por manterem a amizade por longos anos.

Aos amigos moradores do município de Viçosa, MG, principalmente Lucas Leão e Bia Milbratz, por sempre estarem disponíveis nos momentos de aliviar o estresse dos estudos.

Aos meus familiares e a todos que, de uma maneira ou de outra, contribuíram para que eu pudesse vencer mais esta etapa de vida. Fica aqui o meu muito obrigado.

## **BIOGRAFIA**

ALIXANDRE SANQUETTA LAPORTI LUPPI, filho de Alberto Magno Luppi e Lucimara Sanquetta Laporti, nasceu em João Neiva, Espírito Santo, em 26 de janeiro de 1988.

Em março de 2007, iniciou o Curso de Agronomia na Universidade Federal do Espírito Santo, graduando-se em fevereiro de 2012.

Em novembro de 2012, iniciou o Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em fevereiro de 2014.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	7
2.1. Objetivo geral .....	7
2.2. Objetivos específicos .....	7
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
3.1. Importância do café no mundo, no Brasil e no Espírito Santo.....	8
3.2. Características da cultura do cafeeiro.....	10
3.2.1. Exigências climáticas dos cafeeiros.....	10
3.2.2. Influência das variáveis morfológicas e tipos de solos na cafeicultura...	13
3.2.3. Aspectos gerais da cultura do café arábica.....	15
3.2.4. Ferrugem do café.....	17
3.2.4.1. Fatores climáticos favoráveis à ferrugem do café .....	18
3.3. Geotecnologias .....	20
3.3.1. Sistemas de informações geográficas.....	21
3.3.2. Zoneamento agroclimático .....	21
3.4. Período seco, chuvoso e veranico .....	22
4. ÁREA DE ESTUDO .....	24
4.1. Relevo.....	24
4.2. Solos .....	26
5. MATERIAIS E MÉTODOS .....	28
5.1. Materiais.....	28
5.2. Metodologia.....	28
5.2.1. Espacialização mensal das áreas com potencial agroclimático para a cultura do cafeeiro.....	28
5.2.2. Espacialização da temperatura ( $X_1$ ).....	32
5.2.3. Espacialização da precipitação ( $X_2$ ).....	35
5.2.4. Espacialização da deficiência hídrica ( $X_3$ ).....	35
5.2.5. Saldo de radiação ( $X_4$ ) .....	36
5.2.6. Espacialização da variável edáfica tipo de solo ( $X_5$ ) .....	37
5.2.7. Espacialização da variável topográfica declividade ( $X_6$ ) .....	38
5.2.8. Espacialização da probabilidade de período chuvoso, seco e veranicos ( $X_7$ e $X_8$ ) .....	39

5.2.9. Ferrugem do café ( $X_9$ ).....	42
5.2.10. Potencial agroclimático anual.....	43
5.2.11. Validação do potencial agroclimático para a cultura do cafeeiro.....	43
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
6.1. Espacialização da temperatura ( $X_1$ ) .....	44
6.2. Espacialização da precipitação ( $X_2$ ).....	51
6.3. Espacialização da deficiência hídrica ( $X_3$ ).....	58
6.4. Saldo de radiação ( $X_4$ ) .....	62
6.5. Espacialização da variável edáfica tipo de solo ( $X_5$ ) .....	64
6.6. Espacialização da variável topográfica declividade ( $X_6$ ) .....	66
6.7. Período chuvoso, seco e veranicos ( $X_7$ e $X_8$ ).....	68
6.8. Ferrugem do café ( $X_9$ ).....	76
6.9. Espacialização mensal das áreas com potencial agroclimático para a cultura do cafeeiro.....	80
6.10. Potencial agroclimático anual.....	86
7. CONCLUSÕES .....	96
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	98
REFERÊNCIAS.....	99
APÊNDICE.....	109
ANEXO .....	130

## RESUMO

LUPPI, Alixandre Sanquetta Laporti, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2014. **Potencial agroclimático para o desenvolvimento da cultura do cafeeiro no estado do Espírito Santo.** Orientador: Gilberto Chohaku Sedyama. Coorientador: Alexandre Rosa dos Santos.

O Espírito Santo é o segundo maior Estado produtor de café do Brasil, com cerca de 25% da produção nacional e o maior produtor do café conilon do país, ocupando uma área de aproximadamente 329.700 ha em 33.456 propriedades. Devido à importância da cafeicultura, novas tecnologias de avaliação de áreas propícias ao plantio do café, devem ser constantemente atualizadas de modo a tornar-se cada vez mais uma ferramenta capaz de manipular as funções que representam os processos ambientais em diversas regiões de forma simples e eficiente, permitindo economia de recursos e tempo. O zoneamento agroclimático é um instrumento de orientação e suporte técnico para tomada de decisão na agricultura, disponibilizando informações que podem auxiliar no planejamento de uma determinada região de interesse. Mesmo sabendo que o zoneamento é uma técnica consagrada que proporciona a determinação de áreas aptas, restritas e inaptas para o desenvolvimento das culturas, são raros os trabalhos científicos que objetivam traçar uma metodologia para espacializar áreas com potencial agroclimático para o desenvolvimento das culturas agrícolas. Diante do exposto objetivou-se com o presente trabalho definir áreas com potencial agroclimático para o desenvolvimento do cafeeiro no estado do Espírito Santo. Para a cultura do café conilon o mês de fevereiro apresentou maior potencial agroclimático, enquanto o mês de março apresentou menor potencial agroclimático, já para a cultura do café arábica o mês de janeiro apresentou maior potencial agroclimático, enquanto o mês de março apresentou menor potencial agroclimático. A média anual do potencial agroclimático do Estado para o cultivo do café conilon é de 25,02% das áreas com alto potencial, 74,81% com médio potencial e 0,15% com baixo potencial agroclimático. A média anual do potencial agroclimático do Estado para o cultivo do café arábica é de 20,84% das áreas com alto potencial, 75,50% com médio potencial e 3,65% com baixo potencial agroclimático. Diante dos

resultados, o Estado apresenta maior potencial agroclimático compatível com as necessidades agroclimáticas do café conilon. O mapeamento das áreas com potencial agroclimático para a cultura do cafeeiro foi coerente com a produção e rendimento real dessa cultura no estado do Espírito Santo.

## ABSTRACT

LUPPI, Alixandre Sanquetta Laporti, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2014. **Agroclimatic potential for the development of coffee culture in the state of Espírito Santo.** Adviser: Gilberto Chohaku Sedyama. Co-adviser: Alexandre Rosa dos Santos.

The State of Espírito Santo is the second largest coffee producer in Brazil, with approximately 25% of domestic production and the largest conilon producer occupying an area of approximately 329,700 ha in 33,456 properties. Due to the importance of this field, novel technologies to evaluate the proper areas to carry out the coffee planting must be constantly updated as a tool to manipulate the functions, that represent the environmental processes in various regions, simply and effectively, enabling resources and time saving. The agro-climatic's zoning is an instrument of guidance and technical support for making decision in agriculture, providing information that can assist in the planning of a specific region of interest. Even knowing that zoning is a well known technique that provides the determination of appropriate, restricted and inappropriate areas for crop development, few scientific studies have aimed to outline a methodology for spatialize areas with agro-climatic potential for development of agricultural crops. Therefore, the objective of this study was to define areas with agro-climatic potential for the development of coffee in the State of Espírito Santo. The conilon coffee showed higher agro-climatic potential in February and lower in March, regarding the Arabica coffee the higher agro-climatic potential was in January and the lower in March. The annual average of agro-climatic potential for growing conilon showed 25.02% of the areas with high potential, 74.81% with medium potential and 0.15% with low agro-climatic potential. The annual average of agro-climatic potential for growing Arabica coffee showed 20.84% of the areas with high potential, 75.50% with medium potential and 3.65% with low agro-climatic potential. The results demonstrated that the State has agro-climatic potential more suitable with the conilon's agro-climatic demands. The mapping of the areas with agro-climatic potential for growing coffee was consistent with the production of coffee and the real income in the State of Espírito Santo.

## 1. INTRODUÇÃO

As cadeias produtivas do agronegócio no Espírito Santo representam cerca de um terço do Produto Interno Bruto (PIB) do Estado. Percentual acima da média nacional, que está em torno de 25%. A atividade rende cerca de R\$ 21 bilhões anuais à economia. Conforme estimativas do Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN) e da Secretaria de Estado da Agricultura (Seag), cerca de 317 mil pessoas trabalha diretamente nas propriedades rurais espalhadas pelo interior, o que representa 1/5 da população empregada em terras capixabas.

O secretário de Estado da Agricultura, Enio Bergoli da Costa, em 2011, ressaltava que o Espírito Santo destaca-se como o maior exportador de mamão papaia do Brasil, o maior produtor nacional de café conilon, o segundo maior produtor de ovos do país, o terceiro maior produtor de cacau e o quarto maior cultivo de seringueiras, evidenciando bons resultados em diversas produções.

No estado do Espírito Santo é possível perceber a importância da agricultura familiar ao analisar dados da estrutura fundiária, significativamente baseada na pequena propriedade familiar. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2006), do número total de estabelecimentos rurais no Estado, aproximadamente 80% se enquadram como pequenas propriedades rurais familiares. Essas pequenas propriedades são responsáveis pela produção de 52% do café, 43% do leite, 70% do turismo rural e 78% do artesanato local.

Por tudo isso, o cultivo do café é, sem dúvida, uma das atividades mais importantes do Estado. O agronegócio dessa cadeia tem grande peso social e econômico: 80% dos municípios do Estado têm na cafeicultura sua base econômica. A cadeia produtiva gera em torno de 400 mil empregos. Só na produção, hoje trabalham 131 mil famílias (INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - INCAPER, 2012).

O Espírito Santo é o segundo maior produtor de café do Brasil com cerca de 25% da produção nacional e o maior produtor do café conilon ocupando área de aproximadamente 329.700 hectares em 33.456 propriedades com tamanho médio de 9,85 hectares por propriedade. Os

principais municípios produtores de café conilon são: Jaguaré, Vila Valério, Sooretama, Rio Bananal e São Gabriel da Palha, com produtividade média de 26,56 sacas por hectare, com área média ocupada pelo cafeeiro conilon de 40%, nestas localidades. O café arábica ocupa área de 197.110 hectares em 22.713 propriedades, com tamanho médio de 8,65 hectares por propriedade sendo os principais municípios produtores Brejetuba, Iúna, Vargem Alta, Irupi e Afonso Cláudio com uma produtividade média de 17,85 sacas por hectare, e área média ocupado pelo cafeeiro arábica de 48,3% nestas localidades (CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DO CAFÉ – CETCAF, 2011).

O café conilon é o produto de maior importância social, econômica no estado do Espírito Santo, sendo responsável por 34,9% do PIB do Agronegócio capixaba, com produção de 3.061.513 sacas em 2012, representando cerca de 20% do total de *Coffea canephora* do mundo (FERRÃO, 2012).

De acordo com o secretário de Estado da Agricultura, a área plantada do Estado é de 470 mil hectares, sendo 180 mil hectares de café arábica e 290 mil hectares da variedade conilon. Existem cerca de 40 mil produtores que cultivam a variedade conilon e 20 mil da arábica. O valor que fica com os produtores é de R\$ 2 bilhões por ano. No Espírito Santo, 65% da produção é de café conilon e 35% de arábica. O café conilon é plantado em 64 municípios, em regiões quentes e altitudes inferiores a 500 metros.

O estado do Espírito Santo, principalmente a região Norte e Noroeste, apresentam déficit hídrico em 80% das áreas cultivadas com a cultura do conilon, apresentando também quadro pluviométrico crítico com ocorrências de chuva mal distribuídas, o que justifica a utilização de sistemas de irrigação para evitar os riscos agrícolas (PLANO ESTRATÉGICO DA AGRICULTURA CAPIXABA – PEDEAG, 2008).

A agricultura irrigada tem sido uma importante estratégia para otimização da produção mundial de alimentos, gerando desenvolvimento sustentável no campo, com geração de empregos e renda de forma estável (MARTINS, 2009).

A modernização do parque cafeeiro brasileiro com a incorporação de novas áreas de cultivo para atender à demanda pelo produto trouxe novos desafios dentro e fora da fazenda (PEREIRA et al., 2008). Segundo Zambolim

(2007), à semelhança de outros produtos agrícolas tradicionais (vinho e azeite), o mercado cafeeiro está se tornando também exigente quanto à rastreabilidade da cadeia produtiva, que está se tornando cada vez mais valorizada no ato da comercialização.

O emprego de técnicas de geoprocessamento no monitoramento e mapeamento de culturas agrícolas, novas abordagens e novos desafios surgiram na caracterização das feições terrestres. Elas possibilitam aplicações em inúmeras áreas: agricultura, meio ambiente, geologia, recursos hídricos, estudo de solo e florestas, entre outras. Na agricultura, podem ser utilizados, para previsão de safras, mapeamentos de culturas, definição de áreas de aptidão agrícola, detecção de incêndios em lavouras e pastagens, mapeamento de unidades armazenadoras e agroindústrias, zoneamento agroclimático entre outras (FIGUEIREDO, 2009).

Devido à importância da cafeicultura, novas tecnologias de previsão de safra e de avaliação de áreas propícias ao plantio do café, devem ser constantemente atualizadas de modo a tornar-se cada vez mais, uma ferramenta capaz de manipular as funções que representam os processos ambientais em diversas regiões de forma simples e eficiente, permitindo economia de recursos e tempo. Estas manipulações permitem agregar dados de diferentes fontes (por exemplo: imagens de satélite; mapas topográficos; mapas de solo etc.) em diferentes escalas. O resultado destas manipulações, geralmente, é apresentado sob a forma de mapas temáticos com as informações desejadas (MENDES, 1997).

As geotecnologias (ou tecnologias espaciais), conhecidas também, segundo alguns autores, por geoprocessamento, são consideradas como o conjunto de técnicas que tem como função coletar, processar, analisar e oferecer informações com referência geográfica (ou espacial). São exemplos de tecnologias espaciais os sistemas de informações geográficas, a cartografia digital, o sensoriamento remoto e o sistema de posicionamento global.

O zoneamento agroclimático é um instrumento de orientação e suporte técnico para tomada de decisão na agricultura, concedendo informações que podem auxiliar no planejamento de uma determinada região de interesse. Como ferramenta de planejamento agrícola, o zoneamento agroclimático consiste na determinação dos locais mais aptos para o cultivo de espécies de

interesse. Nesse contexto esses locais caracterizam a maior probabilidade possível de sucesso em termos de produtividade (PEZZOPANE, 2012).

Como ferramenta de decisão, o zoneamento não é definitivo, sendo passível de incorporação de novas metodologias de estudo, novas cultivares e séries de dados meteorológicos mais consistentes.

Os principais elementos climáticos que afetam a produção e produtividade do café são a temperatura e precipitação e, com menos importância, o vento, umidade do ar e luminosidade (MATIELLO, 1991). Meireles et al. (2007) afirmam que as condições climáticas que afetam diretamente a produção e produtividade do café são: geadas, ventos frios persistentes, veranicos frequentes, deficiências hídricas prolongadas, má distribuição do regime pluvial ao longo do ano, dentre outros. Entretanto, os elementos climáticos que mais interferem na fenologia e na produção de grãos, tanto nos aspectos quantitativos como qualitativos, são especialmente a precipitação e a temperatura do ar.

Sabe-se que quando as condições climáticas, edáficas e ambientais são favoráveis ao cultivo do café, esta cultura apresentará melhor desempenho. Diante do exposto, as principais variáveis utilizadas no trabalho e que influenciam este crescimento são:

- Temperatura ( $X_1$ ) - A ocorrência frequente de temperaturas máximas superiores a 34°C causa o abortamento de flores e, conseqüentemente, perda de produtividade (CAMARGO, 1985; SEDIYAMA et al., 2001);
- Precipitação ( $X_2$ ) - Em determinadas plantas, o estresse hídrico limita não apenas o tamanho, mas também o número de folhas, pois ele diminui o número e a taxa de crescimento dos ramos. O crescimento do caule tem sido menos estudado do que a expansão foliar, mas provavelmente ele é afetado pelas mesmas forças que limitam o crescimento das folhas durante o estresse (TAIZ; ZEIGER, 2004).
- Deficiência hídrica ( $X_3$ ) - Entre os vários fatores limitantes da produção vegetal, o déficit hídrico é o mais importante, pois, além de afetar as relações hídricas nas plantas, é um fenômeno que ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis. Portanto, as plantas parecem ter desenvolvido mecanismos capazes de diminuir os efeitos da falta de água no solo. Os quais podem ser transmitidos geneticamente (BOYER, 1982).

- Radiação solar ( $X_4$ ) - Alzugaray e Alzugaray (1984) recomendam o plantio de café em áreas com vertentes orientadas para o Norte, Noroeste ou Nordeste. Segundo os autores, as lavouras implantadas nestas condições recebem maior quantidade de energia solar em relação àquelas implantadas em faces do terreno com outras orientações. Enquanto que as vertentes Sul, Sudeste e Sudoeste são expostas a menores quantidades de energia e estão mais sujeitas à ocorrência de ventos frios e geadas.
- Tipo de solo ( $X_5$ ) - A caracterização do parque cafeeiro se dá pela relação das lavouras de café com as variáveis morfométricas (altimetria, declividade e posição de vertente) e o tipo de solo onde a lavoura esta implantada (BARROS et al., 2007; BERNARDES et al., 2012).
- Declividade ( $X_6$ ) - Variáveis do relevo influenciam na ocorrência de microclimas específicos em função da incidência de radiação e ventos, bem como acúmulo de massas de ar frio. A exposição de vertentes desempenha papel importante sobre a evapotranspiração e o decorrente balanço hídrico (VALERIANO, 2003).
- Probabilidade de ocorrência de dias chuvosos ( $X_7$ ) - Estimativas probabilísticas desses fenômenos têm grande utilidade, pois possibilitam que muitas atividades agrícolas, tais como semeadura e colheita, possam ser realizadas em épocas mais favoráveis, reduzindo assim os riscos e as perdas (FIETZ, 2002).
- Probabilidade de ocorrência de veranicos ( $X_8$ ) - A quantidade de precipitação que ocorre na estação chuvosa é suficiente para que as culturas atinjam seu total desenvolvimento. Porém, ocorrências de sequências de dias sem precipitação neste período (veranicos) provocam danos às culturas. As perdas na produtividade ocorrem, em muitos casos, devido à falta de água em suas fases de desenvolvimento, principalmente naqueles que são mais sensíveis à seca e necessitam de maior quantidade de água como o enchimento de grãos (SIVAKUMAR, 1992).
- Favorabilidade à ocorrência de ferrugem ( $X_9$ ) - Das doenças que ocorrem no cafeeiro, a ferrugem é a mais importante, devido aos grandes prejuízos que causa à cultura. Esta doença ocorre em todas as regiões produtoras do café

no Brasil, América Central e América do Norte (SCHIEBER; ZENTMYER, 1984).

Matiello et al. (2002) relatam que a exigência climática do cafeeiro em períodos de grande umidade varia de acordo com as fases fenológicas da planta. No período de vegetação e frutificação, que ocorre de outubro a maio, o cafeeiro precisa de umidade disponível no solo. Na fase de colheita e repouso, que acontece de junho a setembro, a necessidade de água é pequena e o solo pode ficar até mais seco (até quase o ponto de murchar), sem, contudo, oferecer grandes prejuízos para a planta. Diante disso há grande importância em se desenvolver zoneamentos agroclimáticos com frequência mensal, de modo a compreender as exigências climáticas nas diferentes fases fenológicas da planta, o que normalmente não ocorre com os zoneamentos anuais.

Mesmo sabendo que o zoneamento é uma técnica consagrada que proporciona a determinação de áreas aptas, restritas e inaptas para o desenvolvimento das culturas, são raros os trabalhos científicos que objetivam traçar uma metodologia para espacializar áreas com potencial agroclimático para o desenvolvimento das culturas agrícolas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Espacializar o potencial agroclimático para o desenvolvimento da cultura do café no estado do Espírito Santo.

### **2.2. Objetivos específicos**

Pretende-se:

- Espacializar mensalmente os elementos climáticos temperatura do ar, precipitação, deficiência hídrica e radiação solar;
- Espacializar a probabilidade de dias com chuva, de dias secos e veranicos;
- Espacializar a variável topográfica declividade e a variável edáfica tipo de solo;
- Espacializar as áreas potenciais para o desenvolvimento da cultura do café;
- Avaliar a série temporal de produção e produtividade do cafeeiro nos municípios e estado do Espírito Santo;
- Validar as áreas com potencial agroclimático para o cultivo do cafeeiro com suas respectivas áreas produtoras.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Importância do café no mundo, no Brasil e no Espírito Santo

O gênero *Coffea* L. possui 103 espécies, cujo centro de origem é o Continente Africano. Apenas as espécies *Coffea arabica* L. (café arábica) e *Coffea canephora* Pierre (café robusta ou conilon) são cultivadas comercialmente (PEZZOPANE, 2012).

A espécie *Coffea arabica* L. é uma planta originária dos altiplanos da Etiópia, onde vegeta espontaneamente em sub-bosques nas regiões de Jimma e Kaffa, entre 6° e 9° N, de 1.600 a 1.900 metros de altitude, em que a temperatura do ar varia entre 17°C e 20°C e as chuvas anuais entre 1.500 a 1.800 milímetros bem distribuídos, com período seco definido de quatro a cinco meses (COSTE, 1969).

A espécie *Coffea canephora* é originária de regiões equatoriais e tropicais da África, existindo dois grupos de materiais genéticos distintos, que são classificados como Congolense e Guineano (BERTHAUD, 1985, citado por FERRÃO et al., 2007). O primeiro grupo que inclui o café conhecido como Robusta, é originário da África Central, caracterizada por temperaturas elevadas e estação seca moderada. O segundo grupo que inclui o tipo Kouilou ou conilon, é originário da região oeste da África, que é caracterizada por temperaturas elevadas e estação seca moderada a acentuada (PEZZOPANE, 2012).

O cultivo dos cafezais no Espírito Santo iniciou-se sob a influência do Rio de Janeiro na metade do século XIX. O café chegou pelo sul e, com o decorrer dos anos, a cafeicultura foi se consolidando como importante atividade econômica para o Estado e para o Brasil.

A cafeicultura capixaba como atividade agrícola teve início em Linhares, região norte. A expansão da cafeicultura foi rápida e em 1850 já era notável a importância da cultura no setor econômico capixaba (TAUNAY, 1939).

O cultivo do café é, sem dúvida, uma das atividades mais importantes do Estado. O agronegócio dessa cadeia produtiva tem grande peso social e econômico. O café está presente, em maior ou menor quantidade, em todos os

municípios, exceto em Vitória. Avalia-se que 80% dos municípios do Estado têm na cafeicultura seu sustentáculo econômico. A cadeia produtiva gera em torno de 400 mil empregos. Só na produção, hoje trabalham 131 mil famílias. Esse volume grande de postos de trabalho é composto, prioritariamente, por produtores de base familiar, com tamanho médio das lavouras em torno de 4,8 hectares e 9,4 hectares para o café arábica e conilon, respectivamente (IBGE, 2006).

Diferentemente de outras grandes regiões produtoras brasileiras, como Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Rondônia, o Espírito Santo é o único Estado que têm expressiva produção do café conilon (65% da produção do Estado). O restante da produção (35%) provém do cultivar arábica. A atividade é muito diversificada quanto ao tipo de produtor e seus níveis tecnológicos, tamanho de propriedades, locais e topografias, altitudes, entre outras diferenças.

Os municípios com maior produção de café conilon, superior a 400 mil sacas por ano, são Vila Valério, Jaguaré, Sooretama, Linhares, Rio Bananal, São Mateus, Nova Venécia, Pinheiros e São Gabriel da Palha, onde cafeicultores alcançam rendimentos superiores a 80 sacas beneficiadas/ha, enquanto, que a média do Estado é 26 sacas/ha (IBGE, 2009).

O café arábica é cultivado no Espírito Santo a mais de 150 anos e sempre foi uma atividade muito importante, plantado em 49 municípios, sendo que os maiores produtores ultrapassam 120 mil sacas por ano. A média de produção é de 16 sacas/ha, no entanto muitos cafeicultores alcançam rendimentos superiores a 40 sacas beneficiadas/ha (IBGE, 2009).

Com relação ao consumo de café, as estatísticas indicam que tem havido um aumento da ordem de 2,5% ao ano. No entanto observa-se um equilíbrio entre a produção e consumo. O agronegócio cafeeiro é influenciado por muitos fatores: câmbio, estoque, produção, problemas climáticos, econômicos e sociais, entre outros. Dessa maneira devemos usar as tecnologias disponíveis visando o aumento de produtividade, melhoria da qualidade e a sustentabilidade do agroecossistema.

Reconhecida como uma das bebidas mais populares do mundo, o café está entre as *commodities* de maior importância mundial em termos de volume financeiro, que é movimentado em sua comercialização (TEIXEIRA;

MILHOMEM, 2001). De acordo com Pereira et al. (2008), a cultura do cafeeiro continua sendo um dos esteios do agronegócio brasileiro. A expansão dos pontos de comercialização e consumo da bebida em centros comerciais pelo mundo aumentou também a procura por cafés com maior qualidade de bebida.

## **3.2. Características da cultura do cafeeiro**

### **3.2.1. Exigências climáticas dos cafeeiros**

De acordo com Pereira et al. (2008), o ambiente ideal para uma espécie deve ser aquele de sua região de origem. Conhecendo-se as condições do ambiente de seu habitat natural fica mais fácil entender suas exigências climáticas. Mesmo em locais com tradição de cultivo é comum a ocorrência de eventos climáticos extremos, que resultam em alguma forma de perturbação no desempenho do cafeeiro. O cafeeiro pode vegetar em uma área geográfica extensa compreendida, em sua maior parte, nos trópicos, abrangendo uma variação ampla de clima e solo. Porém, sua produção econômica se restringe a uma área bem menor, já que o cafeeiro é adaptado ao clima ameno subtropical, com temperatura média de 18°C a 22°C e deficiência hídrica inferior a 150 mm anuais. Já o robusta produz melhor em locais com média anual variando entre 22°C e 26°C.

Em Jimma, Etiópia, a 7° 40' N e 1.700 m acima do nível médio do mar, localidade próxima ao centro de origem do cafeeiro arábica, a temperatura média mensal varia bem pouco em torno da média de 18,2°C. Essa quase isotermia de temperatura média mensal é pouco comum nas áreas tropicais (PEREIRA et al., 2008).

De acordo com Assad et al. (2001), a cultura do café é atingida por excesso de deficiência hídrica ou térmico nas regiões tradicionais. A ocorrência frequente de temperaturas máximas superiores a 34°C causa o abortamento de flores e, conseqüentemente, perda de produtividade (CAMARGO, 1985; SEDIYAMA et al., 2001).

Nas plantas, o aumento da temperatura é diretamente proporcional à atividade fotossintética. As reações catalisadas enzimaticamente podem ser aceleradas, resultando na perda da atividade das enzimas, fator este associado

à tolerância das plantas ao calor (BIETO; TALON, 1996). No caso do cafeeiro da espécie *Coffea arabica*, temperaturas médias anuais ótimas situam-se entre 18°C e 22°C. A ocorrência frequente de temperaturas máximas superiores a 34°C causa o abortamento de flores e, conseqüentemente, perda de produtividade (CAMARGO, 1985; PINTO et al., 2001; SEDIYAMA et al., 2001). Temperaturas entre 28°C e 33°C provocam uma redução na produção de folhas e na atividade fotossintética do cafeeiro (DRINNAN; MENZEL, 1995).

É importante ressaltar que as plantas durante seu ciclo de vida nem sempre encontram condições ambientais onde todos os fatores sejam favoráveis ao seu crescimento e desenvolvimento. Um importante fator ambiental que limita o crescimento é a redução na disponibilidade de água do solo. Dessa forma, o estresse hídrico ocorre geralmente, na natureza, de maneira gradual e as plantas tolerantes desenvolveram mecanismos para se adaptarem às condições de baixa disponibilidade de água no solo (LARCHER, 2000).

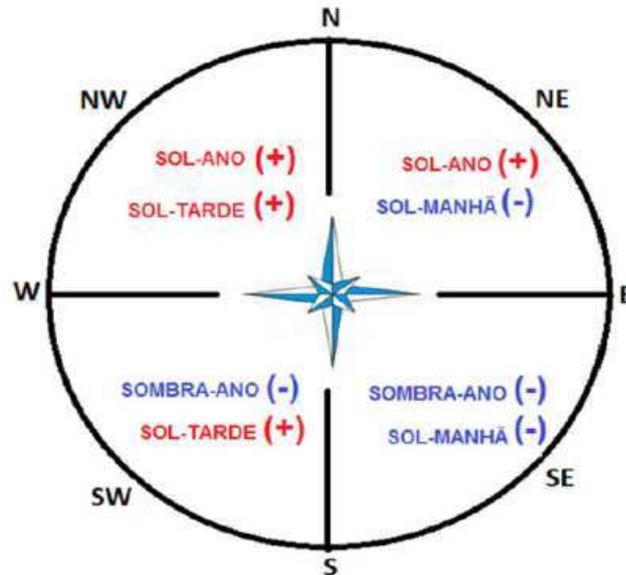
Em relação às deficiências hídricas, estas afetam menos a cafeicultura, quando não se estendem até a estação de frutificação e estão sob condições de solos profundos e de boas condições físicas. Para vegetar e frutificar normalmente, o cafeeiro necessita encontrar umidade suficiente no solo, durante o período de vegetação e de frutificação, que compreende o intervalo de meses que vai de setembro a outubro e de abril a maio (SANTOS, 1999).

Em determinadas plantas, o estresse hídrico limita não apenas o tamanho, mas também o número de folhas, pois ele diminui o número e a taxa de crescimento dos ramos. O crescimento do caule tem sido menos estudado do que a expansão foliar, mas provavelmente ele é afetado pelas mesmas forças que limitam o crescimento das folhas durante o estresse (TAIZ; ZEIGER, 2004).

As faces norte, noroeste e oeste, de maior incidência solar, especialmente no período da tarde, apresentam-se mais quentes e secas que as demais, particularmente em relação às faces sul e sudeste. Assim, nas áreas com problemas de excesso de calor, como as abaixo de 600 metros, devem ser evitadas para o plantio do café arábica, as encostas quentes, de exposição norte e noroeste, conhecidas como faces "soalheiras". Por outro lado, em áreas frias, a montante dos ventos frios dominantes, como as

serranas de maior altitude, devem ser evitados os terrenos de face sul e sudeste, conhecidas como faces "noruegas" (MATIELLO, 1977).

A Figura 1 ilustra as faces soalheiras e noruegas frias e quentes.



Fonte: Ferreira et al. (2012).

Figura 1 - Posicionamento dos sinais positivos e negativos representando o efeito da radiação solar sobre a temperatura do ar nas diferentes faces de exposição das encostas representada pelos quadrantes Nordeste (NE) Sudeste (SE), Sudoeste (SW) e Noroeste (NW) em função dos pontos cardeais.

O café arábica é encontrado como vegetação espontânea de regiões altas (entre 1.300 m e 2.800 m de altitude) no sudoeste da Etiópia e sudoeste do Sudão e Quênia. Assim, o sombreamento é uma proteção natural contra baixas temperaturas noturnas de inverno e a forte insolação diurna do verão e, principalmente, contra efeitos danosos do vento.

Para se definir a aptidão hídrica do café conilon e arábica, utiliza-se do balanço hídrico, que resulta na análise conjunta dos dados de precipitação e evapotranspiração mensal. Ele estima os excedentes hídricos e quantifica as deficiências hídricas mensais.

Thomaziello et al. (2000) e Matiello (1991) afirmam que precipitações ótimas ao cultivo do café conilon é de 900 a 1.000 mm anuais e para o café arábica acima de 1.200 mm anuais.

Matiello et al. (2002) relatam que a exigência climática do cafeeiro em períodos de grande umidade varia de acordo com as fases fenológicas da planta. No período de vegetação e frutificação, que ocorre de outubro a maio, o cafeeiro precisa de umidade disponível no solo. Na fase de colheita e repouso, que acontece de junho a setembro, a necessidade de água é pequena e o solo pode ficar até mais seco (próximo o ponto de murchar), sem, contudo, oferecer grandes prejuízos para a planta.

### **3.2.2. Influência das variáveis morfológicas e tipos de solos na cafeicultura**

A caracterização do parque cafeeiro se dá pela relação das lavouras de café com as variáveis morfométricas (altimetria, declividade e posição de vertente) e o tipo de solo em que a lavoura está implantada (BARROS et al., 2007; BERNARDES et al., 2012). Variáveis do relevo influenciam na ocorrência de microclimas específicos em função da incidência de radiação e ventos, bem como acúmulo de massas de ar frio. A exposição de vertentes desempenha papel importante sobre a evapotranspiração e o decorrente balanço hídrico (VALERIANO, 2003).

Matiello et al. (1977) citam que os solos devem apresentar textura média, estrutura granular ou em grumos, de tamanho médio e moderadamente desenvolvida. Ter em volume, na camada superficial ao redor de 50% de porosidade, 45% de substância mineral e 5% de matéria orgânica, do espaço poroso, metade deve estar ocupado pelo ar e a outra metade pela água, sendo metade macroporos e a outra metade microporos. O índice de saturação de bases deve ser superior a 35%, ou seja, eutrófico, de média a alta fertilidade.

Segundo Matiello et al. (1977), no Brasil, os solos mais utilizados para o plantio do café são os latossolos e argissolos, incluindo também os solos intermediários à esses dois, como o nitossolo vermelho e os mediterrâneos vermelho-amarelos. Todavia, dentre os latossolos, os mais utilizados são o Latossolo Roxo (Terra Roxa), Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo e Húmico. E dentre os argissolos, o mais utilizado é o Argissolo Vermelho-Amarelo.

Diodato et al. (2010), em estudos realizados no hemisfério Norte, encontraram valores de evapotranspiração significativamente menores em vertentes orientadas a Norte em relação às vertentes Sul. No hemisfério Sul, entretanto, o fenômeno ocorre ao inverso e mais intensamente em maiores latitudes, isto é, mais distante da linha do equador. Alzugaray e Alzugaray (1984) recomendam o plantio de café em áreas com vertentes orientadas para o Norte, Noroeste ou Nordeste. Segundo os autores, as lavouras implantadas nestas condições recebem maior quantidade de energia solar em relação àquelas implantadas em faces do terreno com outras orientações. Por outro lado, vertentes Sul, Sudeste e Sudoeste são expostas a menores quantidades de energia e estão mais sujeitas à ocorrência de ventos frios e geadas.

A atuação do relevo refere-se ainda à distribuição de processos hidrológicos e erosivos no solo (VALERIANO, 2000), os quais são correlacionados à variável declividade. Com relação ao manejo de culturas agrícolas a declividade do terreno define a possibilidade do uso de mecanização agrícola ou mão-de-obra manual (ZAMBOLIM, 2002).

Matiello et al. (1977) classificam o relevo de cinco formas distintas:

- Plano ou praticamente plano: Baixadas, tabuleiros e chapadas, com declive inferior a 2,5% ( $1^{\circ}30'$ );
- Suave ondulado ou ondulado: Superfície pouco movimentada, com declive suave a acentuado de 2,5% a 12% ( $1^{\circ}30'$  a  $7^{\circ}$ );
- Forte ondulado: Superfície movimentada com declives fortes de 12% a 50% ( $7^{\circ}$  a  $26^{\circ}30'$ );
- Montanhoso: Formas acidentadas, desnivelamentos grandes e declives fortes e muito fortes superiores a 50% ( $26^{\circ}30'$ );
- Escarpado: Formas abruptas, escarpas, cuevas, falésias etc.

De modo geral, terrenos ondulados possuem solos melhores porque a drenagem se faz de modo eficiente e a erosão é pequena.

A altitude é um importante fator na definição dos processos de alteração das temperaturas do ar (CARGNELUTTI FILHO et al., 2006). No estado de Minas Gerais, Sediya et al. (2001) realizaram o zoneamento agroclimático para a cafeicultura e não recomendam o plantio de café arábica

em altitude inferior a 500 m e superior a 1.200 m devido às condições de temperaturas desfavoráveis.

Apesar de o café arábica ser mais recomendado para regiões de altitudes maiores e de temperaturas mais baixas, existem alguns indicativos que podem levar à seleção de cultivares adaptados a outras regiões, como: no Espírito Santo, em períodos anteriores a 1960, antes da entrada do cultivo do café conilon nas regiões quentes, municípios como São Gabriel da Palha, Colatina e Linhares, só plantavam o arábica; existem muitos cultivares de café arábica desenvolvidos por instituições de pesquisa, que poderão ser adaptados às condições irrigadas e de alta tecnologia no Norte do Espírito Santo (FERRÃO et al., 2004).

O café conilon tem sido cultivado com sucesso no estado do Espírito Santo em regiões fisiográficas de altitudes abaixo de 450 metros (DADALTO; BARBOSA, 2011), e apresenta maior tolerância a certas condições de estresse biótico e abiótico, apesar de ser mais susceptível a baixas temperaturas em comparação ao café arábica (DaMATTA et al., 1997; RAMALHO et al., 2003).

As condições ambientais estão intimamente relacionadas à produtividade das culturas, sendo de grande importância a escolha de áreas mais homogêneas, que, aliadas às técnicas de manejo, poderão levar ao aumento da produtividade das culturas. Segundo Santos (1999), as principais causas de variações na produtividade agrícola são: variações em uma mesma propriedade, relação solo-microclima, variações entre propriedades de uma mesma região, técnicas de manejo, variações de ano para ano e os fatores econômicos.

### **3.2.3. Aspectos gerais da cultura do café arábica**

Dentre as principais variedades de *Coffea arabica* cultivadas no Brasil, destacam-se a Mundo Novo e a Catuaí (com as linhagens Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo), a Icatu, Iapar, a Tupi, a Obatã, a Catuaí Rubi, entre outras, devido, principalmente, às suas características físicas e de resistência às pragas e doenças (OLIVEIRA, 2007).

O cultivo do café arábica no Brasil apresenta o florescimento na primavera, a frutificação no verão, a maturação no outono e a colheita no

inverno. Nas principais áreas cafeeiras, o clima, chuvoso na primavera/verão, seguido de uma estação relativamente seca no outono/inverno, favorece bastante a frutificação e a produção do cafeeiro. As fases críticas, como a formação do "chumbinho" e a granação, são beneficiadas pelas chuvas da primavera e do verão, e as de maturação e colheita, pelo outono e inverno relativamente secos (ALFONSI, 2000).

Para Matiello (1991), no período de vegetação e frutificação, o cafeeiro é exigente em água sendo que a exigência é menor na fase de colheita permitindo, inclusive, a ocorrência de pequena deficiência hídrica, sem grandes prejuízos para a planta. Períodos curtos de seca são importantes para o crescimento das raízes, maturação dos ramos (formados na estação chuvosa anterior) e, principalmente, para a diferenciação floral e maturação dos frutos. Ainda segundo o autor, uma precipitação anual de 1.200 mm pode ser considerada adequada para o bom desenvolvimento do café arábica.

Em locais onde a deficiência hídrica é maior que 150 mm, e as temperaturas médias superiores a 23°C, as áreas são consideradas inaptas, uma vez que restringem a frutificação, resultando em baixa produtividade. Existem vários trabalhos que descrevem a metodologia e os resultados do zoneamento agrícola do café arábica para os estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Goiás (PINTO et al., 2001; SEDIYAMA et al., 2001; CARAMORI et al., 2001; ASSAD et al., 2001).

A área ocupada com o café conilon vem sendo ampliada, principalmente, no estado do Espírito Santo, Mato Grosso e Rondônia. Só no estado do Espírito Santo, o café conilon é plantado em 64 municípios. Isso se deve, entre outros fatores: (i) à menor sensibilidade desta espécie ao fungo *Hemileia vastatrix* (responsável pela ferrugem dos cafezais); (ii) ser recomendado para regiões quentes e com altitude inferior a 500 metros; e (iii) devido à sua utilização na indústria de café solúvel, fazendo com que o custo do produto final diminua (FAZUOLI, 1986).

A cultivar conilon é de fecundação cruzada obrigatória (BRAGANÇA et al., 2001; FERRÃO et al., 2007). Assim, plantios de lavouras oriundas de mudas obtidas por sementes apresentam grande variabilidade genética entre plantas (FERRÃO et al., 2004), mostrando-se desuniformes sob vários aspectos: arquitetura da parte aérea; tamanho e maturação de frutos; resposta

à nutrição mineral; tolerância à seca; além de outras características agronômicas.

O cafeeiro necessita de um solo que permita uma boa expansão em volume e profundidade de seu sistema radicular, e que ofereça condições hídricas e nutricionais equilibradas. Segundo Bragança e Alvarez (1990), o café conilon é cultivado preferencialmente em dois ambientes distintos no Espírito Santo, com base no relevo e no tipo de solo. Um ambiente caracteriza-se por apresentar solos do tipo Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho Escuro, originados de sedimentos do terciário, com relevo variando de plano a suave ondulado. Como exemplos de municípios com estas características podem-se citar Linhares e Pinheiros.

Um segundo ambiente formado principalmente por rochas gnáissicas, classificadas em sua maioria como gnaisses ácidos, ricas em sílica (onde os minerais predominantes são o quartzo, o feldspato alcalino e a mica biotita), originou solos do tipo Latossolo Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho Amarelo. Os municípios de Águia Branca e São Gabriel da Palha são representantes deste ambiente (BRAGANÇA; ALVAREZ, 1990).

#### **3.2.4. Ferrugem do café**

Das doenças que ocorrem no cafeeiro no estado do Espírito Santo, a ferrugem é a mais importante, devido aos grandes prejuízos que causa à cultura. Esta doença ocorre em todas as regiões produtoras do café no Brasil, América Central e América do Norte (SCHIEBER; ZENTMYER, 1984).

A ferrugem do cafeeiro, causada por *Hemileia vastatrix* Berk ET Br; foi constatada na América do Sul pela primeira vez no Brasil, no estado da Bahia, em janeiro de 1970, e é considerada a principal doença da cultura, ocasionando decréscimos de produção que variam de 35 a 50% dependendo da susceptibilidade do cultivar, da altitude, da temperatura, do regime de chuvas, da carga pendente de frutos na planta e do estado nutricional.

Esta é uma doença foliar que, inicialmente, causa manchas cloróticas translúcidas com 1-3 mm de diâmetro, observadas na face inferior do limbo foliar. Em poucos dias as manchas crescem, atingindo 1-2 cm de diâmetro. Na face inferior, desenvolvem-se massas pulverulentas de coloração amarelo-

laranja formadas por uredósporos do patógeno que, quando coalescem, podem cobrir grande extensão do limbo.

#### **3.2.4.1. Fatores climáticos favoráveis à ferrugem do café**

Os primeiros estudos sobre a biologia de *Hemileia vastatrix* realizados por Ward, 1982 identificaram a influência das condições do ambiente na germinação e infecção das folhas do cafeeiro. Observou-se que os esporos formados durante a estação úmida germinavam completamente em 12-24hs, enquanto os formados no início da época seca precisavam de vários dias. Constatou-se também que o desenvolvimento da doença era máximo no final do período chuvoso e que, para ocorrer infecção, a gota d'água deveria permanecer, pelo menos, 48 horas sobre a folha. O período de germinação variava entre 10 e 16 dias, sendo de 14 dias o intervalo mais frequente (RIBEIRO et al., 1979).

A temperatura exerce influência em todas as etapas do ciclo de vida de um patógeno, ou seja, infecção, colonização, reprodução e sobrevivência. O período latente, definido como o espaço de tempo entre a inoculação e o aparecimento de sinais é umas das características mais importantes no desenvolvimento de uma epidemia. O período latente é influenciado pela temperatura sua maior ou menor duração tem repercussão direta no número de ciclos de reprodução do patógeno que se desenvolve durante o ciclo da cultura. Este efeito pode ser evidenciado claramente sobre o período latente da doença, alterando-o de 19 a 60 dias, dependendo da prevalência de temperaturas altas, nos meses de verão ou de temperaturas baixas nos meses de inverno, respectivamente.

A máxima percentagem de germinação observada ocorreu a 25°C, sendo as temperaturas máxima e mínima nas quais não ocorreu nenhuma germinação, de 32,5°C e 12,5°C, respectivamente. A temperatura ótima foi de 23°C (BÓCOLI, 2008).

Alterações na temperatura e na umidade relativa têm sido apontadas como um fator que afeta significativamente a infecção e o desenvolvimento da ferrugem na cultura do café (MEIRA et al., 2009). Entretanto, inexistem

trabalhos que envolvem a utilização do SIG no zoneamento da favorabilidade climática a ocorrência da desta doença.

O número de horas de água livre na superfície foliar e a infectabilidade de *H. vastatrix*, tomando-se o numero de pústulas/folhas foi de 24 horas, para infecção máxima, sendo iniciada com aproximadamente 6 horas de água livre. Rayner (1972), estudando a dispersão, germinação, penetração e o período de incubação de *H. vastatrix*, constatou que eles podem ser depositados sobre a superfície foliar, liberados e transportados para a superfície de outras folhas, pela chuva, e que precisam de água líquida para germinação, que ocorre a 23°C. O intervalo de tempo mais favorável à infecção é de 22 às 8 horas do dia seguinte. No entanto, verificou-se que o período de incubação variou de 24 a 45 dias, de acordo com a época do ano, aumentando em condições de baixas temperaturas e períodos secos.

Os limites de temperatura e umidade relativa do ar, segundo as classes de favorabilidade climática da doença, foram definidos com base em relatos bibliográficos (Tabela 1) (MONTROYA; CHAVES, 1974; ZAMBOLIM, 1999; BOLDINI, 2001; MIRANDA, 2004).

Tabela 1 - Classes de favorabilidade a ocorrência da ferrugem do cafeeiro em função dos intervalos de temperatura média e umidade relativa do ar

Classe	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)
Altamente Favorável	21 a 24	>82
Favorável	18 a 21 ou 24 a 27	75 a 82
Relativamente Favorável	15 a 18 ou 27 a 30	70 a 75
Desfavorável	<15 ou >30	<70

Portanto, o ambiente é um componente relevante nesta interação, podendo inclusive impedir a ocorrência da doença mesmo na presença de hospedeiro suscetível e patógeno virulento (JESUS JUNIOR et al., 2003). Desta forma, a distribuição espacial das doenças de plantas é extremamente influenciada pelas condições climáticas. Importantes doenças podem se tornar secundárias caso as condições ambientais não sejam favoráveis.

Contrariamente, doenças secundárias podem se tornar importantes caso o ambiente seja extremamente favorável (JESUS JUNIOR et al., 2003).

Uma vez definida as condições adequadas para o estabelecimento e desenvolvimento do patógeno, é possível inferir o risco de ocorrência desta doença e delimitar estas áreas. O zoneamento de áreas de “escape” tem como objetivo promover condições favoráveis à planta e desfavoráveis ao patógeno, através de táticas de fuga baseadas na delimitação de áreas geográficas desfavoráveis ao estabelecimento da doença. Esta prática de manejo pode ser aprimorada através da introdução de informações epidemiológicas em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). O SIG tem sido aplicado na agricultura para análise distribuição espacial e temporal de doenças de plantas, através do mapeamento das áreas de risco (NELSON et al., 1999). Adicionalmente, a identificação de áreas de alto risco de ocorrência de fitopatógenos é fundamental no que se diz respeito à introdução de doenças quarentenárias (BOOTH, 2000).

Por meio do mapeamento das áreas de risco de ocorrência da ferrugem do cafeeiro é possível identificar regiões e épocas de maior favorabilidade ao desenvolvimento desta doença, auxiliando assim na tomada de decisão de manejo.

### **3.3. Geotecnologias**

De acordo com Rosa (2005), o geoprocessamento é tido como uma tecnologia do mundo contemporâneo de desenvolvimento e é a utilização de sistemas envolvendo a coleta, armazenamento, tratamento e análise de dados georreferenciados, oferecendo alternativas para o entendimento da ocupação e utilização do meio físico da Terra.

Dentre as geotecnologias que se encontram num estágio avançado de desenvolvimento, permitindo grande acessibilidade de recursos, a custos relativamente baixos, destacam-se o sistema de posicionamento global, o sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas. No entanto, vale destacar que quando se refere a geotecnologias, há relação com informações temáticas amarradas à superfície terrestre por meio de um *datum* geodésico e de um sistema de coordenadas.

### **3.3.1. Sistemas de informações geográficas**

De acordo com Aspiazú e Brites (1989), os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são técnicas empregadas na integração e análise de dados provenientes das mais diversas fontes, como imagens fornecidas por satélites terrestres, mapas, cartas climatológicas, censos e outros.

O SIG tem sido chamado de um “capacitador tecnológico”, segundo Fisher e Lindenberg (1989), porque tem o potencial de envolver uma larga variedade de disciplinas, sendo que, a maior parte delas, utiliza dados espaciais. As principais são: geografia, hidrologia, cartografia, sensoriamento remoto, fotogrametria, agrimensura, geodésia, estatística, entre outras.

### **3.3.2. Zoneamento agroclimático**

O zoneamento agroclimático é um instrumento de orientação e suporte técnico para tomada de decisão na agricultura, concedendo informações que podem auxiliar no planejamento de uma determinada região de interesse. Como ferramenta de planejamento agrícola, o zoneamento agroclimático consiste na determinação dos locais mais aptos para o cultivo de espécies de interesse. Nesse contexto esses locais caracterizam a maior probabilidade possível de sucesso em termos de produtividade (PEZZOPANE, 2012).

Sendo assim, o zoneamento agrícola é uma técnica utilizada para determinar regiões propícias ao desenvolvimento de determinadas culturas, sendo que as condições de ambiente, de solo e econômicas, quando favoráveis, proporcionam maior produtividade e rentabilidade (OMETO, 1981). Portanto, ele deve ser constantemente atualizado visando obter maiores informações sobre as condições climáticas de culturas selecionadas e, sobretudo, proporcionar maior retorno dos investimentos, a médio e longo prazo. Para tanto, há a necessidade de obtenção de dados mais consistentes, bem como a utilização de técnicas mais modernas para identificação de áreas mais propícias ao desenvolvimento das culturas (SANTOS, 1999).

De acordo com Camargo (2001), o zoneamento agroclimatológico para a cultura do café constitui um importante instrumento no planejamento e

consolidação da atividade cafeeira, devendo ser considerado em qualquer iniciativa que envolva a sua planificação.

É importante ressaltar que a não indicação de uma área para uma cultura não significa que essa área não seja apta para a espécie selecionada, uma vez que há sempre possibilidades de se conseguir o ajustamento de práticas agrícolas com variedades selecionadas ou, então, utilizar técnicas agrícolas mais eficientes. Portanto, o zoneamento agroclimatológico é uma ferramenta que possibilita levar aos produtores da região, informações sobre as características climáticas e as futuras atividades agrícolas que serão colocadas em prática, aumentando, assim, a rentabilidade desses produtores que, poderão então fazer um planejamento mais criterioso, objetivando retornos mais satisfatórios do capital investido na produção, a médio e longo prazo.

Como ferramenta de decisão, o zoneamento não é definitivo, sendo passível de incorporação de novas metodologias de estudo, novas cultivares e séries de dados meteorológicos mais consistentes (PEZZOPANE, 2012).

#### **3.4. Período seco, chuvoso e veranico**

As culturas agrícolas necessitam, para o adequado crescimento e desenvolvimento, de determinada quantidade de água, que é suprida em parte pela irrigação e, principalmente, pela precipitação pluvial. A precipitação pluvial está diretamente relacionada com o rendimento final das culturas e sua variação durante o ano, associado a outros fatores, pode provocar perdas na produtividade final das culturas (MORAIS et al., 2001). Além da distribuição e a irregularidade da chuva, no tempo e no espaço, outra característica climática que afeta uma região é a transição entre períodos secos e chuvosos.

Essa transição provoca notável mudança no clima, principalmente, em regiões tropicais (KELLER FILHO et al., 2006). Como as culturas necessitam de elevada quantidade de água, a melhor época para realizar a semeadura é a estação chuvosa. Uma forma de atenuar a falta de água nas culturas é utilizar a data de início de chuvas como a data de plantio (SIVAKUMAR, 1988). As plantações também podem ser realizadas durante a estação seca, sendo necessária a utilização da irrigação para suprir a quantidade de água para as culturas.

Períodos secos, dentro dos períodos chuvosos, são denominados, veranicos (PERON; CASTRO NETO, 1986). Os veranicos podem ser extremamente prejudiciais, principalmente para aquelas culturas que se encontram em seus períodos críticos.

A quantidade de precipitação que ocorre na estação chuvosa é suficiente para que as culturas atinjam seu total desenvolvimento. Porém, ocorrências de sequências de dias sem precipitação neste período (veranicos) provocam danos às culturas. As perdas na produtividade nas culturas ocorrem, em muitos casos, devido à falta de água em suas fases de desenvolvimento, principalmente em fases que são mais sensíveis a seca e necessitam de maior quantidade de água como o enchimento de grãos (SIVAKUMAR, 1992).

O excesso de chuvas pode também trazer vários prejuízos para a agricultura, devido ao escoamento superficial que é provocado quando a intensidade de precipitação excede a taxa máxima de infiltração na camada superficial do solo. Vários danos podem ocorrer, devido ao escoamento superficial, como o afogamento de plantas no seu estágio inicial de desenvolvimento (NIEUWOLT, 1989).

Por isso, é importante saber a distribuição das ocorrências de dias secos e chuvosos para determinar melhores épocas de realizar o plantio baseado na disponibilidade de água.

Previsões precisas sobre a ocorrência de períodos secos e chuvosos, principalmente a longo prazo, são ainda inviáveis. Por esse motivo, estimativas probabilísticas desses fenômenos têm grande utilidade, pois possibilitam que muitas atividades agrícolas, tais como semeadura e colheita, possam ser realizadas em épocas mais favoráveis, reduzindo assim os riscos e as perdas (FIETZ, 2002).

## 4. ÁREA DE ESTUDO

O Espírito Santo é uma das 27 unidades federativas do Brasil. Está localizado na região Sudeste e tem como limites o oceano Atlântico a leste, a Bahia a norte, Minas Gerais a oeste e noroeste e o estado do Rio de Janeiro a sul. Sua capital é a cidade de Vitória e a Mata Atlântica recobria originalmente a maior parte do Estado, que ocupa uma área de 46.077,519 km<sup>2</sup>.

O Estado é composto por 12 microrregiões, num total de 78 municípios, com uma área total de 17.197,81 Km<sup>2</sup>, localizada entre as coordenadas 39° 24'25"W, 17° 45'22,14"S, e 41° 26' 33"W, 20° 05'35"S no elipsóide de referência SIRGAS 2000. A Figura 2 representa a localização geográfica do estado do Espírito Santo.



Figura 2 - Localização geográfica do estado do Espírito Santo.

### 4.1. Relevo

O clima do estado do Espírito Santo está diretamente relacionado à altitude, sendo o relevo predominantemente montanhoso e de grande diversidade de ambientes. A temperatura é fria, onde predominam a olericultura

e a fruticultura, é amena nas regiões de transição da região Serrana para o Norte e para o Sul, onde predomina a cultura do café arábica, e quente nas demais regiões, nas quais é predominante a cultura do café robusta (SANTOS et al., 2011).

O relevo na maior parte do Estado é caracterizado como um planalto, parte do maciço Atlântico. A altitude média é de 600 a 700 m, com topografia bastante acidentada e terrenos arqueozóicos, onde são comuns os picos isolados, denominados pontões. Na região fronteira com Minas Gerais, transforma-se em área serrana, com altitudes superiores a 1.000 m, onde se localiza a serra do Caparaó, ou da Chibata (ROSS, 2005). O bioma (domínio morfoclimático) do Estado são os chamados "Mares de Morros" caracterizados pela vegetação tropical, em climas mais amenos, formados por serras fortemente erodidas.

Cerca de 40% do território é composto por uma extensa planície litorânea (Planícies e Tabuleiros Costeiros), predominando no interior as serras (Serras e Planaltos de Leste/Sudeste). De largura variável, a Baixada Espiritosantense acompanha toda a costa capixaba, da fronteira com a Bahia até o limite com o Rio de Janeiro. Na Figura 3, pode-se observar a variação de altimetria encontrada na área de estudo, entre -3,5 m e 2.862,5 m.

A Figura 3 apresenta as áreas com menor elevação na parte litorânea do Estado, sendo as áreas com maior elevação à Sudoeste do Estado, na região do Caparaó que faz divisa com o estado de Minas Gerais, chegando no seu ponto mais alto a 2.862,5 metros.

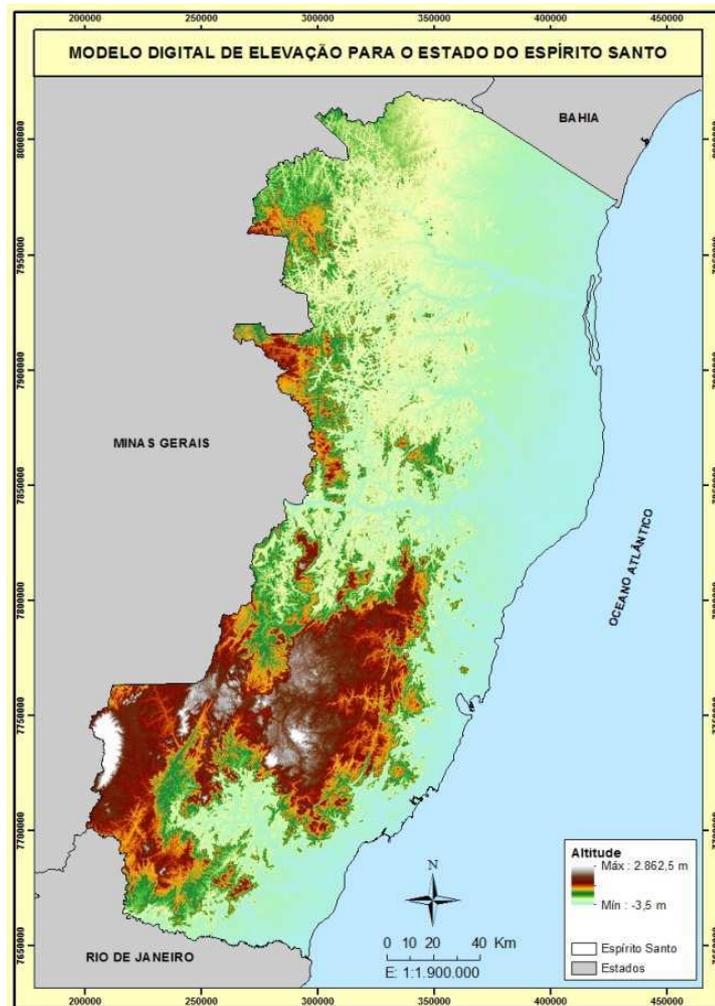


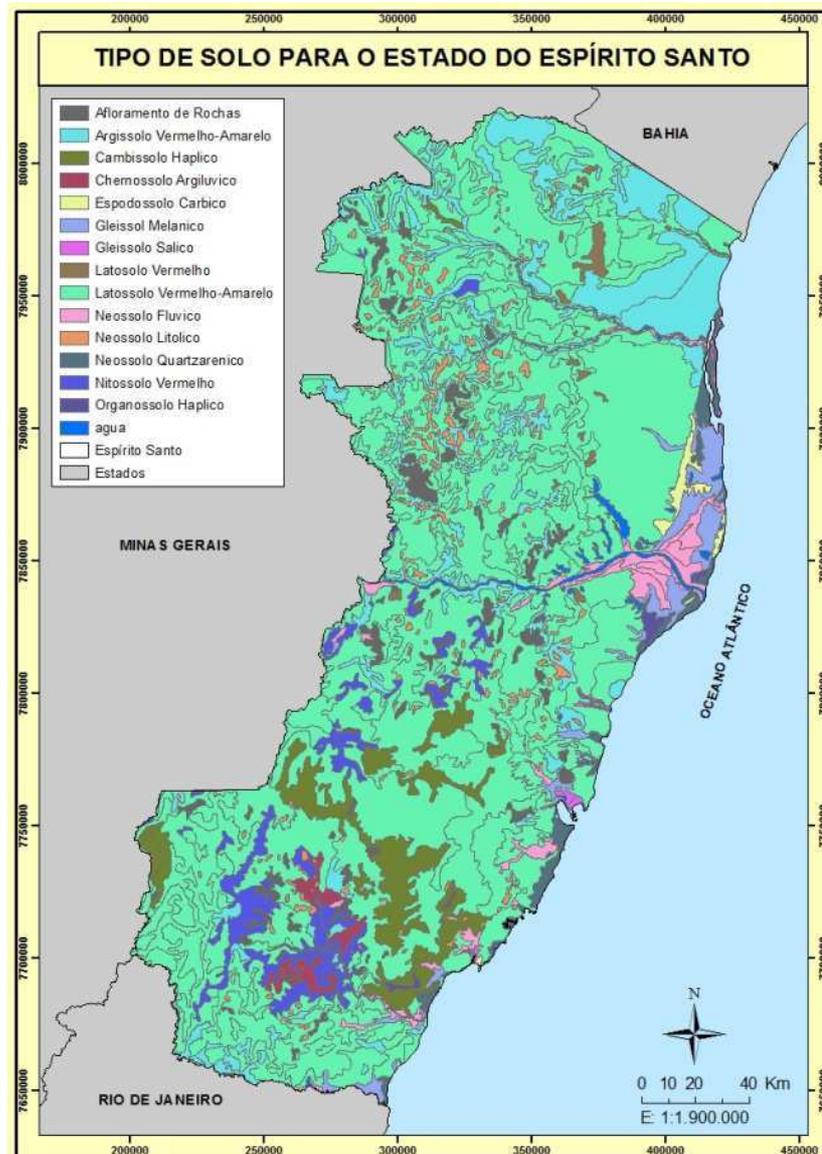
Figura 3 - Mapa de altitudes do estado do Espírito Santo.

#### 4.2. Solos

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 2006), a região litorânea apresenta solos do tipo Espodosolo, Gleissolo e Neossolo; enquanto nas demais áreas, dois grandes grupos de solo estão presentes, os Argissolos e os Latossolos, com a seguinte ocorrência (Figura 4):

- Argissolos: Vermelho-Amarelos Distróficos (mais presente ao norte, região de planalto) e Vermelho-Amarelo Eutrófico (localizado a oeste, região de relevo acidentado).

- Latossolos: Amarelo (predominante na área de estudo estendendo-se de norte a sul); Bruno (pontos isolados a oeste) e Vermelho-Amarelo (concentrado no sudoeste da área de estudada).



Fonte: Embrapa (2006).

Figura 4 - Tipos de solos para o estado do Espírito Santo.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1. Materiais

Para a realização deste estudo foram utilizados:

- Séries históricas de 2008 a 2012 de temperatura média do ar e umidade relativa do ar de 17 estações meteorológicas automáticas pertencentes ao INMET.
- Séries históricas de 1992 a 2012 de precipitação de 163 estações meteorológicas pertencentes à ANA.
- Programas computacionais *ArcGIS*, versão 10.1, módulo *ArcMap* (ESRI, 2011), para o tratamento e análise dos dados e o pacote *Microsoft Office* 2007, módulos *Word* e *Excel*, para escrita e tabulação dos dados respectivamente.
- Dados *SRTM*, com resolução horizontal (resolução espacial) de 3 arcosegundos (aproximadamente 30 m) e resolução vertical de 1 m, foram obtidos através do projeto *TOPODATA* (VALERIANO, 2008), que oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional.
- Mapa de Solos em escala de 1:1.000.000 (EMBRAPA, 2008).
- *Shapefiles* disponibilizados pela ANA e GEOBASES.
- Pesquisa bibliográfica.

### 5.2. Metodologia

#### 5.2.1. Espacialização mensal das áreas com potencial agroclimático para a cultura do cafeeiro

O trabalho foi baseado na soma de mapas classificados (variáveis) de acordo com as zonas favoráveis ao desenvolvimento do café, ou seja, o potencial para o cultivo do cafeeiro, e multiplicados pelo peso, conforme o método *Analytical Hierarchical Process* (AHP) (SAATY, 1977), no qual as variáveis foram comparadas entre as mesmas com valores variando de 1 (igual importância) a 9 (importância extrema). E estes pesos foram obtidos por meio

de uma matriz par a par relacionando o nível de importância de uma variável para outra.

A escolha da ordem de importância das variáveis foi obtida a partir de um consenso entre pesquisadores da área de Meteorologia Agrícola e Agronomia da Universidade Federal de Viçosa.

As variáveis utilizadas para encontrar as áreas com potencial agroclimático para a cultura do cafeeiro estão listadas a seguir de acordo com o grau de importância e as suas respectivas metodologias seguem descritas a partir do tópico 5.2.2: temperatura do ar, precipitação, deficiência hídrica, saldo de radiação, tipo de solo, declividade, período chuvoso, períodos secos com veranicos e ferrugem do cafeeiro.

Cada variável citada foi classificada e recebeu notas com valor 1, 2 ou 3, que representa respectivamente o baixo, médio e elevado potencial ao cultivo do cafeeiro (Figura 5). A variável qualitativa (tipo de solo), foi classificada de acordo com as referências bibliográficas, já para as variáveis quantitativas, foi realizada análise estatística, na qual a média somada com o desvio padrão e a média subtraída do desvio padrão receberam classificação de alto potencial (Nota 3), o valor referente a metade do desvio padrão, acima ou abaixo dos limites de alto potencial, obtiveram classificação de médio potencial (Nota 2), e valores acima ou abaixo dos limites de médio potencial obtiveram classificação de baixo potencial (Nota 1). No caso da precipitação e período chuvoso, foi baixo potencial somente abaixo dos limites de médio potencial e a deficiência hídrica e período seco será o inverso, baixo potencial foi somente acima dos limites de médio potencial. O detalhamento da escolha destas notas segue na descrição da metodologia de cada variável (tópicos 3.2.2 a 3.2.9).

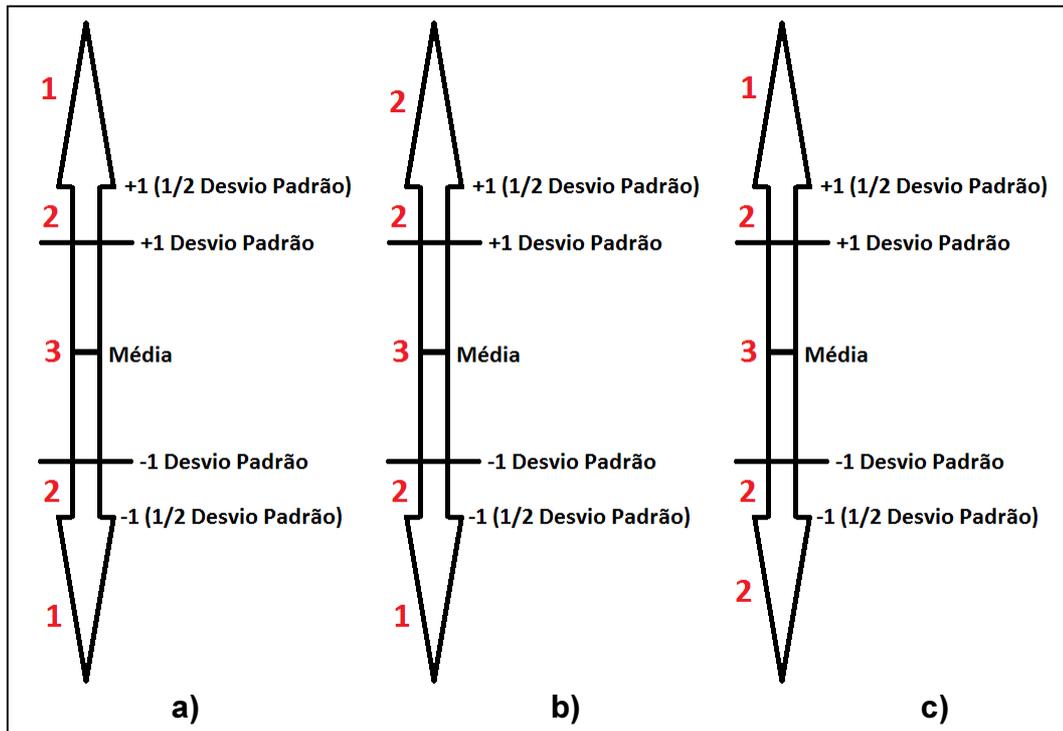


Figura 5 - Divisão estatística de Alto, Médio e Baixo Potencial ao cultivo do cafeeiro: (a) outras variáveis em questão; (b) precipitação e probabilidade de período chuvoso; e (c) deficiência hídrica e probabilidade de período seco.

Os valores atribuídos como médio potencial (Nota 2), acima do limite de  $+1$  (1/2 Desvio Padrão) ou abaixo do limite de  $-1$  (1/2 Desvio Padrão) em b) e c) respectivamente, foi devido ao fato de que o cafeeiro necessita de um período de seca antes da floração e colheita, ou seja, a precipitação excessiva neste caso não deve ser considerada ótimo (Nota 3). De forma semelhante a deficiência hídrica quando muito baixa também não pode ser considerada como ótimo para o cafeeiro, recebendo assim nota 2.

A matriz de comparação par a par ou matriz de decisão (Tabela 2) faz uso da escala fundamental de Saaty, em que se pode definir linearmente a hierarquia de importância (Tabela 3) entre as variáveis pré-definidas: Temperatura ( $X_1$ ), Precipitação ( $X_2$ ), Deficiência Hídrica ( $X_3$ ), Saldo de Radiação ( $X_4$ ), Tipo de Solo ( $X_5$ ), Declividade ( $X_6$ ), Período Chuvoso ( $X_7$ ), Períodos Secos com Veranico ( $X_8$ ) e Ferrugem do cafeeiro ( $X_9$ ).

Tabela 2 - Matriz de comparação entre as variáveis

Variáveis	X <sub>9</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>
X <sub>9</sub>	1	0,50	0,50	0,33	0,25	0,20	0,16	0,14	0,14
X <sub>8</sub>	2	1	0,50	0,33	0,25	0,20	0,16	0,16	0,50
X <sub>7</sub>	2	1	1	0,51	0,33	0,25	0,20	0,16	0,16
X <sub>6</sub>	3	2	2	1	0,50	0,33	0,25	0,2	0,20
X <sub>5</sub>	4	3	3	2	1	0,50	0,33	0,25	0,25
X <sub>4</sub>	5	4	4	3	2	1	0,50	0,33	0,33
X <sub>3</sub>	6	5	5	4	3	2	1	0,50	0,50
X <sub>2</sub>	7	7	6	5	4	3	2	1	1
X <sub>1</sub>	7	7	7	6	5	4	3	1	1

Tabela 3 - Grau de importância aplicado entre as variáveis

Valores	Importância mútua
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que
2, 3, 4, 6 e 8	Valores intermediários

Com base na distribuição dos valores na matriz a temperatura (X<sub>1</sub>) é "muito fortemente mais importante que" a ferrugem do café (X<sub>9</sub>) e a radiação (X<sub>4</sub>) é "fortemente mais importante que" a ferrugem do café (X<sub>9</sub>) e assim sucessivamente.

Depois da combinação dos mapeamentos das classes ambientais (X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub>, X<sub>5</sub>, X<sub>6</sub>, X<sub>7</sub>, X<sub>8</sub>, X<sub>9</sub>) com a metodologia proposta Saaty (1977), foi

desenvolvido o seguinte modelo de espacialização das áreas com potencial de desenvolvimento da cultura do café arábica (EPA) e da cultura do café conilon (EPC):

$$EP(A/C) = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + a_6X_6 + a_7X_7 + a_8X_8 + a_9X_9 \quad (1)$$

em que  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9$ , são os pesos, variando de 0 a 1, presentes na metodologia proposta por Saaty (1977).

Depois desta etapa calculou-se a Razão de Consistência (RC) a qual tem a função de verificar se os coeficientes são verídicos, devendo o valor resultante estar abaixo de 0,1.

Para elaboração da espacialização das áreas com potencial agroclimático para o desenvolvimento da cultura do café arábica (EPA) e para a cultura do café conilon (EPC), cada coeficiente do modelo foi multiplicado pela sua respectiva classe e posterior soma, por meio do aplicativo computacional *ArcGIS* 10.1.

### **5.2.2. Espacialização da temperatura ( $X_1$ )**

Para o estado do Espírito Santo, os dados meteorológicos de temperatura média mensal do ar, foram obtidos de 17 estações meteorológicas automáticas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sendo que destas, sete estão localizadas fora do Estado, tendo com objetivo minimizar o efeito de borda no processo de interpolação.

Considerando que os dados disponibilizados são horários, foram calculadas as médias diárias e a partir destas médias, as médias mensais de janeiro de 2008 a dezembro de 2012, totalizando cinco anos, obtendo, assim, a média da temperatura média do ar de cada mês durante os cinco anos. Esse período de tempo foi selecionado devido à interferência das mudanças climáticas na temperatura média do ar em anos anteriores.

Os mapas de temperatura média mensal do ar foram desenvolvidos a partir de equação de regressão linear múltipla, que segundo Sedyama e Melo Jr. (1998), se faz necessário, devido à temperatura média do ar ser dependente

da latitude e principalmente da altitude, não sendo possível obter o mapa de temperatura com boa exatidão somente por interpolação.

As equações de regressão linear múltipla mensal apresentam três variáveis sendo:

- Modelo digital de elevação (MDE) - A National Imagery and Mapping Agency (NIMA) e a National Aeronautics and Space Administration (NASA) foram as instituições responsáveis pela missão SRTM. Os dados de radar foram coletados no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000 (durante 11 dias), a bordo da nave espacial Endeavour. Nesse período, a nave realizou 16 órbitas diárias em torno da Terra, que correspondeu a 176 órbitas durante toda a missão. O propósito da missão SRTM é atuar na produção de um banco de dados digitais para todo o planeta, necessários na elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE) das terras continentais. Os dados foram produzidos para a região do planeta posicionada entre os paralelos 56°S e 60°N.
- Latitude: as latitudes dos locais de implantação das estações meteorológicas foram interpoladas originando o mapa de latitude.
- Longitude: as longitudes dos locais de implantação das estações meteorológicas foram interpoladas originando o mapa de longitude.

Assim a equação (2) representa a regressão linear múltipla para obtenção da temperatura média mensal do ar.

$$\gamma_i = \beta_0 + \beta_1 ALT + \beta_2 LAT + \beta_3 LONG + \varepsilon_i \quad (2)$$

em que  $\gamma_i$  = Temperatura Média Mensal (°C); ALT= Altitude (MDE) (m); LAT= Latitude (grau decimal); LONG= Longitude (grau decimal);  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = parâmetros da regressão; e  $\varepsilon_i$  = erro aleatório.

Os coeficientes estatísticos da equação de regressão linear múltipla foram calculados por meio do programa computacional *Microsoft® Office Excel* 2007.

Por meio das equações de regressão múltipla e dos mapas das variáveis da equação foram criados os mapas de temperatura média mensal do

ar, multiplicando os mapas das variáveis pelos referentes coeficientes estatísticos da equação com uso da função calculadora do aplicativo computacional *ArcGIS* 10.1.

Depois da elaboração dos mapas de temperatura do ar média mensal, estes foram reclassificados em baixo, médio e alto potencial, de acordo com as faixas de aptidão das fases fenológicas do café, buscando satisfazer as diferentes limitações e possibilidades climáticas, para a cultura do café, no estado do Espírito Santo.

Na revisão bibliográfica de trabalhos sobre zoneamento agroclimático do café conilon e arábica para o estado do Espírito Santo foram selecionados trabalhos dos seguintes autores: Pezzopane (2012), Rosemberg (2012) e CETCAF (1997), sendo o último um zoneamento agroecológico tanto para o café conilon quanto para o café arábica, com metodologias diferentes em todos os trabalhos, principalmente quanto as interpolações e limites das variáveis climáticas ótimas ao cultivo do cafeeiro.

Com base nos três mapas obtidos em literatura sobre zoneamento para o café conilon no estado do Espírito Santo, estes foram sobrepostos e foram extraídas as áreas comuns consideradas totalmente aptas nos três trabalhos, identificando, assim, a área "totalmente apta" comum aos três trabalhos, sendo então esta área definida como apta ao plantio do café conilon para o estado do Espírito Santo, ou seja, quando o clima é favorável ao plantio e cultivo do café conilon. O mesmo foi feito para delimitação das melhores áreas para cultivo do café arábica no estado do Espírito Santo.

Os mapas de temperatura média do ar para cada mês foram recortados sobre as áreas encontradas mais propícias ao cultivo do café conilon e arábica, resultando, assim, em mapas mensais de temperatura média do ar com limites ótimos ao cultivo do café conilon e arábica, sendo 12 mapas mensais de temperatura média do ar para o café conilon e 12 mapas mensais de temperatura média do ar para o café arábica.

Foram realizadas análises estatísticas sobre cada um, para então delimitar os intervalos de alto, médio e baixo potencial como enunciado acima.

### **5.2.3. Espacialização da precipitação ( $X_2$ )**

Os dados meteorológicos de precipitação pluvial média mensal foram obtidos a partir de 163 estações pluviométricas pertencentes à Agência Nacional das Águas (ANA), sendo que dessas, 46 estão localizadas em outros Estados, próximo às regiões limítrofes do Espírito Santo, tendo com objetivo principal minimizar o efeito de borda no processo de interpolação.

Os valores médios mensais foram obtidos com o auxílio do aplicativo computacional Hidro 1.2, desenvolvido e disponibilizado pela ANA. Os dados selecionados para o presente trabalho foram de janeiro de 1992 a dezembro de 2012, totalizando 20 anos, obtendo-se ao final a média da precipitação pluvial de cada mês ao longo desses anos. A ausência identificada nas médias mensais foi preenchida com a média das médias para o mês em questão.

Dada a importância do conhecimento sobre a distribuição espacial da chuva, foi feita a espacialização dos dados de precipitação pluvial para o estado do Espírito Santo. De posse das médias de cada mês, para cada estação pluviométrica, foi utilizado a interpolação segundo Pezzopane et al. (2012) que considera como melhor interpolador para a variável precipitação no estado do Espírito Santo o método da krigagem linear.

Com base nas áreas comuns de aptidão para o café conilon e arábica foram recortados mapas temáticos de precipitação pluvial média mensal, e foram reclassificados em baixo, médio e alto potencial, de acordo com a análise estatística em cada mês, sendo que regiões com maiores precipitações foram classificadas como de médio potencial, regiões com precipitações médias foram classificadas como de alto potencial e regiões com menores precipitações foram classificadas como de baixo potencial.

### **5.2.4. Espacialização da deficiência hídrica ( $X_3$ )**

O método do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955) foi utilizado para quantificar e definir melhor as disponibilidades hídricas climáticas.

Esse método considera o balanço contábil entre os dados mensais da precipitação pluvial e os da evapotranspiração potencial, que indicam as

necessidades de umidade pela vegetação, permitindo quantificar de forma bastante satisfatória as disponibilidades de umidade do solo no curso do ano. O balanço hídrico permite quantificar as deficiências hídricas. Indica também a duração e a intensidade dos excedentes hídricos, isto é, do excesso de água na estação chuvosa.

No presente trabalho, foi utilizado para o cálculo do balanço hídrico mensal, o valor de 125 mm como a capacidade de água disponível (CAD) conforme recomendações oriundas da reunião realizada no IAC em Campinas SP, no dia 12 de abril de 2000.

A partir dos dados de temperatura média mensal do ar (média mensal de cinco anos) e precipitação média mensal (média de 20 anos) de cada uma das 17 estações meteorológicas automáticas pertencentes ao INMET e com as 163 estações pluviométricas da ANA, os dados foram inseridos em planilha Excel para realização dos cálculos do balanço hídrico e, conseqüentemente, obtenção das estimativas de deficiência hídrica para cada mês. Por meio dos dados de deficiência hídrica, de cada mês de cada estação, foi realizada a interpolação por Krigagem esférica, segundo PEZZOPANE (2012).

Depois da criação dos mapas de deficiência hídrica mensal, os mapas temáticos (MT) foram recortados sobre as áreas comuns de aptidão para o café conilon e arábica e foram reclassificados em baixo, médio e alto potencial, de acordo com a análise estatística de cada mês, sendo que regiões com maiores deficiências hídricas receberam classificação de baixo potencial, regiões com deficiências hídricas médias receberam classificação de alto potencial e regiões com menores deficiências hídricas receberam classificação de médio potencial.

#### **5.2.5. Saldo de radiação ( $X_4$ )**

Para elaboração dos mapas mensais com as áreas de maior ou menor incidência de radiação, que podem satisfazer as diferentes limitações e possibilidades climáticas para a cultura do cafeeiro, foi considerado a distribuição da radiação estimada com base no algoritmo de espalhamento hemisférico proposto por Rich et al. (1994) e desenvolvida por Fu e Rich (2000 e 2002), por meio da ferramenta “Area Solar Radiation” do aplicativo

computacional ArcGIS 10.1, que utiliza, como entrada de dados, somente o Modelo Digital de Elevação (MDE). Nesse algoritmo, a quantidade total de radiação calculada para um local ou área particular é dada pela radiação global ( $R_g$ ).

Os mapas mensais de radiação foram elaborados por meio da ferramenta “Area Solar Radiation” do aplicativo computacional ArcGIS 10.1, em que a quantidade total de radiação calculada para um local ou área particular é dada pela radiação global ( $R_g$ ). A  $R_g$  foi calculada para cada mês em  $Wh/m^2$ . Esses valores foram convertidos em valores médios diários, dividindo cada mapa pela quantidade de dias do mês em questão, para comparação, em que cada mês apresenta número de dias diferentes entre os mesmos.

Os mapas com valores de radiação média mensal diária foram reclassificados em baixo, médio e alto potencial, de acordo com a análise estatística de cada mês.

#### **5.2.6. Espacialização da variável edáfica tipo de solo ( $X_5$ )**

O mapa de tipos de solos da Embrapa (1978), na escala de 1:400.000, para todo o estado do Espírito Santo, foi reclassificado em baixo, médio e alto potencial para áreas que satisfaçam as diferentes limitações e possibilidades, para a cultura do cafeeiro, de acordo com a nova classificação de solos da Embrapa (2011), conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação dos tipos de solos

Tipo de solo	Nota	Classificação
Afloramento de Rochas	1	Baixo Potencial
Água	1	Baixo Potencial
Argissolo Vermelho-Amarelo	3	Alto Potencial
Cambissolo Háplico	2	Médio Potencial
Chernossolo Argiluvico	3	Alto Potencial
Espodossolo Carbico	3	Alto Potencial
Gleissolo Melanico	1	Baixo Potencial
Gleissolo Salico	1	Baixo Potencial
Latossolo Vermelho	3	Alto Potencial
Latossolo Vermelho-Amarelo	2	Médio Potencial
Neossolo Flúvico	2	Médio Potencial
Neossolo Litólico	1	Baixo Potencial
Neossolo Quartzarenico	1	Baixo Potencial
Nitossolo Vermelho	3	Alto Potencial
Organossolo Háplico	3	Alto Potencial

### 5.2.7. Espacialização da variável topográfica declividade ( $X_6$ )

A partir dos dados de altimetria do MDE, foi gerado um mapa de declividade com valores percentuais para o estado do Espírito Santo, o qual foi reclassificado em baixo, médio e alto potencial, nas áreas que satisfaçam as diferentes limitações e possibilidades, para a cultura do cafeeiro. A reclassificação visou à mecanização, manejo e proteção do solo. Por outro lado, não levou em consideração fatores como a fertilidade e inundação.

Tabela 5 - Reclassificação da declividade

Declive	Faixa (%)	Nota	Classificação
Suave	0 a 2,5	3	Alto Potencial
Moderado	2,5 a 12	2	Médio Potencial
Forte	12 a 50	1	Baixo Potencial
Muito Forte	Acima de 50	1	Baixo Potencial

### **5.2.8. Espacialização da probabilidade de período chuvoso, seco e veranicos ( $X_7$ e $X_8$ )**

No presente trabalho, o limite considerado de precipitação diária entre dia chuvoso de dia seco foi, segundo Machado (1995) e Carvalho (2011) de 1 mm, ou seja, dias com precipitações abaixo de 1 mm foi considerado como seco e dias com precipitações acima ou igual a 1 mm foi considerado como chuvoso. A precipitação mínima de registro de um pluviômetro é de 0,1 mm, sendo que até 1 mm podem ser considerados pouco significativos sobre a fotossíntese e metabolismo do café. A partir deste valor, mesmo sendo abaixo da evapotranspiração diária, a precipitação pluvial passa a ter efeitos significativos na fotossíntese e metabolismo do café, pois a absorção foliar desta quantidade de água pode induzir, dependendo do estágio da planta, o florescimento. Zacharias (2007) verificou que precipitações mínimas de 1 a 3 mm induzem o florescimento do café arábica nos municípios de Campinas e Mococa no estado de São Paulo.

Filho et al. (1998) atribuem que a data de início do período chuvoso é variável, ocorrendo, na prática, com as primeiras chuvas de abril. O mesmo é válido para o final do período chuvoso. Assim, o período chuvoso é determinado, para cada ano, com início a partir do primeiro dia de abril em que ocorreu precipitação igual ou superior a 5,0 mm, até o último dia antes de 31 de julho em que tenham ocorrido tais condições.

Para determinação do início e fim do período chuvoso, foi utilizada a metodologia proposta por Machado (1995), em que o início da estação chuvosa é a data a partir de 1º de setembro, quando a precipitação acumulada em três dias consecutivos alcança, no mínimo, 20 mm, desde que não haja ocorrência de período seco nos 30 dias seguintes que exceda sete dias consecutivos, uma vez que as necessidades hídricas das plantas em períodos de até 10 dias podem ser satisfeitas pela água armazenada no solo.

O fim do período chuvoso tem início na data depois de 1º de março, na qual não ocorre chuva em um período de 20 dias consecutivos, tempo suficiente para que o produtor tome suas decisões sobre colheita, armazenagem e comercialização. Como citado anteriormente, foi considerado

como chuva, para todos os efeitos, a altura de água precipitada de pelo menos 1 mm.

Para definir o início e o final do período chuvoso, foi desenvolvido um programa que avalia a série de 1992 a 2002 (20 anos) das 183 planilhas, obtendo as 20 datas médias de início e fim do período chuvoso em dias julianos. Ao final as datas de início e final do período chuvoso, de cada estação pluviométrica, foram interpoladas pelo método do IDW com potência 3, resultando em um mapa de dias de início de período chuvoso e um mapa de final do período chuvoso, sendo que a partir destes foi calculado a média de cada mapa para, obtenção da data de início e fim do período chuvoso, que foram utilizadas para delimitar o intervalo de início e fim de veranico.

Na estimativa da probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos, foi utilizada a metodologia da cadeia de Markov, utilizada em diversos trabalhos citados anteriormente. As probabilidades (P) de ocorrência de dias secos (S) e chuvosos (C) foram estimadas pelas frequências de dias secos (FS) e de dias chuvosos (FC), conforme equações propostas por Robertson (1976) e Fietz et al. (1998):

$$P(S) = FS / (FS + FC) \quad (3)$$

$$P(C) = 1 - P(S) \quad (4)$$

Para determinação de veranicos, foi utilizada uma sequência de três dias secos, no período chuvoso conforme a equação:

$$P(S,S,S) = P(S) \times P(S/S)^{n-1} \quad (5)$$

em que  $P(S/S)$  = probabilidade de dia seco dado que o dia anterior também foi seco =  $FSS/FS$ ;  $FSS$  = frequência de dia seco dado que o dia anterior também foi seco; e  $n$  = período do veranico (3 dias).

Desse modo, no período chuvoso foi avaliado veranicos e não dias secos, sendo estes últimos avaliados para o restante do ano.

A frequência de dias chuvosos foi contabilizada por meio da contagem de dias com precipitação acima de 1 mm em cada mês dos anos de 1992 a

2012, sendo que a frequência de dias secos foi obtida a partir da subtração dos dias, do mês em questão, no período dos 20 anos. Como exemplo deve-se considerar o mês de janeiro, que no intervalo dos 20 anos apresentou 207 dias chuvosos. Logo, a quantidade de dias secos será 31, ou seja, os dias do mês de janeiro multiplicado por 20 anos, resultando em 620 dias do qual subtrai-se os 207 dias chuvosos. Assim o mês de janeiro terá uma frequência de 413 dias secos nos 20 anos em questão. Destaca-se que este procedimento foi realizado para cada uma das 163 estações pluviométricas disponibilizadas pela ANA.

A frequência de dia seco, dado que o dia anterior também foi seco (FSS), foi avaliada em cada mês por meio de fórmulas em planilha eletrônica Microsoft Excel.

De posse das frequências FC, FS e FSS, de cada mês, para cada estação, os dados foram interpoladas pelo método de Distância Inversa Ponderada ou Inverse Distance Weighted (IDW), com expoente 3, que mantém os limites dos intervalos das frequências.

A partir dos mapas de frequências FC, FS e FSS para cada mês, os valores dos mesmos foram inseridos nas equações de  $P(S)$ ,  $P(C)$  e  $P(S,S,S)$  como mencionadas anteriormente, mês a mês, resultando assim em mapas para cada mês, de probabilidade de dias secos  $P(S)$ , probabilidade de dias chuvosos  $P(C)$  e probabilidade de veranico  $P(S,S,S)$ . Em seguida, os mapas de probabilidades foram multiplicados por 100, para, então, transformar as probabilidades em porcentagem.

Após a elaboração dos mapas de dias chuvosos, estes foram reclassificados em baixo, médio e alto potencial, nas quais regiões com menores probabilidades de ocorrência de dias chuvosos receberam classificação de baixo potencial, regiões com probabilidades médias de ocorrência de dias chuvosos receberam classificação de alto potencial e regiões com maiores probabilidades de ocorrência de dias chuvosos receberão classificação de médio potencial. A condição inversa serviu para a reclassificação dos mapas de dias secos com veranicos.

### 5.2.9. Ferrugem do café (X<sub>9</sub>)

O zoneamento agroclimático para a ferrugem foi baseada na sobreposição de mapas, que caracterizam a temperatura média mensal do ar e a umidade relativa média mensal do ar, favoráveis ao desenvolvimento da ferrugem no estado do Espírito Santo.

Os dados meteorológicos de umidade relativa média mensal, de um período de cinco anos, foram obtidos das 17 estações meteorológicas automáticas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para elaboração dos mapas de umidade relativa média mensal, foi feita a interpolação dos dados de umidade relativa média mensal de cada estação meteorológica por meio do método de Distância Inversa Ponderada ou Inverse Distance Weighted (IDW), com expoente 3, que mantém os limites dos intervalos das frequências.

Os mapas de temperatura média mensal do ar obtidos a partir da metodologia descrita no tópico 5.2.2 e dos mapas de umidade relativa média mensal, foram reclassificados de acordo com as classes de favorabilidade climática da ferrugem do café (*H. vastatrix*) no estado do Espírito Santo (Tabela 6).

Estas classes foram definidas com base em dados epidemiológicos do efeito da temperatura média e umidade relativa do ar no desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro. Os limites de temperatura e umidade relativa do ar das classes de favorabilidade climática da doença foram definidos com base em relatos bibliográficos (MONTROYA; CHAVES, 1974; ZAMBOLIM, 1999; BOLDINI, 2001; MIRANDA, 2004).

Depois da reclassificação dos mapas de temperatura e umidade relativa nos intervalos referentes a cada classe, estes mapas foram combinados por intermédio da função de tabulação cruzada do aplicativo computacional *ArcGIS 10.1*, sendo o resultado da operação relacionado à classe de aptidão, originando o zoneamento climático para a ferrugem do café no estado do Espírito Santo. Feito isto, os zoneamentos foram reclassificados em alto, médio e baixo potencial (Tabela 6).

Tabela 6 - Classes de favorabilidade a ocorrência da ferrugem do cafeeiro em função dos intervalos de temperatura média do ar e umidade relativa

Classe	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Nota	Classificação
Altamente favorável	21 a 24	> 82	1	Baixo Potencial
Favorável	18 a 21 ou 24 a 27	75 a 82	1	Baixo Potencial
Relativamente favorável	15 a 18 ou 27 a 30	70 a 75	2	Médio Potencial
Desfavorável	< 15 ou > 30	< 70	3	Alto Potencial

### 5.2.10. Potencial agroclimático anual

Após a criação dos 12 mapas mensais de potencial agroclimático para o café conilon e dos 12 mapas mensais de potencial agroclimático para o café arábica, foi elaborada a média dos valores dos *pixels* dos mapas mensais de potencial agroclimático para o café arábica e conilon, gerando-se, então, média anual de potencial agroclimático ao plantio e cultivo do café conilon e arábica no estado do Espírito Santo.

### 5.2.11. Validação do potencial agroclimático para a cultura do cafeeiro

Os dados históricos de produção e rendimento do café conilon e arábica dos municípios do estado do Espírito Santo foram coletados no *site* do CETCAF (2013) (Tabela 1A do Anexo). A partir dos mesmos foi preparado o mapa de produção do café conilon e arábica e o mapa de rendimento do café conilon e arábica. Estes mapas foram sobrepostos aos mapas de potencial agroclimático médio anual, para então avaliar se as áreas com alto potencial apresentam maior produtividade e produção, e se as áreas com baixo potencial apresentam menor produtividade e produção, validando então o potencial agroclimático para o estado do Espírito Santo.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Espacialização da temperatura ( $X_1$ )

Elaborou-se para o estado do Espírito Santo, os mapas de temperatura a partir de regressão linear múltipla tendo como as variáveis de entrada somente altitude e latitude, uma vez que a longitude apresenta colinearidade com a latitude.

Assim, a variável longitude foi retirada da regressão linear múltipla. Desta forma eliminou-se a colinearidade e, portanto, qualquer interferência (influência) nas regressões que alcançaram ao final o valor médio de 0,88 para  $R^2$ .

Regressões lineares para os meses do ano:

- Janeiro:  $\gamma_{Jan} = 27,15 - 0,0055ALT + 0,029LAT \quad R^2 = 0,91$
- Fevereiro:  $\gamma_{Fev} = 25,72 - 0,0056ALT - 0,072LAT \quad R^2 = 0,90$
- Março:  $\gamma_{Mar} = 30,31 - 0,0056ALT + 0,19LAT \quad R^2 = 0,93$
- Abril:  $\gamma_{Abr} = 30,07 - 0,0055ALT + 0,24LAT \quad R^2 = 0,93$
- Maio:  $\gamma_{Mai} = 31,05 - 0,0047ALT + 0,41LAT \quad R^2 = 0,81$
- Junho:  $\gamma_{Jun} = 30,76 - 0,0054ALT + 0,44LAT \quad R^2 = 0,95$
- Julho:  $\gamma_{Jul} = 25,40 - 0,0058ALT + 0,17LAT \quad R^2 = 0,95$
- Agosto:  $\gamma_{Ago} = 26,66 - 0,0054ALT + 0,21LAT \quad R^2 = 0,86$
- Setembro:  $\gamma_{Set} = 28,41 - 0,0051ALT + 0,26LAT \quad R^2 = 0,77$
- Outubro:  $\gamma_{Out} = 28,99 - 0,0050ALT + 0,22LAT \quad R^2 = 0,76$
- Novembro:  $\gamma_{Nov} = 28,15 - 0,0051ALT + 0,17LAT \quad R^2 = 0,86$
- Dezembro:  $\gamma_{Dez} = 27,77 - 0,0050ALT + 0,078LAT \quad R^2 = 0,87$

As regressões foram incluídas na ferramenta calculadora do aplicativo computacional ArcGIS 10.1, gerando os mapas mensais de temperatura média do ar, conforme a Figura 1A do Apêndice.

O comportamento ao longo do ano da temperatura média mensal do ar no período de 2008 a 2012 segue conforme a Figura 6.

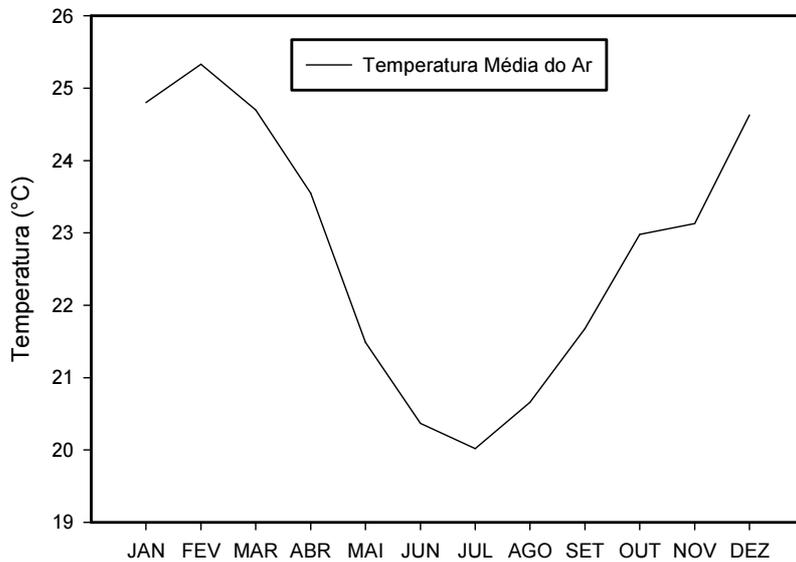


Figura 6 - Comportamento da temperatura média mensal do ar.

O mês de fevereiro apresenta maior temperatura média mensal com 25,33°C e o mês de julho apresenta a menor temperatura média mensal com 20,02°C.

As áreas totalmente aptas para o café conilon e arábica derivadas dos trabalhos de zoneamentos já executados para o estado do Espírito Santo (PEZZOPANE, 2012; ROSEMBERG, 2012; CETCAF, 1997), seguem conforme as Figuras 7 e 8, as quais tiveram as imagens processadas por digitalização em tela.

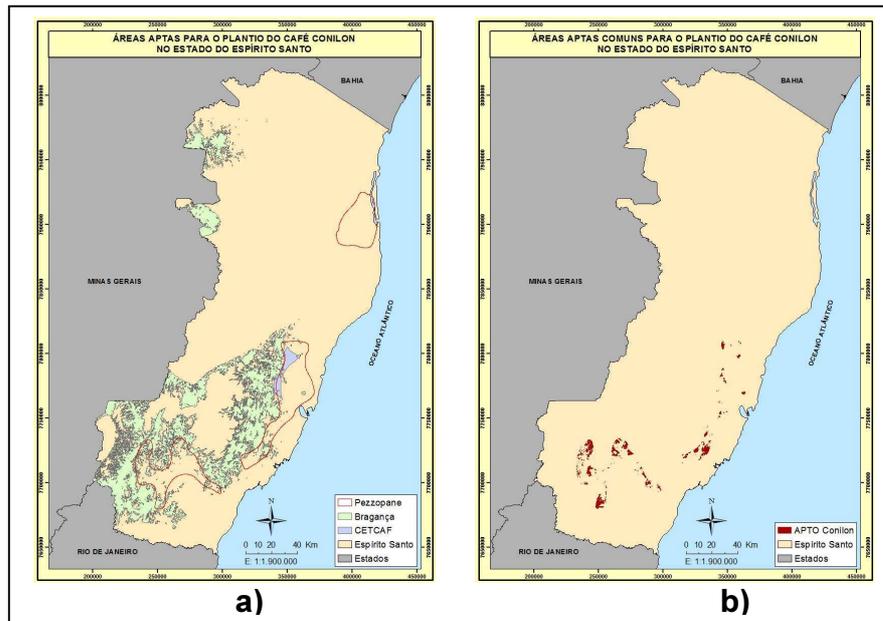


Figura 7 - As áreas totalmente aptas dos zoneamentos para o café conilon nos trabalhos avaliados: (a) e (b) demonstram o resultado das áreas comuns dos zoneamentos para o café conilon entre os três trabalhos avaliados.

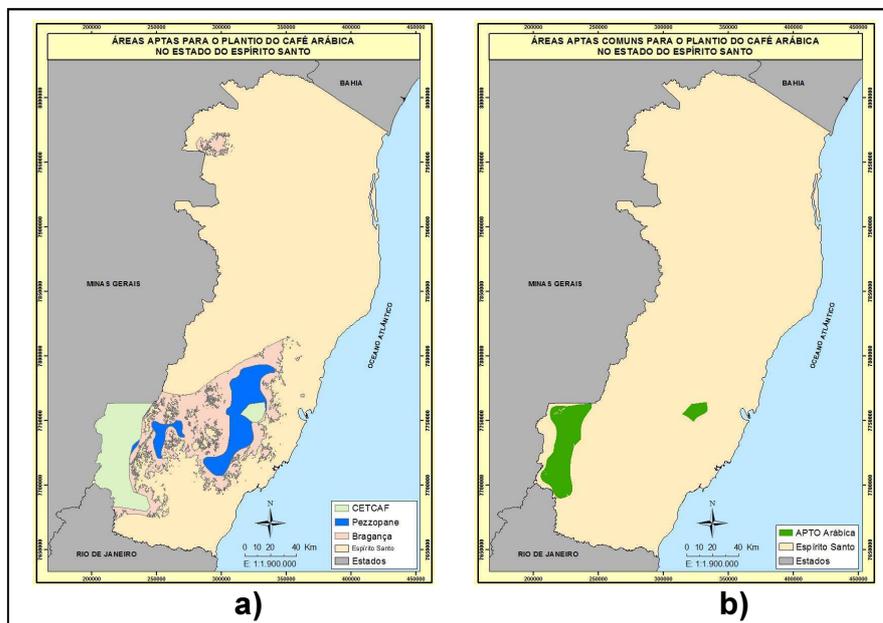


Figura 8 - As áreas totalmente aptas dos zoneamentos para o café arábica nos trabalhos avaliados: (a) e (b) demonstram o resultado das áreas comuns dos zoneamentos para o café arábica entre os três trabalhos avaliados.

As áreas comuns do zoneamento para o café conilon apresentam maior dispersão espacial sendo menor do que as áreas comuns resultante dos zoneamentos para o café arábica tal fase é devido provavelmente a diferença metodológica adotada pelos autores dos trabalhos.

Os mapas mensais de temperatura foram recortados sobre as áreas totalmente aptas comuns para o café conilon e arábica nos três trabalhos, ou seja, evidenciando as áreas excelentes ao plantio tanto do café arábica e conilon e que o clima destas áreas é ideal, podendo-se tomar como padrão para estipular os limites ótimos do cultivo do café conilon e arábica conforme as condições climáticas mensais avaliadas.

O recorte gerou 12 mapas de temperatura para o café conilon e 12 mapas de temperatura para o café arábica. Procedeu-se cálculos estatísticos de média e desvio padrão dos pixels de cada mapa, para então estimar os limites de alto, médio e baixo potencial. O desvio padrão, no caso da temperatura, foi obtido a partir das médias dos 12 mapas de temperatura, sendo igual a 1,99 para o café conilon e 1,97 para o café arábica, sendo os dois valores obtidos arredondados para 2. A seguir apresenta-se o exemplo para o mês de janeiro para o café conilon.

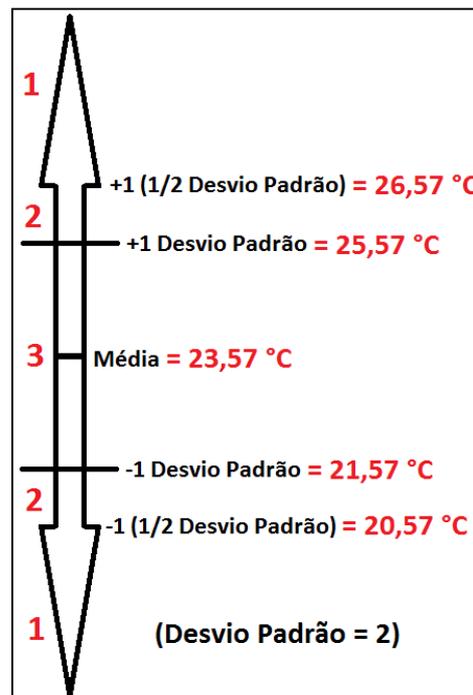


Figura 9 - Divisão dos limites de alto (3), médio (2) e baixo (1) potencial, da temperatura média do ar no mês de janeiro para o café conilon.

No mês de janeiro, para o café conilon, os limites de alto potencial (3) foram de 21,57°C a 25,57°C, para médio potencial (2) de 20,57°C a 21,57°C e 25,57°C a 26,57°C e para baixo potencial (1) abaixo de 20,57°C e acima de 26,57°C. Diante disto, cada mês passou a apresentar limites diferentes das classes de potencial.

As Tabelas 1A e 2A do Apêndice apresentam os resultados dos limites dos potenciais a partir da análise estatística dos dados, para o café conilon e arábica, com valores médios anuais de 19,42 a 23,42°C e 18,12 a 22,12°C respectivamente.

Pesquisadores como Matiello (1991) e Pereira et al. (2008) afirmam que a temperatura média anual ideal para o desenvolvimento do café conilon é de 22,5°C a 26°C respectivamente, sendo que, no presente trabalho, a média anual de alto potencial foi de 19,42°C a 23,42°C, porém, os meses de dezembro a março, se enquadram perfeitamente nos limites propostos por Matiello (1991) e Pereira et al. (2008).

Para o café arábica, Matiello (1991) e Pereira et al. (2008) afirmam que a temperatura média anual ideal para o desenvolvimento é de 18°C a 22,5°C e 18°C a 22°C, respectivamente. No presente trabalho, a média anual de alto potencial foi de 18,12°C a 22,12°C, com os meses de dezembro a março, extrapolando um pouco os limites propostos por Matiello (1991) e Pereira et al. (2008). Vale ressaltar que os intervalos obtidos citados anteriormente no presente trabalho são provenientes da análise de média e desvio padrão das variáveis climáticas das áreas selecionadas dos zoneamentos do café conilon e arábica para o estado do Espírito Santo segundo Pezzopane (2012), Rosemberg (2012) e CETCAF (1997).

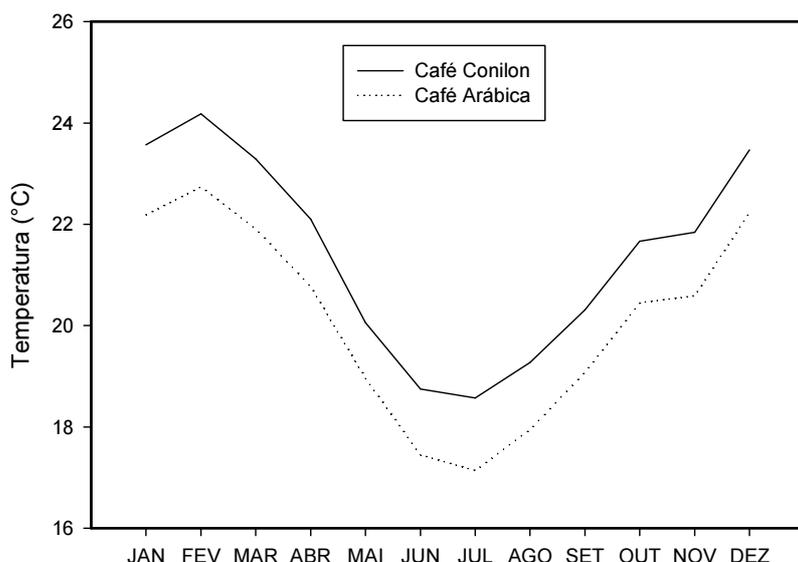


Figura 10 - Temperatura média mensal das áreas selecionadas com melhores características climáticas ao cultivo do café conilon e arábica.

A temperatura média dos meses das áreas selecionadas com as melhores características climáticas para o café conilon e arábica, seguem o comportamento ao longo do ano, porém as áreas para o café conilon apresentam maiores temperaturas.

Em resumo, tanto o café conilon quanto o café arábica, de acordo com a fase fenológica dos mesmos, necessitam de maiores ou menores temperaturas ao longo do ano, não possibilitando a definição de um intervalo ideal de temperatura anual.

Os mapas de temperatura classificados em alto, médio e baixo potencial seguem conforme as Figuras 2A e 3A do Apêndice.

Nota-se que o estado do Espírito Santo apresenta temperaturas mais compatíveis com os limites de temperatura estimados estatisticamente para a cultura do café conilon, tendo em vista que apresenta mais áreas verdes (alto potencial), do que áreas em vermelho (baixo potencial). Nota-se também que, as áreas com alto potencial ao cultivo do café conilon estão em média a Leste do Estado, já para o café arábica as áreas com alto potencial estão a Sudoeste do Estado, região esta com relevo de maiores altitudes e consequentemente menores temperaturas. A Figura 11 apresenta a comparação das áreas com

alto médio e baixo potencial da temperatura média mensal do ar para o café conilon.

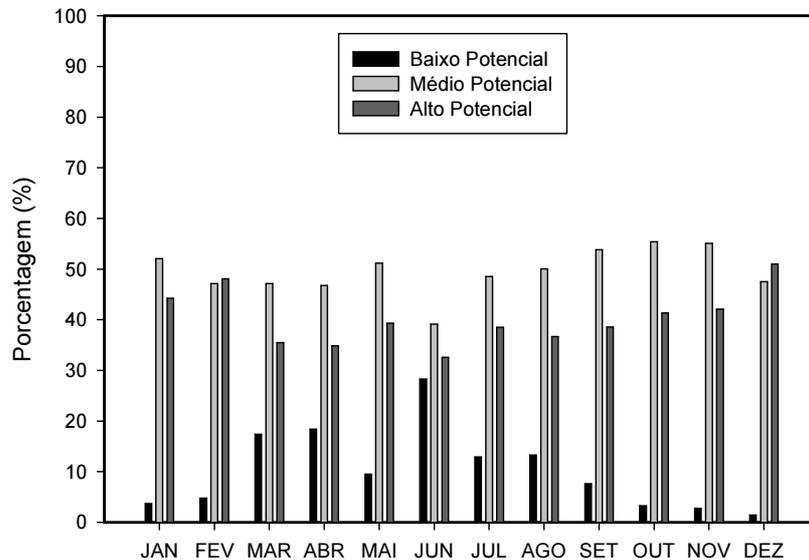


Figura 11 - Valores percentuais das áreas com temperatura média mensal do ar reclassificada para o café conilon para o estado do Espírito Santo.

A classificação de médio potencial em media apresenta maiores áreas em todos os meses, porém nos meses de fevereiro e dezembro a classificação de alto potencial apresenta maiores áreas do que as outras classificações com 48,11% e 51,02% respectivamente, o mês de junho apresenta maiores áreas entre a classificação de baixo potencial com 28,29% da área total, logo para a variável temperatura o mês de dezembro é o mais favorável e o mês de junho o menos favorável ao plantio e cultivo do café conilon. A Figura 12 apresenta a comparação das áreas com alto médio e baixo potencial da temperatura média mensal do ar para o café arábica.

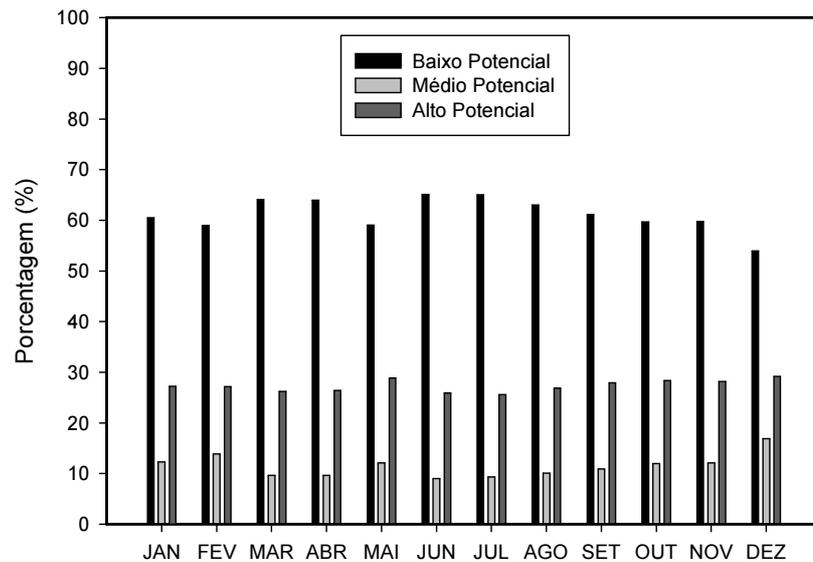


Figura 12 - Valores percentuais das áreas com temperatura média mensal do ar reclassificada para o café arábica para o estado do Espírito Santo.

A classificação de baixo potencial apresenta maiores áreas em todos os meses, o mês de dezembro apresenta maior classificação de alto potencial com 29,16% das áreas, já os meses de junho e julho apresentam maiores áreas entre a classificação de baixo potencial com cerca de 65% da área total, logo para a variável temperatura para o café arábica, o mês de dezembro é o mais favorável e o mês de junho e julho os menos favoráveis ao cultivo do café arábica.

## 6.2. Espacialização da precipitação ( $X_2$ )

Apesar de Pezzopane et al. (2012) recomendarem a krigagem linear como o melhor interpolador para precipitação pluvial no estado do Espírito Santo, adotou-se o IDW, com expoente 3, pelo fato deste apresentar maior coerência com os valores observados de precipitação, resultando então, para cada mês e cada estação pluviométrica, os mapas mensais de precipitação média (Figura 13).

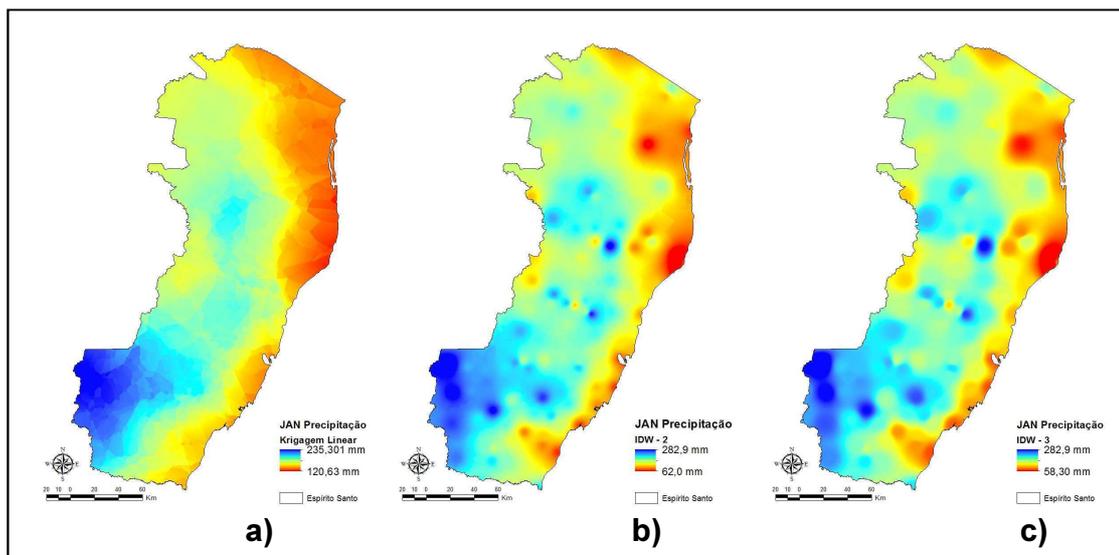


Figura 13 - Diferenças entre os métodos de interpolação para o mês de janeiro sendo: (a) Krigagem Linear, (b) IDW com potência 2 e (c) IDW com potência 3, para o estado do Espírito Santo.

Os valores de máxima e mínima precipitação do mês de janeiro entre as estações pluviométricas foram de 57,4 mm e 282,9 mm. Segue abaixo a imagem em que é possível identificar a diferença entre os três métodos de interpolação.

O método de IDW, com potência 2 apresentou-se maior proximidade com os valores máximos e mínimos reais, porém com áreas denominadas de ‘olhos de boi’, que aparecem também com o método IDW com potência 3. Porém, com valores de máximo e mínimo mais próximos do real com mínimo de 58,3 mm e máximo de 282,9 mm. No caso de precipitação o aparecimento de olhos de boi é aceitável, pois em uma região próxima da outra pode chover muito enquanto na outra pouco, isto vai depender se esta região apresenta algum fator que interfere na precipitação pluvial como citado anteriormente. Tal fato não é frequente com a temperatura na qual áreas próximas podem ter uma diferença pequena de temperatura, não sendo visíveis os “olhos de boi”.

Os mapas das precipitações médias mensais, desenvolvidos a partir da interpolação pelo método IDW com potência 3, com dados de precipitação de 163 estações pluviométricas, para o estado do Espírito Santo, podem ser observados na Figura 4A do Apêndice.

Nota-se que os maiores valores de precipitação ocorrem nos meses mais quentes (verão) e que nesses meses as áreas mais chuvosas encontram-se nas regiões de maior altitude do Estado (Sudoeste) e nos meses mais frios (inverno) as áreas mais chuvosas encontram-se na parte litorânea do Estado (Leste). Isto ocorre devido à ascensão das massas de ar quentes no verão, provocadas pelas encostas das montanhas, que, após esfriarem-se, condensam favorecendo a ocorrência de chuvas nas regiões de maiores altitudes e montanhas. Já no inverno, as nuvens no mar estão mais baixas e o ar mais frio, condensando a umidade proveniente do mar e precipitando próximo à região costeira. O comportamento ao longo do ano da precipitação média mensal do ar no período de 2008 a 2012 segue conforme a Figura 13.

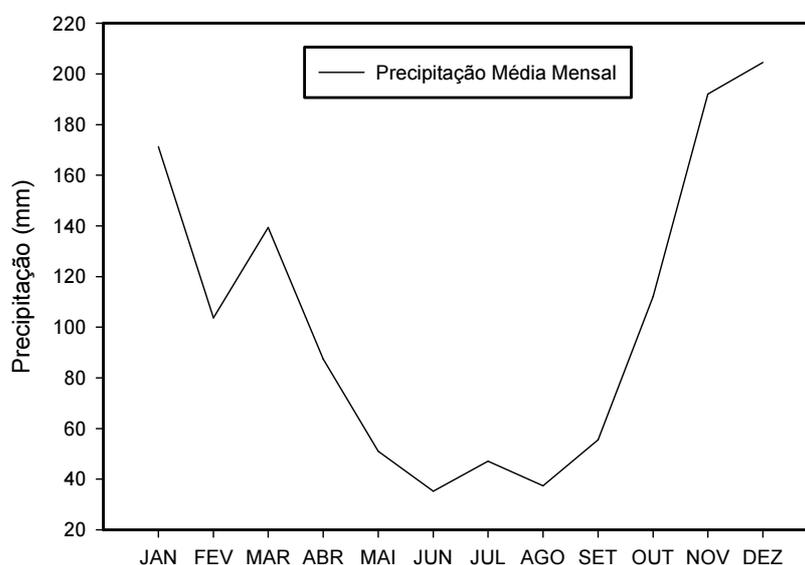


Figura 13 - Comportamento da precipitação média mensal.

O mês de dezembro apresenta maior precipitação média com 204,56 mm e o mês de junho apresenta menor precipitação média com 35,26 mm.

A partir dos mapas de precipitação média mensal, foram feitos recortes sobre as áreas comuns de aptidão para o café conilon e arábica e foram reclassificados como sendo baixo, médio e alto potencial, de acordo com a análise estatística de cada mês, sendo que regiões com maiores precipitações receberam classificação de médio potencial, regiões com precipitações médias

receberam classificação de alto potencial e regiões com menores precipitações receberam classificação de baixo potencial.

No caso da precipitação, utilizou-se o desvio padrão dos valores dos pixels de cada mês em questão, não sendo como na classificação da temperatura, em que o desvio padrão foi calculado a partir das médias dos meses.

A seguir é apresentado um exemplo da classificação da precipitação média do mês de janeiro para o café conilon (Figura 14).

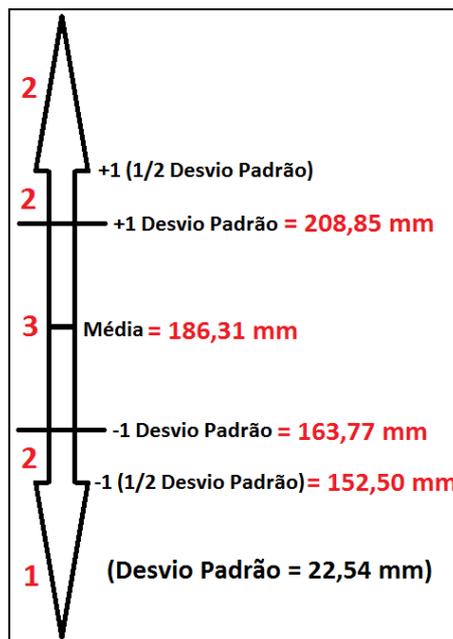


Figura 14 - Divisão dos limites de alto (3), médio (2) e baixo (1) potencial, da precipitação média no mês de janeiro para o café conilon.

A classificação da precipitação não possuiu valor de baixo potencial (1) acima de +1 (1/2 Desvio Padrão), pois valores elevados de precipitação não são tão prejudiciais ao desenvolvimento do cafeeiro. Todavia não é recomendado que seja enquadrado em alto potencial (3), logo, esse intervalo também apresenta classificação como médio potencial (2). Neste caso, os limites de alto potencial (3) foram de 163,77 mm a 208,85 mm, para médio potencial (2) de 152,50 mm a 163,77 mm e acima de 208,85 mm. O baixo potencial (1) foi considerado para valores abaixo de 152,50 mm.

Nas Tabelas 3A e 4A do Apêndice são apresentados os resultados dos limites dos potenciais de precipitação mensal a partir da análise estatística dos dados, para o café conilon e arábica

Thomaziello et al. (2000) e Matiello (1991) afirmam que precipitações pluvial anual ótimas ao cultivo do café conilon devem apresentar valores entre 900 e 1.000 mm. Logo, a classificação realizada que apresenta alto potencial está entre 1.229,36 mm a 1.594,58 mm, ou seja, pouco acima do proposto pelos mesmos. Todavia, a condição de baixo potencial que está abaixo de 1.100 mm, encontra-se pouco acima do proposto pelos autores. Isto ocorre provavelmente devido às altas precipitações distribuídas ao longo do ano no estado do Espírito Santo, deste modo, os valores obtidos estão mais alinhados com as características regionais do que com a realidade da cafeicultura do conilon.

Thomaziello et al. (2000) e Matiello (1991) afirmam que precipitações ótimas ao cultivo do café arábica ocorrem quando a precipitação pluvial do local é superior a 1.200 mm anuais. Considerando que a classificação de alto potencial está entre 1.234,44 mm a 1.693,60 mm, a mesma encontra-se em conformidade ao proposto pelos autores, porém, a condição de baixo potencial encontra-se abaixo de cerca de 1.100 mm.

Tanto para o café conilon quanto para o café arábica nota-se a redução na temperatura nos meses de menores demandas de água pelo cafeeiro, ou seja no período do inverno, antes da colheita, e em setembro, um pouco antes do florescimento, no período de hibernação. O comportamento da precipitação pluvial mensal ótima para o café conilon e arábica segue conforme a Figura 15.

A precipitação média dos meses das áreas selecionadas com melhores características climáticas para o café conilon e arábica, seguem quase que o mesmo comportamento ao longo do ano, porém as áreas para o café arábica, no geral, apresentam maiores valores de precipitações.

Os mapas de precipitação média mensal classificados em alto, médio e baixo potencial podem ser visualizados nas Figuras 5A e 6A do Apêndice.

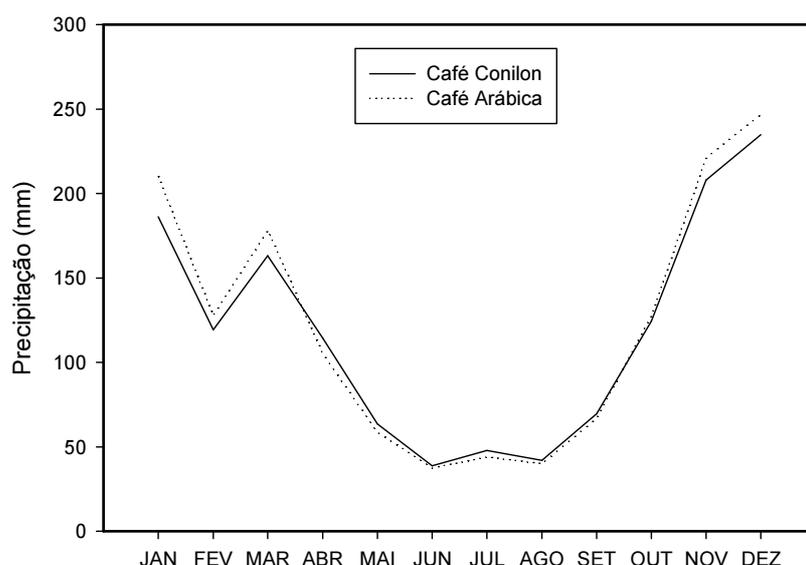


Figura 15 - Precipitação média mensal das áreas selecionadas com melhores características climáticas ao cultivo do café conilon e arábica.

Nota-se que o estado do Espírito Santo apresenta precipitações compatíveis com os limites de precipitações estimados estatisticamente nos meses de junho, julho e agosto, tanto para a cultura do café conilon quanto para o café arábica. Portanto apresentam mais áreas verdes (alto potencial), do que áreas em vermelho (baixo potencial). Isto ocorre devido esses meses apresentarem baixa precipitação pluvial e o desvio padrão ser alto em relação a este valor, classificando estas áreas com maior quantidade de alto e médio potencial. Este fato confirma que os meses de junho, julho e agosto possuem precipitações ideais para a cultura do cafeeiro, pois nestes meses de acordo com a fenologia da planta, ela necessita de menos água para favorecer uma boa colheita. A Figura 16 apresenta as áreas de precipitação pluvial reclassificada para o café conilon.

A classificação de baixo potencial apresenta maiores áreas nos meses de maiores precipitações, sendo o mês de abril o mês que apresenta maior quantidade de áreas de baixo potencial com 70,76%.

Os meses de junho, julho e agosto, apresentaram maiores áreas com alto potencial com 64,62%, 57,09% e 67,38% respectivamente, sendo que esses meses apresentaram menores precipitações.

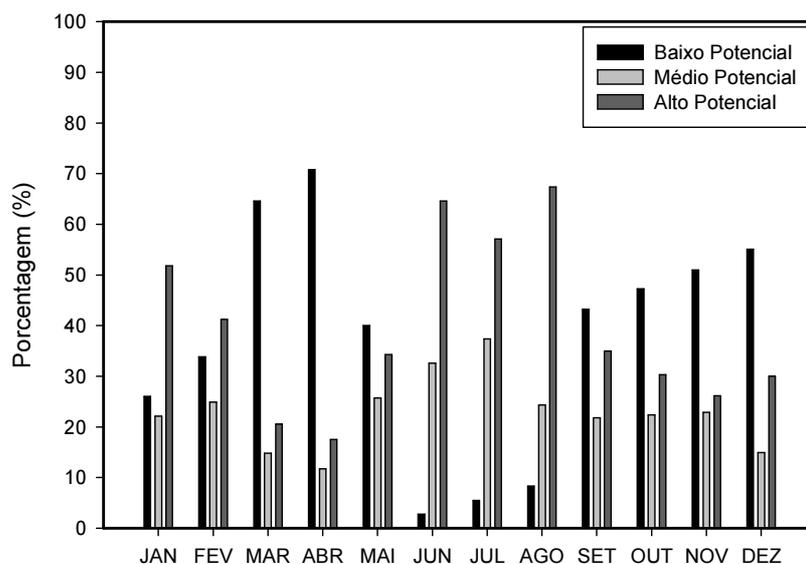


Figura 16 - Precipitação média mensal reclassificada para o café conilon, para o estado do Espírito Santo.

A Figura 17 apresenta as áreas de precipitação pluvial reclassificada para o café arábica.

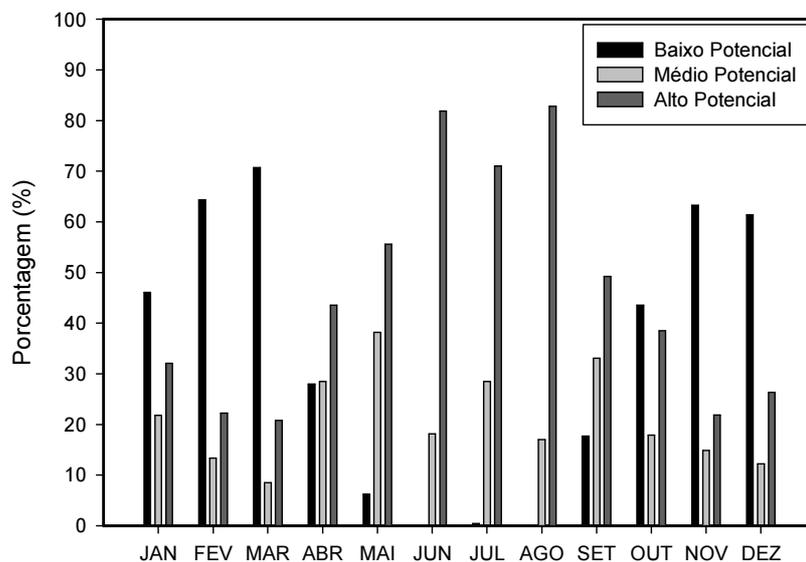


Figura 17 - Precipitação média mensal reclassificada para o café arábica, para o estado do Espírito Santo.

A classificação de baixo potencial apresenta maiores áreas nos meses de maiores precipitações, sendo o mês de março o mês que apresenta maior quantidade de áreas de baixo potencial com 70,68%, e maiores áreas de alto potencial nos meses de junho, julho e agosto, que apresentam menores precipitações, com 81,83%, 71,05% e 82,81% respectivamente.

O fato dos meses com maior precipitação possuírem maior quantidade de áreas com baixo potencial, ocorre devido à análise estatística da precipitação nas áreas selecionadas as quais apresentam características agroclimáticas ideais ao cultivo do café conilon e arábica, apresentar pequeno desvio padrão, e por estas áreas apresentarem alta precipitação, a média destas áreas é maior do que a média das precipitações mensais de todo estado do Espírito Santo.

Com a reclassificação somente as altas precipitações foram classificadas com alto potencial, ficando grande quantidade de áreas de baixa precipitação com classificação de baixo potencial. Dessa forma, quanto maior a precipitação do mês, maior a quantidade de áreas abaixo do limite especificado e conseqüentemente maiores áreas com baixo potencial. Lembrando que as variáveis climáticas de todo o Estado são comparadas com as variáveis climáticas das áreas selecionadas que apresentam características agroclimáticas ideais ao cultivo do café conilon e arábica.

### **6.3. Espacialização da deficiência hídrica ( $X_3$ )**

A partir dos dados de temperatura média do ar mensal (média mensal de cinco anos) e precipitação média mensal (média de 20 anos) de cada uma das 17 estações meteorológicas, estes foram inseridos em planilha Excel para realização dos cálculos do balanço hídrico e conseqüentemente obtenção dos dados de deficiência hídrica para cada mês. Por meio dos dados de deficiência hídrica de cada mês de cada estação, foi realizada a interpolação pelo método (IDW), com expoente 3, resultando então, nos mapas de deficiência hídrica mensal, apresentados na Figura 7A do Apêndice.

A deficiência hídrica segue os padrões da precipitação, de modo inverso, sendo maior no verão nas áreas litorâneas ao Norte do Estado e maior no inverno nas áreas montanhosas a Leste do Estado. Nos meses de

novembro e dezembro o estado do Espírito Santo não apresenta deficiência hídrica com valor de 0 mm para ambos os meses para todo Estado. A Figura 18 ilustra o comportamento da deficiência hídrica média mensal no período de estudo.

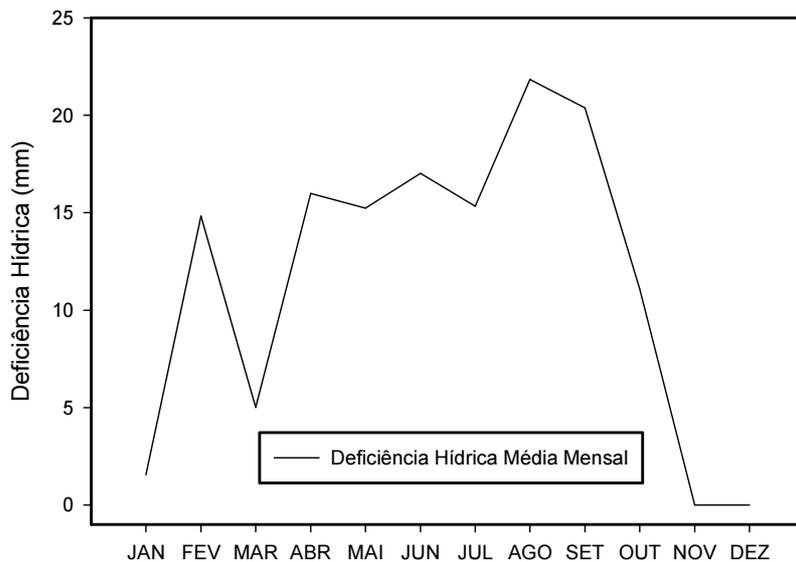


Figura 18 - Comportamento da deficiência hídrica média mensal.

O mês de agosto apresenta maiores valores de deficiência hídrica média com 21,84 mm e os meses de novembro e dezembro apresentam menores valores de deficiência hídrica média com 0 mm. O pico de deficiência hídrica no mês de fevereiro é devido redução de precipitação no mesmo mês.

A reclassificação em alto, médio e baixo potencial, foi realizada sobre os intervalos de valores resultantes do recorte sobre as áreas ideais segundo metodologias, e de acordo com a precipitação, em que o desvio padrão de cada mês foi somado ou subtraído da média do mês em questão da mesma forma que as metades do desvio padrão, sendo que abaixo de -1 (1/2 Desvio Padrão), foi atribuído 2. Os intervalos de alto, médio e baixo potencial do café conilon e arábica seguem de acordo com as Tabelas 5A e 6A do Apêndice.

Os intervalos de alto, médio e baixo potencial para a deficiência hídrica, de acordo com o mês, ultrapassam os valores de máximo e mínimo em razão de o desvio padrão do mês em questão apresentar maiores valores do que os

valores da média, porém na reclassificação não ocorre interferência destes intervalos, já que estes intervalos seguem de acordo com os valores máximos e mínimos dos pixels dos mapas de cada mês.

A Figura 19 ilustra o comportamento da deficiência hídrica média mensal das áreas com características climáticas ótimas ao cultivo do cafeeiro.

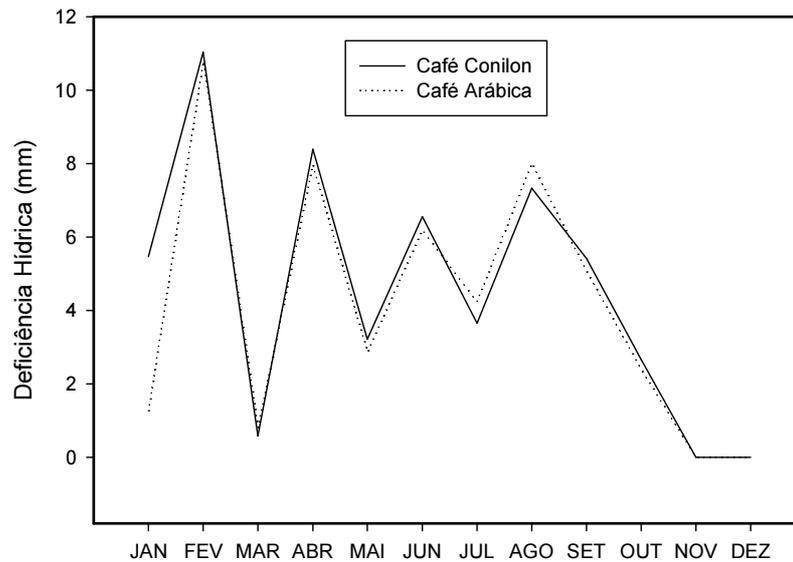


Figura 19 - Deficiência hídrica média mensal das áreas selecionadas com melhores características climáticas ao cultivo do café conilon e arábica.

A deficiência hídrica média dos meses das áreas selecionadas com melhores características climáticas para o café conilon e arábica, seguem quase que o mesmo comportamento ao longo do ano, porém as áreas para o café arábica no geral apresentam menor deficiência hídrica, apresentando maiores valores nos meses de julho a setembro.

Os mapas de deficiência hídrica média mensal, reclassificados em alto, médio e baixo potencial, seguem de acordo com as Figuras 8A e 9A do Apêndice.

Na maioria dos meses a região Norte do Estado apresenta deficiência hídrica de baixo potencial e a região Sudoeste alto potencial, estas áreas apresentam maiores precipitações e menores temperaturas respectivamente, tanto para o café conilon quanto para o café arábica. Os meses de novembro e

dezembro apresentam na totalidade classificação de alto potencial, devido ao fato de ser 0 mm a deficiência hídrica destes meses. A Figura 20 apresenta a comparação das áreas de deficiência hídrica média mensal reclassificada para o café conilon.

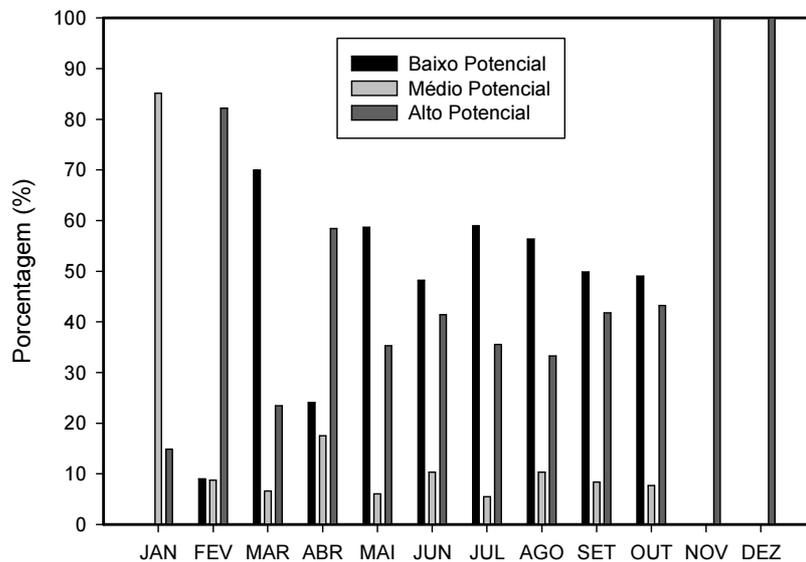


Figura 20 - Deficiência hídrica média mensal reclassificada para o café conilon, para o estado do Espírito Santo.

Os meses de novembro a janeiro não apresentam classificação de baixo potencial, sendo que os meses de novembro e dezembro não apresentam deficiência hídrica apresentando, portanto, somente alto potencial. Dentre todos os meses do ano, março é aquele que apresenta o maior percentual (69,92%) de área com baixo potencial.

A Figura 21 apresenta a comparação das áreas de deficiência hídrica média mensal reclassificada para o café arábica

A classificação de baixo potencial nos meses de novembro a janeiro é zero, enquanto que é maior no mês de maio com 69,60% das áreas, a classificação de alto potencial é maior nos meses de novembro e dezembro com 100% das áreas em ambos os meses, sendo que nestes meses não apresentam deficiência hídrica.

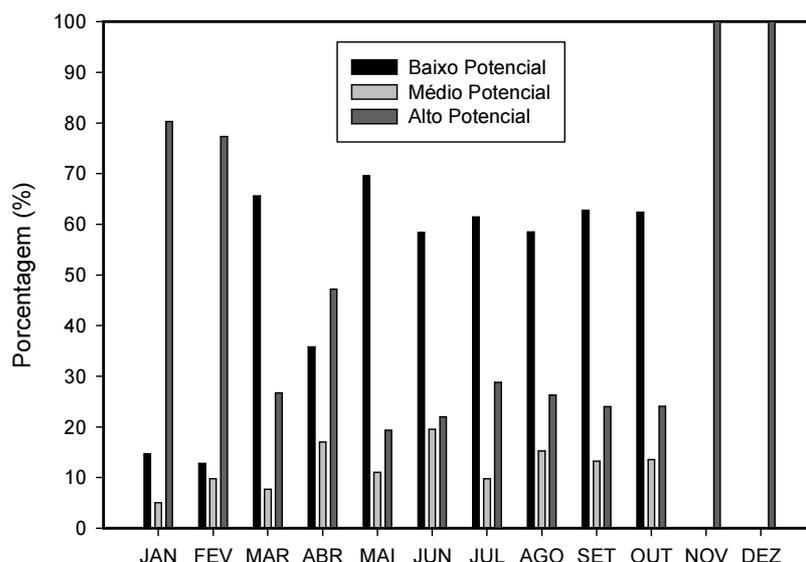


Figura 21 - Deficiência hídrica média mensal reclassificada para o café arábica, para o estado do Espírito Santo.

#### 6.4. Saldo de radiação ( $X_4$ )

Os mapas mensais de radiação elaborados por meio da ferramenta Area Solar Radiation do aplicativo computacional ArcGIS 10.1, são apresentados na Figura 10A do Apêndice.

As áreas com maiores índices de incidência de radiação são as áreas montanhosas do Estado, devido principalmente a quantidade de faces voltadas para o Norte, sendo denominadas também de faces soalheiras quentes mais precisamente de  $270^\circ$  a  $360^\circ$  que recebem radiação por quase todo o dia, já as faces noruegas frias, segundo Ferreira et al. (2012) de  $90^\circ$  a  $180^\circ$ , são sombreadas. Sendo dezembro e janeiro os meses com maior saldo de radiação global ( $R_g$ ) com valor máximo em torno de  $7.100 \text{ WH/m}^2$ . O comportamento da radiação média diária é ilustrado na Figura 22.

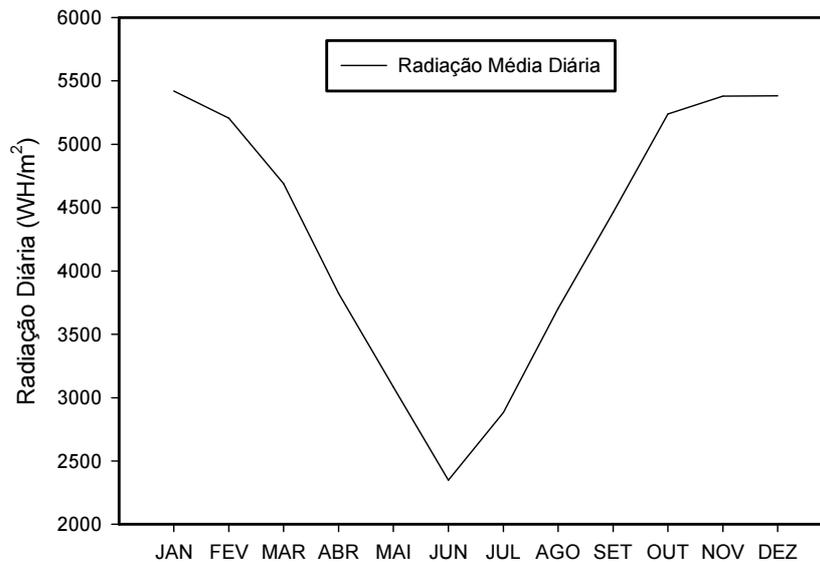


Figura 22 - Radiação média diária mensal.

A radiação média diária mensal segue a tendência da temperatura e precipitação, sendo maior no período do verão e menor no inverno, sendo maior no mês de janeiro com média diária de 5.419,84 Wh/m<sup>2</sup> e menor no mês de junho com uma média de 2.349,27 Wh/m<sup>2</sup>.

A classificação de alto, médio e baixo potencial, foi realizada conforme a precipitação média mensal, o desvio padrão de cada mês foi somado ou subtraído da média do mês em questão, da mesma forma nas áreas marginais com as metades do desvio padrão. Os mapas reclassificados em alto, médio e baixo potencial são apresentados na Figura 11A do Apêndice.

A diferenciação das classes comparadas aos meses é devido ao movimento aparente do sol nas estações do ano. Conforme o deslocamento do sol, a radiação solar é diferente entre os meses, recebendo, então, essas faces, maior ou menor quantidade de radiação. As áreas com classificação de baixo potencial são as que possuem maior e menor quantidade de radiação e coincidem com as faces soalheiras quentes de 270° a 360° e noruegas frias de 90° a 180°, respectivamente. Esta última recebe maior sombreamento prejudicando o desenvolvimento do cafeeiro. A Figura 23 ilustra o comportamento da radiação média diária mensal.

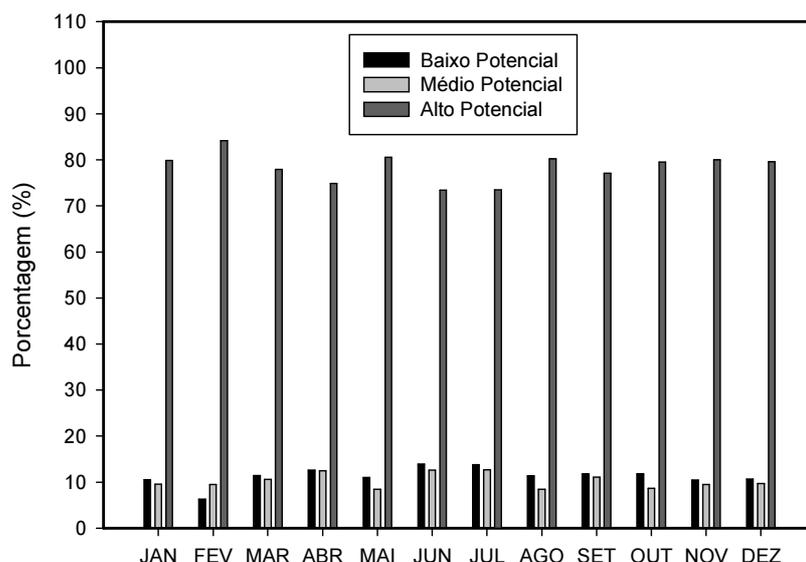


Figura 23 - Radiação média diária mensal reclassificada para o estado do Espírito Santo.

Todos os meses apresentam maiores valores de áreas com classificação de alto potencial, sendo o mês de fevereiro o que apresenta maior área com 84,15% das áreas, e o mês de junho com maiores áreas de baixo potencial com 13,94% das áreas.

### 6.5. Espacialização da variável edáfica tipo de solo ( $X_5$ )

A partir do mapa de solos da Embrapa (1978) na escala de 1:400.000 em arquivo *shapefile*, foi atribuído os valores de 1 a 3 (Tabela 7), para cada tipo de solo, em seguida o arquivo *shapefile* foi convertido em arquivo *raster* contendo os valores 1, 2 e 3, sendo baixo, médio e alto potencial respectivamente, conforme Figura 24.

A maior parte do Estado possui classificação de médio potencial, devido, principalmente, à grande quantidade de latossolo vermelho-amarelo presente no Estado, com baixo potencial na parte litorânea, formado por Neossolos e Gleissolos (Figura 25).

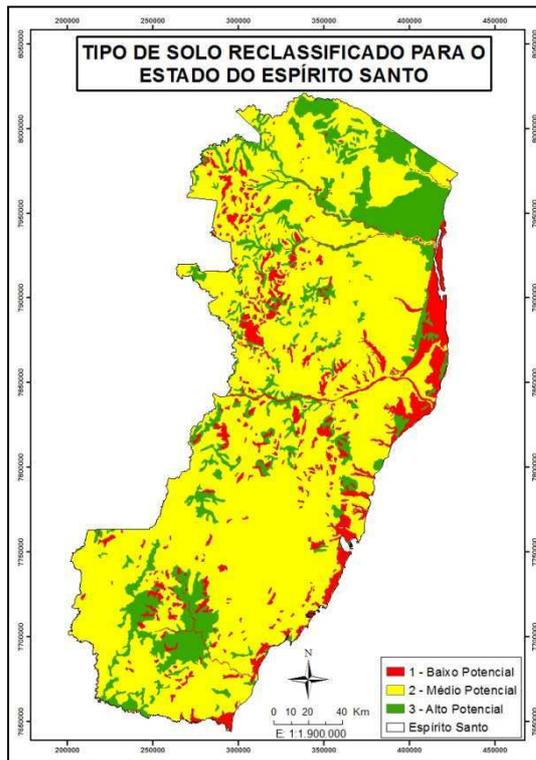


Figura 24 - Tipo de solo reclassificado para o estado do Espírito Santo.

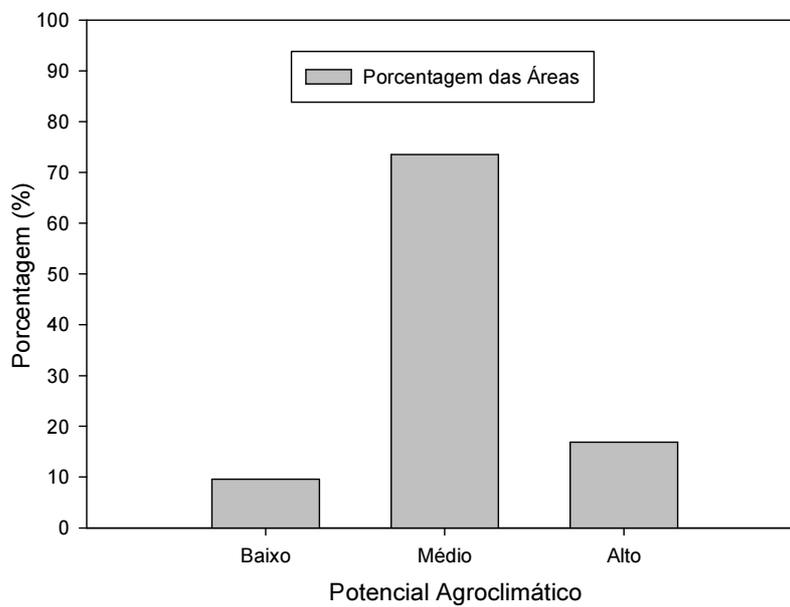


Figura 25 - Percentual das áreas com classificações de alto, médio e baixo potencial, da variável tipo de solo.

A classificação de baixo potencial apresenta 9,60% da área total do Estado, 73,49% da classificação de médio potencial e 16,89% da classificação de alto potencial.

### 6.6. Espacialização da variável topográfica declividade ( $X_6$ )

Nas Figuras 26 e 27 são apresentados mapas de declividade e declividade reclassificada de acordo com a Tabela 8. É possível observar que as áreas mais planas estão ao longo do litoral do Estado, e as áreas com maiores declividades na parte Oeste do Estado, principalmente a Sudoeste, onde se encontram as áreas mais altas do Estado.

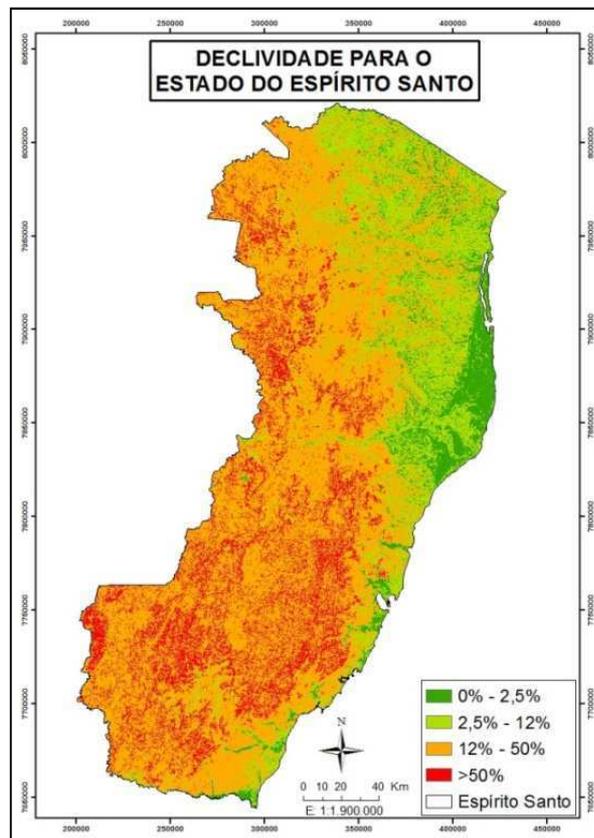


Figura 26 - Declividade para o estado do Espírito Santo.

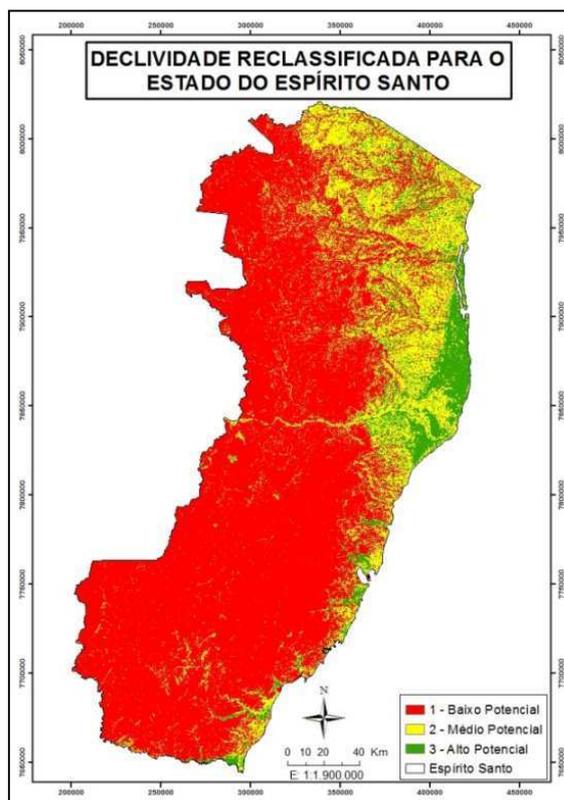


Figura 27 - Declividade reclassificada para o estado do Espírito Santo.

Em razão de o Estado possuir relevo bem ondulado, nota-se que a maioria das áreas possui declividade que dificulta o manejo e preparo do solo com maquinário agrícola.

A classificação de baixo potencial apresenta 72,34% da área total do Estado, contra 19,95% da classificação de médio potencial e 7,69% da classificação de alto potencial (Figura 28).

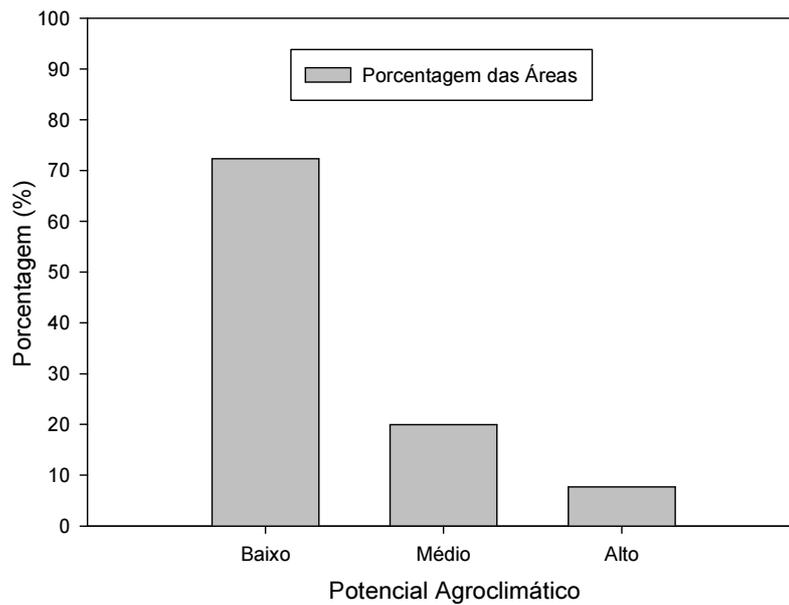


Figura 28 - Porcentagem das áreas das classificações de alto, médio e baixo potencial, da variável declividade.

### 6.7. Período chuvoso, seco e veranicos ( $X_7$ e $X_8$ )

De posse dos dados das frequências FC e FS, procederam-se as interpolações, gerando os mapas de frequências para cada mês. Esses dados foram inseridos nas Equações 3 e 4, para gerar os mapas de probabilidade de período chuvoso e probabilidade de período seco, respectivamente, sendo posteriormente os mapas de probabilidade multiplicados por 100 para converter a probabilidade em porcentagem (Figuras 12A e 13A do Apêndice).

As probabilidades acompanham o regime da precipitação pluvial do Estado, sendo que nos meses mais quentes de verão, as probabilidades de chuva são maiores, principalmente nas áreas montanhosas do Estado (Sudoeste) e nos meses mais frios de inverno, as probabilidades de período seco são maiores, apresentando menores valores na região litorânea do Estado.

O comportamento do período seco e chuvoso segue conforme a Figura 29.

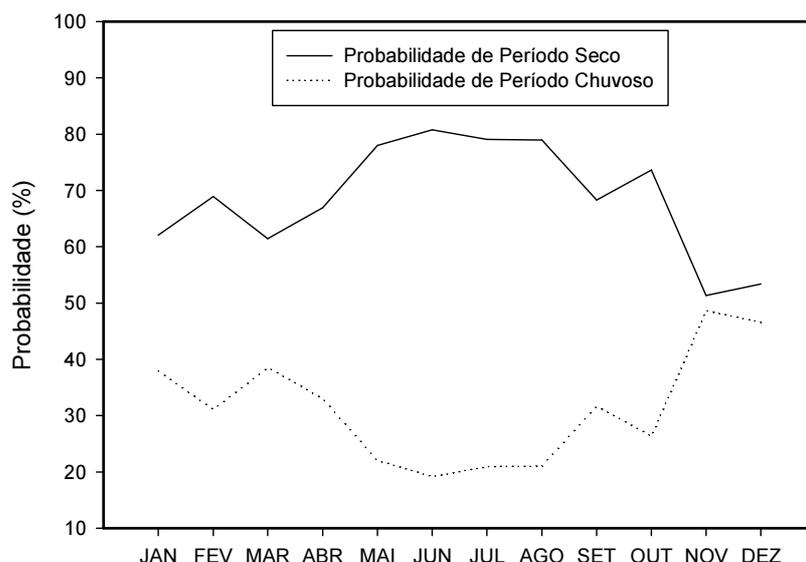


Figura 29 - Probabilidade de período seco e chuvoso para o estado do Espírito Santo.

O mês de novembro apresenta maior probabilidade de período chuvoso com 48,64% e conseqüentemente menor probabilidade de período seco com 51,36%, já o mês de junho apresenta menor probabilidade de período chuvoso com 19,19% e conseqüentemente maior probabilidade de período seco com 80,81%.

Para classificar as probabilidades em alto, médio e baixo potencial, foi realizada a média das médias mensais de probabilidade, resultando em 68,57% para período seco e 31,42% para período chuvoso, com um desvio padrão destas médias de 10 para ambas as probabilidades, logo foi selecionado o mês que mais se aproximasse dessas médias, sendo o mês de setembro, com média de 68,32% de probabilidade de período seco e 31,68% de probabilidade de período chuvoso, a partir disso foi feita a classificação dos outros meses tendo como referência o mês de setembro com o desvio padrão de valor 10.

Essa metodologia foi a melhor escolhida, pois se a classificação fosse feita conforme a precipitação, em que o desvio padrão de cada mês foi somado ou subtraído da média do mês em questão, não teria um padrão como ideal, já que entre os meses teria intervalos com valores diferentes de alto, médio e

baixo potencial. Se tomasse como referência o mês com maior probabilidade de período chuvoso e menor probabilidade de período seco, sendo neste caso o mês de agosto, os outros meses ficariam sempre com maiores classificações de baixo potencial, já que apresentariam sempre valores menores ou maiores de probabilidade de período chuvoso e seco respectivamente. Segue a classificação conforme a Figura 30.

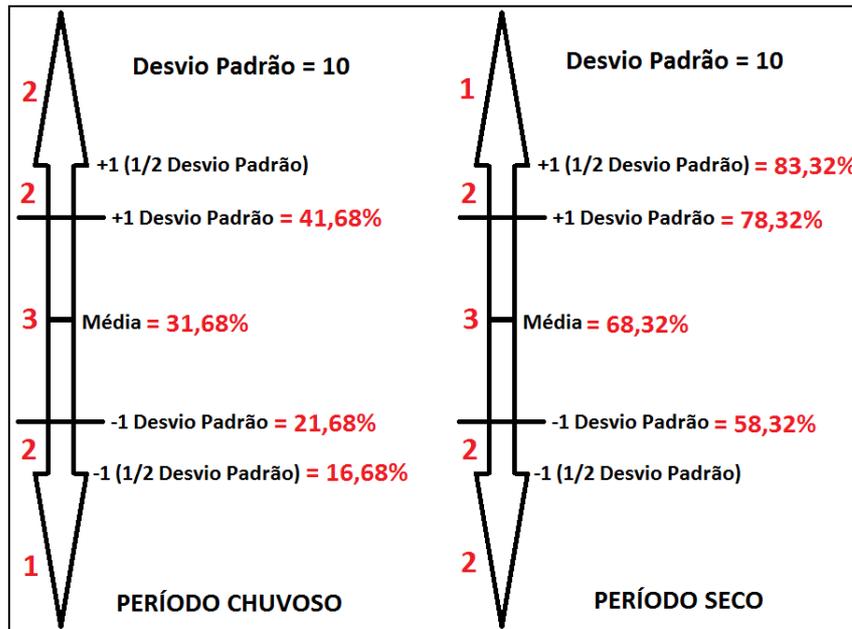


Figura 30 - Classificação de alto (3), médio (2) e baixo (1) potencial das probabilidades de período chuvoso e seco para o mês de setembro.

Todos os demais meses foram classificados conforme os valores da Figura 30, sendo que acima de +1 (1/2 Desvio Padrão), para período chuvoso, não há valor de baixo potencial (1), já que maiores probabilidades de chuva são benéficas à cultura do cafeeiro, da mesma forma inversa para período seco, onde não apresenta valor de baixo potencial abaixo de -1 (1/2 Desvio Padrão), pois probabilidades menores de período seco são benéficas à cultura do cafeeiro, portanto não apresenta valor de alto potencial (3), pois não é o ideal. Os mapas reclassificados seguem de acordo com as Figuras 14A e 15A do Apêndice.

Os mapas classificados de probabilidade de período chuvoso e seco são idênticos para cada mês, em razão de o período seco ser o complemento do período chuvoso, ou seja, as áreas com probabilidade de período chuvoso alto, conseqüentemente terão a probabilidade de período seco baixo. Assim, as áreas terão a mesma classificação de alto, médio e baixo potencial, pois para período chuvoso alto a classificação é de médio potencial (2) e para período seco baixo a classificação também é de médio potencial (2) (Figura 31).

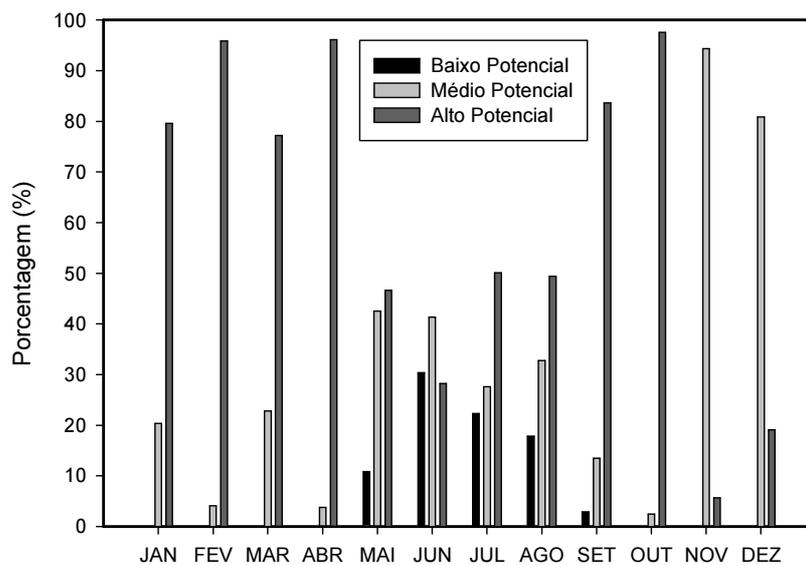


Figura 31 - Porcentagem das áreas de probabilidade mensal de período seco e de período chuvoso reclassificada em alto, médio e baixo potencial para o estado do Espírito Santo.

Os meses de maio a setembro apresentam valores muito baixos para probabilidade de período chuvoso e, conseqüentemente, valores muito altos para probabilidade de período seco, acarretando no aparecimento de áreas de baixo potencial.

O mês de julho apresenta o maior percentual de áreas com baixo potencial (22,30%) da área total do Estado, e o mês de outubro apresenta maiores áreas de alto potencial com 97,53% da área total do Estado. Os meses com maiores probabilidades de chuva e menores probabilidades de período seco apresentam maiores áreas de classificação de alto potencial, já os meses

com menores probabilidades de chuva e maiores probabilidades de período seco apresentam maiores áreas de classificação de baixo potencial.

Veranico é considerado um período seco na estação chuvosa, sendo, no presente trabalho, este período de três dias. Determinou-se, portanto, o início e fim do período chuvoso, para então determinar o período de veranico. Por meio do programa desenvolvido denominado de Veranico, foram encontradas as datas de início e fim do período chuvoso e depois da interpolação destas datas foi encontrado que, em média, o período chuvoso no estado do Espírito Santo se inicia na data de 304,63 em dias julianos sendo este 31/10 e encerra na data de 171,51 em dias julianos sendo este 20/06. O início do período chuvoso foi o dia 305 sendo 1/11, logo os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril, maio até 20 de junho, apresentarão veranico e, conseqüentemente, foi calculado a probabilidade do mesmo para esses meses, a partir de 21 de junho até 31 de outubro apresentarão período seco e conseqüentemente probabilidade do mesmo.

Para desenvolvimento dos mapas de probabilidade de período chuvoso, utilizou-se a frequência de um dia seco (FSS) dado que o dia anterior também foi seco. Que foi interpolada pelo método IDW com potência 3, resultando nos mapas mensais de frequência FSS. Em seguida foram divididos pelos mapas de FS para cada mês, resultando nos mapas mensais de  $P(S/S)$ , estes mapas foram incluídos na equação 5, juntamente com a  $P(S)$ , resultando nos mapas de probabilidade de veranicos  $P(S,S,S)$ , conforme Figuras 32 e 33.

O mês de junho apresenta maior probabilidade média, em razão de possuir a probabilidade de período seco de 10 dias, entre os meses que só apresentam veranico o mês de maio é o que possui maior probabilidade com 16,44%.

O mapa de  $P(S,S,S)$ , do mês de junho foi dividido por 30 e multiplicado por 20, para representar os 20 dias de veranico do mês. Da mesma forma, o mapa de período seco do mesmo mês foi dividido por 30 e multiplicado por 10, depois as probabilidades de veranico dos 20 dias foi somado com as probabilidades de período seco nos 10 dias, resultando na probabilidade do mês de junho, mês a qual apresenta no dia 20 a interseção entre período chuvoso e período seco.

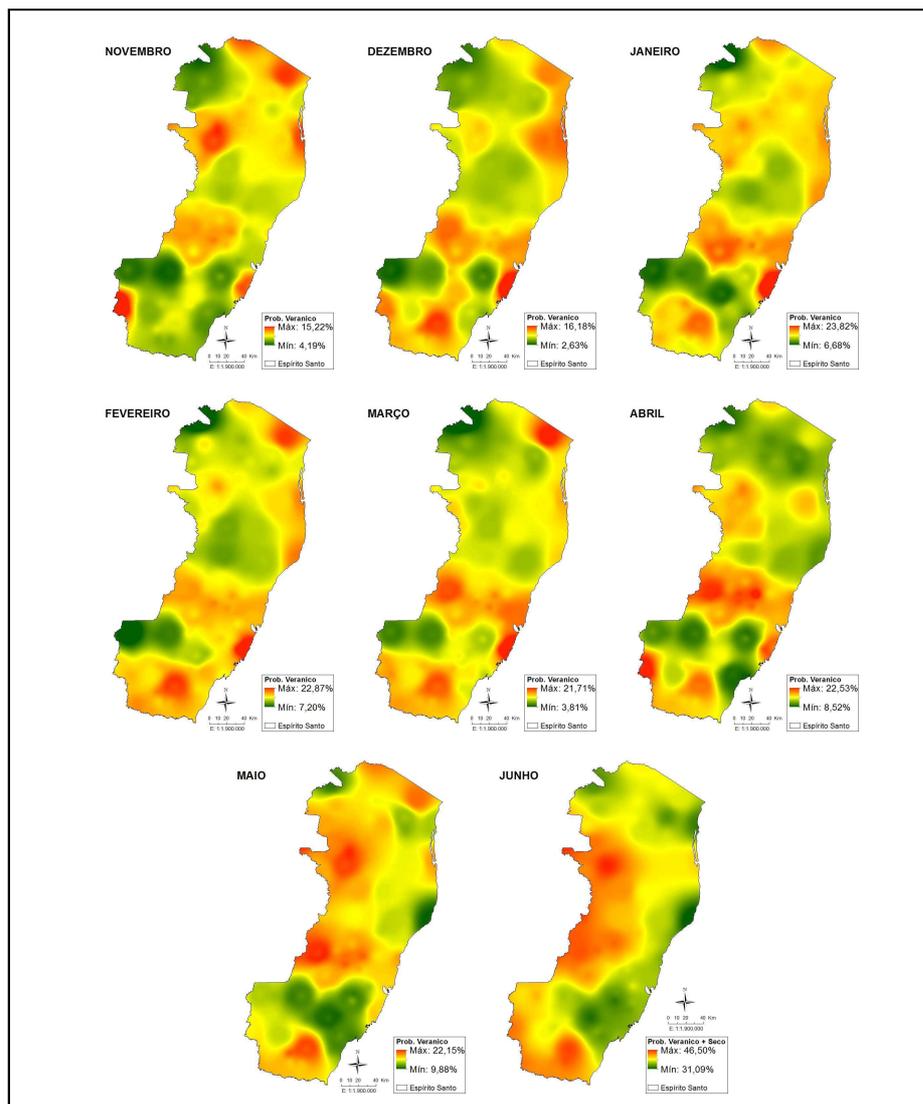


Figura 32 - Probabilidade de veranico para o estado do Espírito Santo.

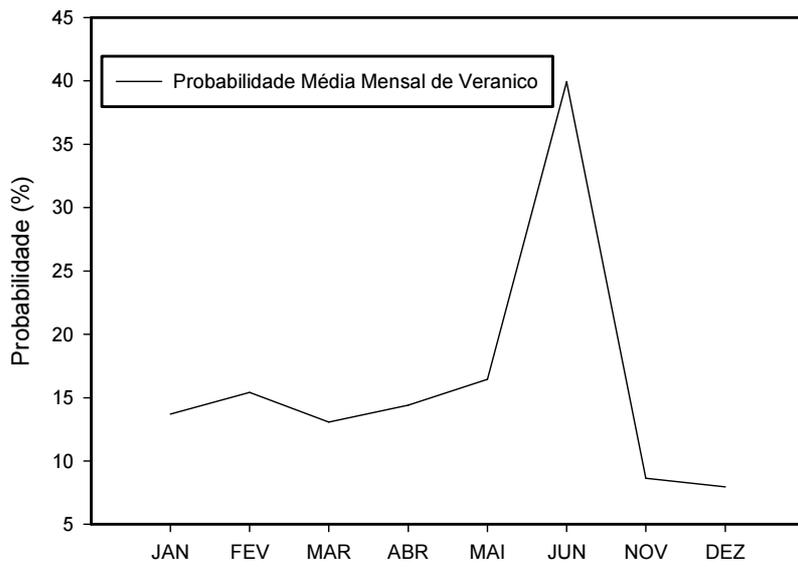


Figura 33 - Probabilidade média mensal de veranico para o estado do Espírito Santo.

Os mapas de probabilidade de veranico foram reclassificados em alto, médio e baixo potencial conforme a probabilidade de período seco citado anteriormente (Figuras 34 e 35).

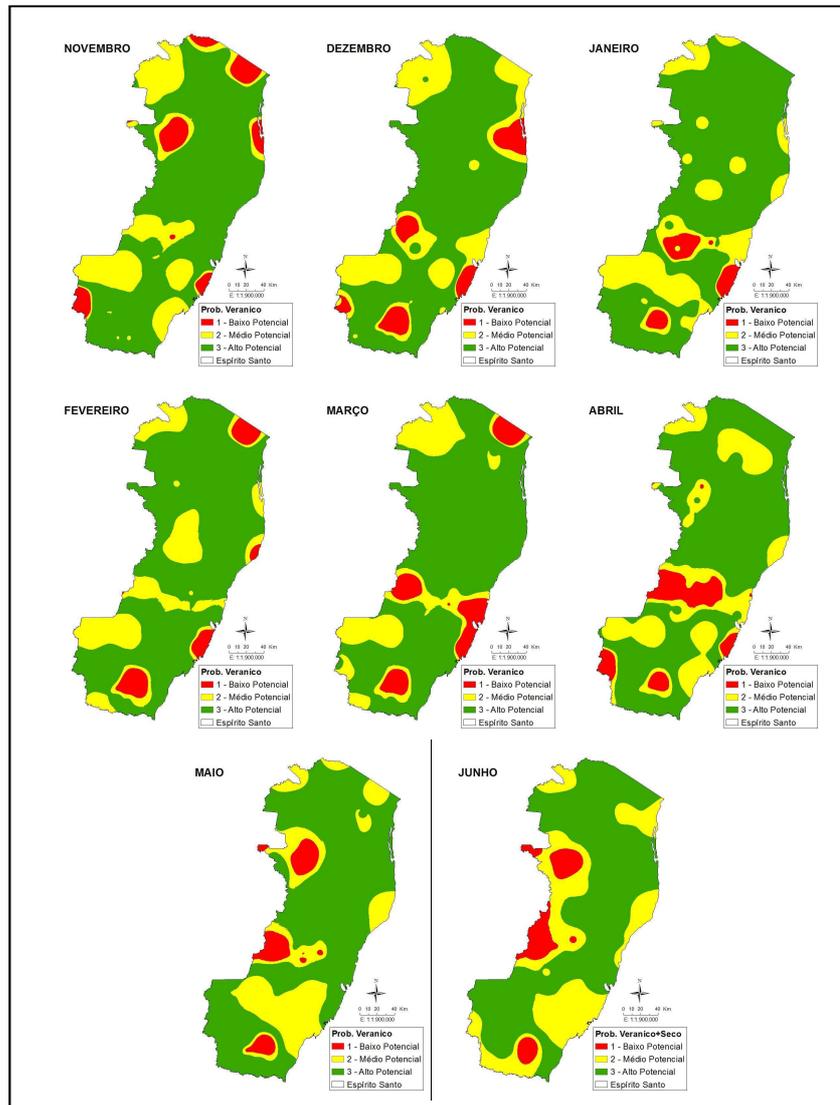


Figura 34 - Probabilidade de veranico reclassificado em alto, médio e baixo potencial, para o estado do Espírito Santo.

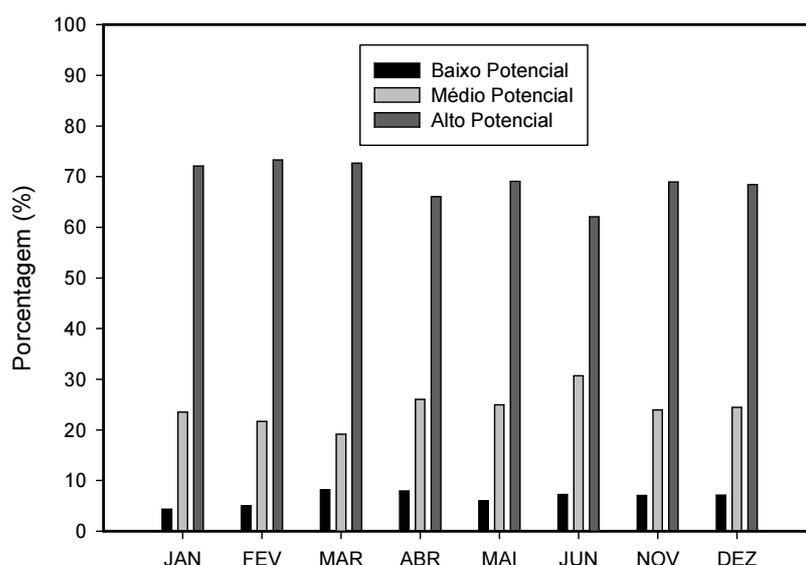


Figura 35 - Porcentagem das áreas de probabilidade de veranico reclassificado em alto, médio e baixo potencial, para o estado do Espírito Santo.

O mês de abril apresenta maior área referente ao baixo potencial com 7,97% da área total do Estado; já o mês que apresenta maior área dentre a classificação de alto potencial é fevereiro com 73,31% da área total do Estado. Logo, os mapas do período seco e veranico, utilizados no mapeamento final, estão apresentados na Figura 16A do Apêndice.

### 6.8. Ferrugem do café ( $X_9$ )

Com os dados de umidade relativa média mensal e depois da interpolação pelo método de Distância Inversa Ponderada ou Inverse Distance Weighted (IDW), com expoente 3, que mantém os limites dos intervalos das frequências, foi gerado os mapas de umidade relativa média mensal conforme Figura 36 e Figura 17A do Apêndice.

O mês de abril apresenta maiores valores de umidade relativa média mensal no valor de 80,17% e o mês de setembro apresenta menor valor de umidade relativa média mensal de 71,67%.

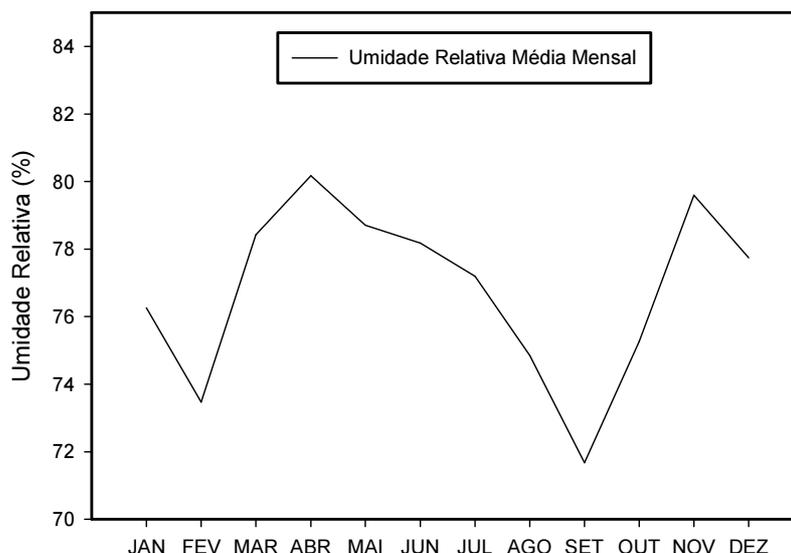


Figura 36 - Marcha da umidade relativa média mensal para o estado do Espírito Santo.

Com os mapas de umidade relativa média mensal e os mapas de temperatura média mensal do ar gerados a partir da metodologia descrita no tópico 5.2.2., foi feita a reclassificação de acordo com as classes de favorabilidade climática da ferrugem do café (*H. vastatrix*), no estado do Espírito Santo. Com base na Tabela 9, os mapas foram sobrepostos, gerando então os mapas de zoneamento climático para a ferrugem do cafeeiro (Figura 37).

Os meses de junho a setembro, por apresentarem menores temperaturas e, conseqüentemente, menor umidade relativa, são menos favoráveis à ferrugem do cafeeiro (Figura 38).

Para a classe de altamente favorável o mês de junho apresenta 0% de áreas enquanto que novembro é o mês com maior área (4,16%) da área total. Para a classe desfavorável o mês de dezembro apresenta 0,05% de áreas enquanto que junho é o mês com maior área desta classe, com 54,44% da área total.

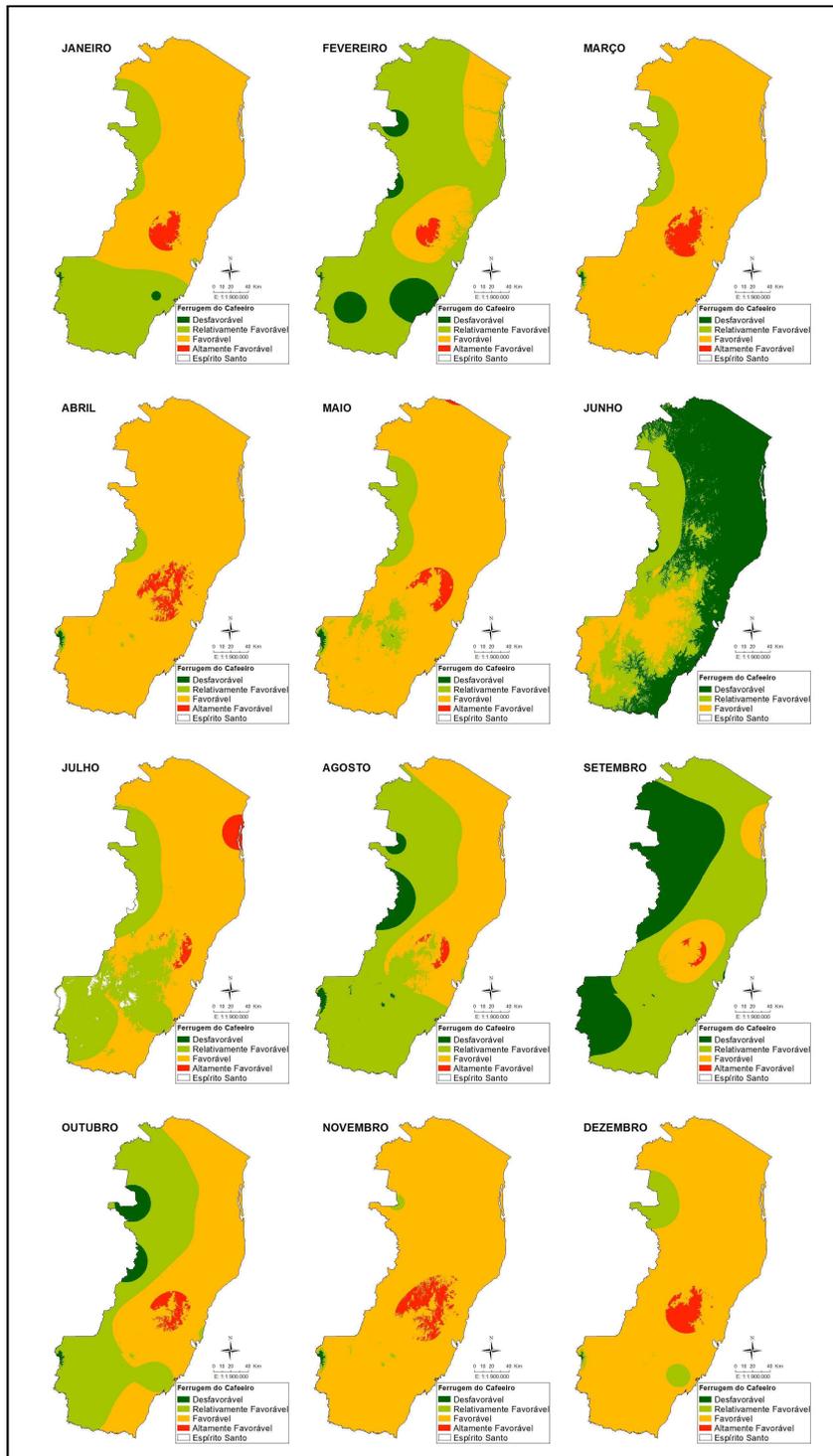


Figura 37 - Zoneamento climático para a ferrugem do cafeeiro, para o estado do Espírito Santo.

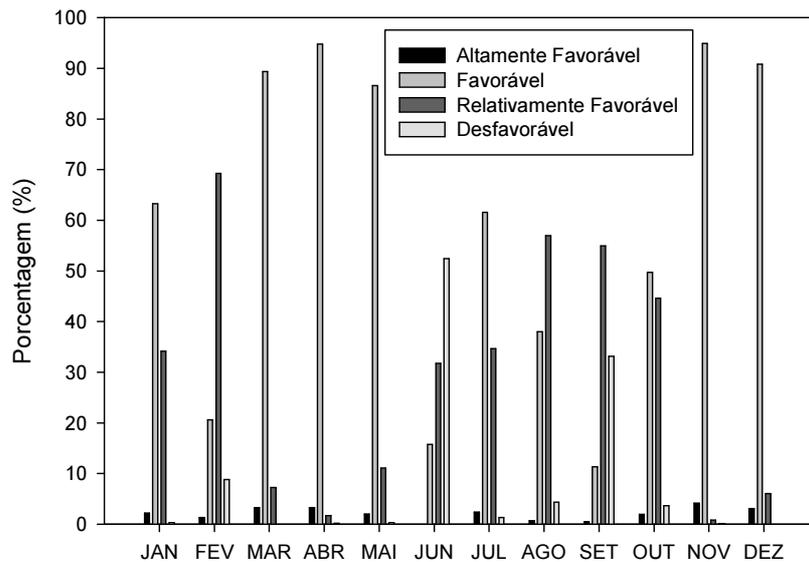


Figura 38 - Porcentagem das áreas das classes do zoneamento climático para a ferrugem do cafeeiro, para o estado do Espírito Santo.

Os zoneamentos foram reclassificados em alto, médio e baixo potencial para o cultivo do cafeeiro, sendo que as áreas altamente favorável e favorável receberam classificação de baixo potencial (1), enquanto que as áreas relativamente favoráveis receberam a classificação de médio potencial (2) e as áreas desfavoráveis com classificação de alto potencial (3). Os mapas reclassificados são apresentados na Figura 18A do Apêndice e na Figura 39 a seguir.

Na maioria todos os meses apresentam maiores áreas com classificação de baixo potencial, porém nos meses de junho e setembro apresentam poucas áreas de baixo potencial, sendo que esses meses apresentam mais áreas com classificação de alto potencial com 52,44% e 33,18% da área total, respectivamente.

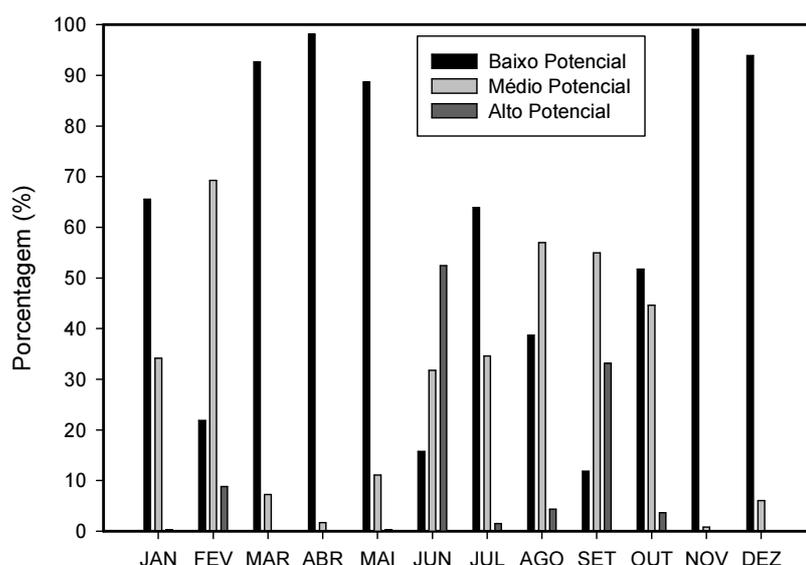


Figura 39 - Porcentagem das áreas do zoneamento climático para a ferrugem do cafeeiro reclassificado em alto, médio e baixo potencial, para o estado do Espírito Santo.

### 6.9. Espacialização mensal das áreas com potencial agroclimático para a cultura do cafeeiro

Por meio dos elementos meteorológicos temperatura, precipitação pluvial, deficiência hídrica, radiação, tipo de solo, declividade, período chuvoso, período seco com veranico e zoneamento da ferrugem, reclassificadas em alto, médio e baixo potencial ao cultivo do cafeeiro, estas foram inseridas na matriz de comparação conforme o grau de importância de uma variável para outra segundo o método AHP, para então calcular os pesos de cada variável (Tabela 6).

A razão de consistência (RC), que verifica se as variáveis foram corretamente comparadas de acordo com o grau de importância, deve apresentar valor menor que 0,1, sendo que para o presente trabalho o valor obtido foi de 0,0216, afirmando a consistência dos graus de importância de cada variável.

Tabela 6 - Pesos das variáveis

Variável	Peso
Temperatura ( $X_1$ )	0,2495
Precipitação ( $X_2$ )	0,2495
Deficiência Hídrica ( $X_3$ )	0,1683
Radiação ( $X_4$ )	0,1143
Tipo de Solo ( $X_5$ )	0,0769
Declividade ( $X_6$ )	0,0512
Probabilidade Período Chuvoso ( $X_7$ )	0,0335
Probabilidade Período Seco e Veranico ( $X_8$ )	0,0335
Zoneamento Ferrugem do Cafeeiro ( $X_9$ )	0,0233
Total	1,0000

De posse dos pesos e suas respectivas variáveis, estes foram inseridos na Raster Calculator do aplicativo computacional ArcGIS 10.1 conforme a equação 6.

$$EP(A/C) = 0,2495X_1 + 0,2495X_2 + 0,1683X_3 + 0,1143X_4 + 0,0769X_5 + 0,0512X_6 + 0,0335X_7 + 0,0335X_8 + 0,0233X_9 \quad (6)$$

As variáveis tipo de solo e declividade se mantêm constante para o cálculo de todos os meses, as outras variáveis são divididas por mês, cada mês é inserido na equação 6 para resultar no mapa final do mês em questão, sendo que destas, a temperatura, a precipitação e a deficiência hídrica além de ser mensal, apresentam diferença entre os meses as variedades conilon e arábica.

Os mapas das áreas com potencial agroclimático para a cultura do cafeeiro, resultantes da equação 6, apresentam valores de 1 a 3, logo foram reclassificados na qual os valores de 1 a 1,6666 obtiveram classificação de alto potencial (1), de 1,6666 a 2,3333 classificação de médio potencial (2) e de 2,3333 a 3 classificação de alto potencial (3), resultado então nos mapas finais de potencial agroclimático para a cultura do cafeeiro. Os mapas seguem conforme as Figuras 40 e 41.

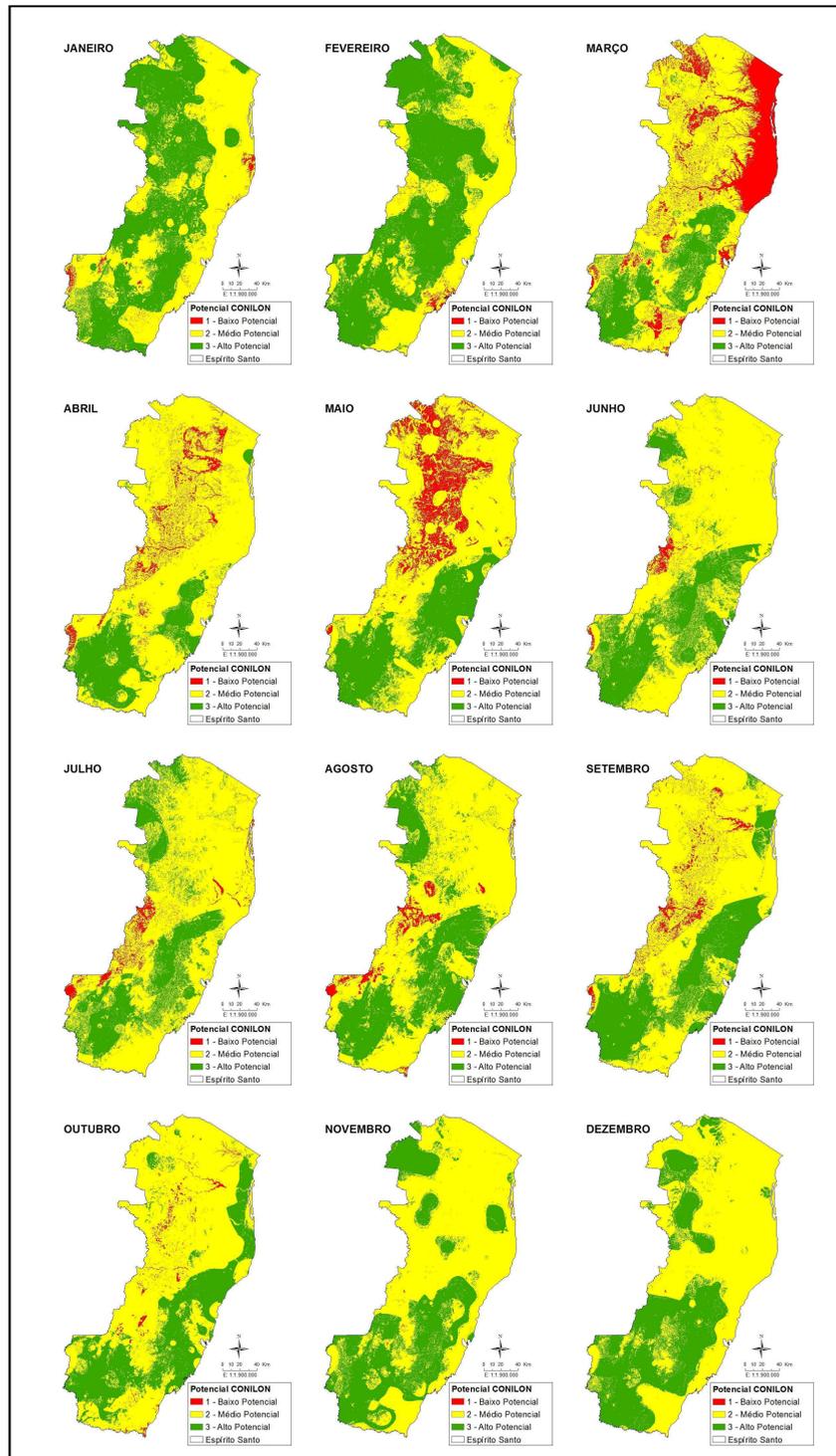


Figura 40 - Potencial agroclimático para a cultura do café conilon, para o estado Espírito Santo.

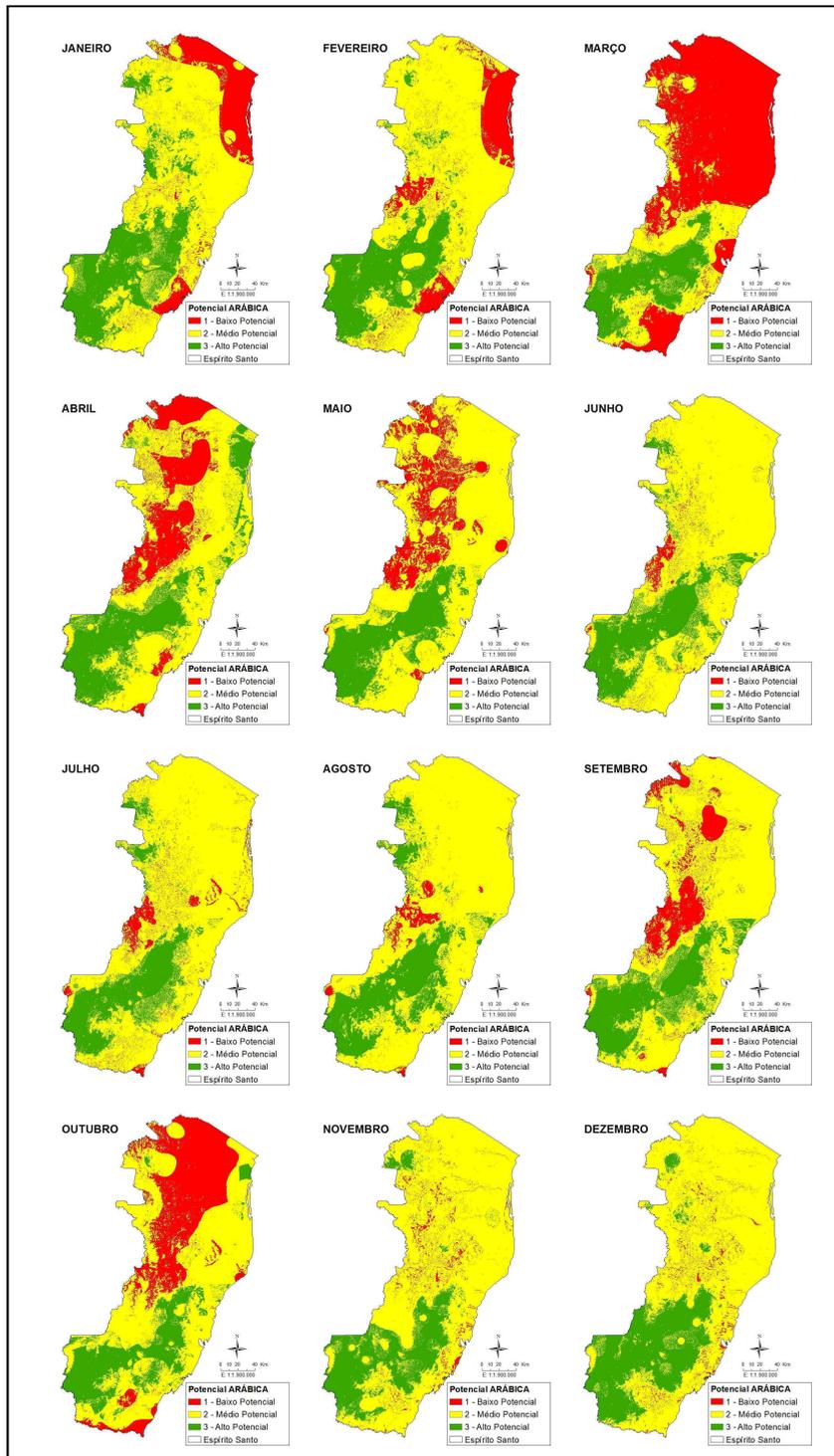


Figura 41 - Potencial agroclimático para a cultura do café arábica, para o estado do Espírito Santo.

O estado do Espírito Santo possui características agroclimáticas mais semelhantes com as necessidades agroclimáticas do café conilon. Portanto, em todos os meses apresentam poucas áreas com baixo potencial, principalmente de outubro a janeiro, sendo que o mês de março apresenta maiores áreas com baixo potencial para o café conilon e arábica. A comparação das áreas de baixo, médio e alto potencial agroclimático para o café conilon segue conforme a Figura 42.

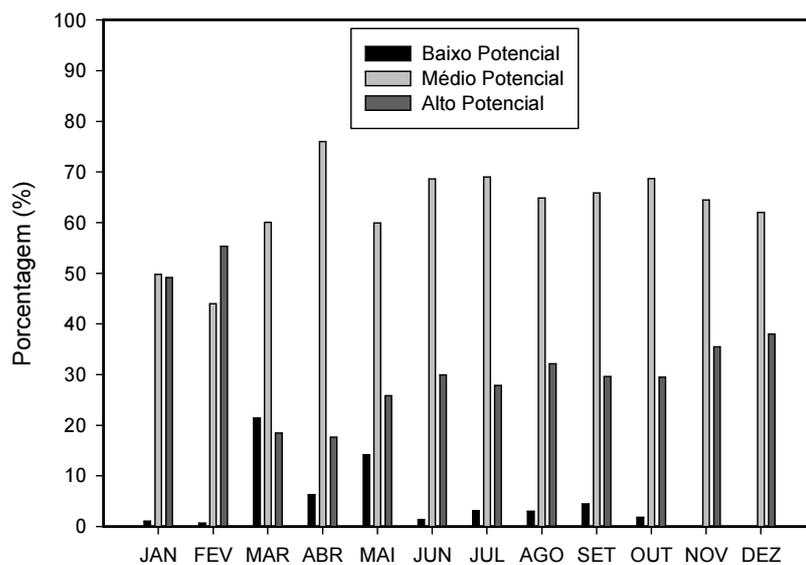


Figura 42 - Porcentagem das áreas do potencial agroclimático para o café conilon reclassificado em alto, médio e baixo potencial, para o estado do Espírito Santo.

Na grande maioria, os meses possuem maiores áreas com classificação de médio potencial para o café conilon, sendo que os meses de novembro e dezembro apresentam áreas com classificação de baixo potencial respectivamente de (0,07% e 0,01%). O mês de março apresenta maiores áreas dentro a classificação de baixo potencial com 21,44% das áreas e menores áreas dentro a classificação de alto potencial com 18,48%, possuindo este mês menor potencial agroclimático ao cultivo do café conilon. O mês de fevereiro apresenta maiores áreas com classificação de alto potencial com 55,30% e 44,0% de áreas com médio potencial, sendo então o mês de fevereiro o que apresenta maior potencial agroclimático ao cultivo do café

conilon. A comparação das áreas de baixo, médio e alto potencial agroclimático para o café arábica segue conforme a Figura 43.

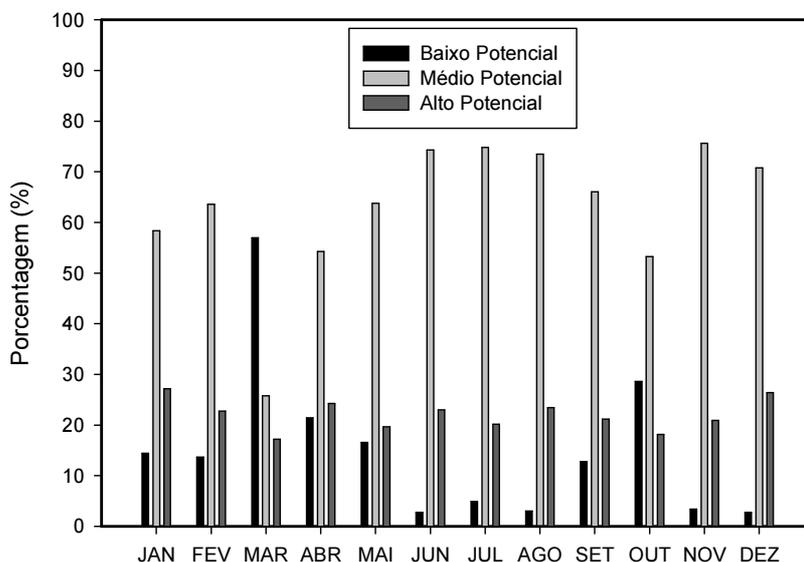


Figura 43 - Porcentagem das áreas do potencial agroclimático para o café arábica reclassificado em alto, médio e baixo potencial, para o estado do Espírito Santo.

Na grande maioria os meses possuem maiores áreas com classificação de médio potencial para o café arábica, os meses de junho e dezembro apresentam poucas áreas com classificação de baixo potencial com 2,75% e 2,76% das áreas. O mês de março apresenta maiores áreas dentro a classificação de baixo potencial com 56,98% das áreas e menores áreas dentro a classificação de alto potencial com 17,19%, possuindo este mês menor potencial agroclimático ao cultivo do café arábica. O mês de janeiro apresenta maiores áreas com classificação de alto potencial com 27,15% e 58,38% de áreas com médio potencial, sendo então o mês de janeiro o que apresenta maior potencial agroclimático ao cultivo do café arábica.

## 6.10. Potencial agroclimático anual

Após a soma dos mapas de potencial agroclimático mensal e divisão por 12, os mapas de potencial agroclimático médio anual para a cultura do café conilon e arábica (Figura 44).

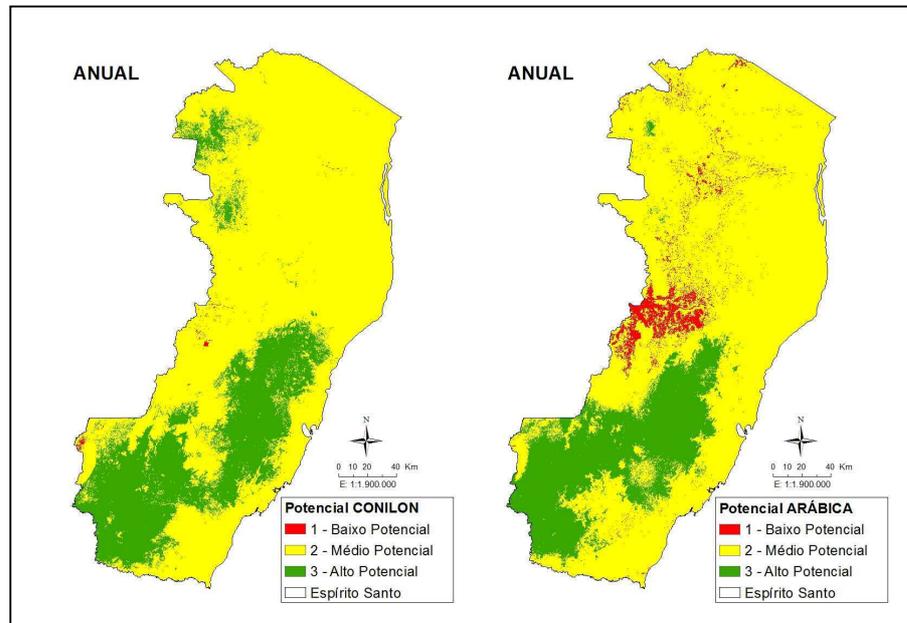


Figura 44 - Produção do café conilon e arábica no estado do Espírito Santo.

Na média anual, o potencial agroclimático para o cafeeiro quase não apresenta classificação de baixo potencial, somente poucas áreas para o café conilon, em razão das baixas temperaturas de elevadas altitudes; já para o café arábica, áreas com maiores temperaturas apresentam baixo potencial na média anual.

As áreas com alto potencial são bem semelhantes com as áreas totalmente aptas dos zoneamentos analisados no presente trabalho (Figura 45).

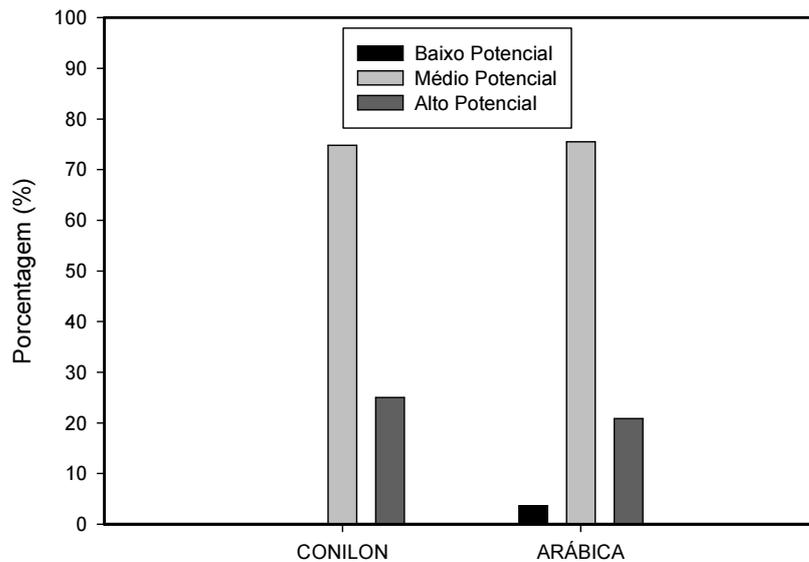


Figura 45 - Porcentagem das áreas do potencial agroclimático anual para o café conilon e arábica reclassificado em alto, médio e baixo potencial, para o estado do Espírito Santo.

O potencial agroclimático anual para o café conilon apresenta 0,15% de áreas com baixo potencial, 74,81% com áreas de médio potencial e 25,02% com áreas de alto potencial. O potencial agroclimático anual para o café arábica apresenta 3,65% de áreas com baixo potencial, 75,50% com áreas de médio potencial e 20,84% com áreas de alto potencial. Tais dados afirmam que o estado do Espírito Santo apresenta maior potencial agroclimático anual para o café conilon, já que apresenta menores áreas com classificação de baixo potencial e maiores áreas de alto potencial.

### 6.11. Validação do potencial agroclimático para a cultura do cafeeiro

Os dados de produção e rendimento de café conilon e arábica dos municípios do estado do Espírito Santo foram organizados em áreas com maiores e menores valores de produção e rendimento conforme as Figuras 46 e 47.

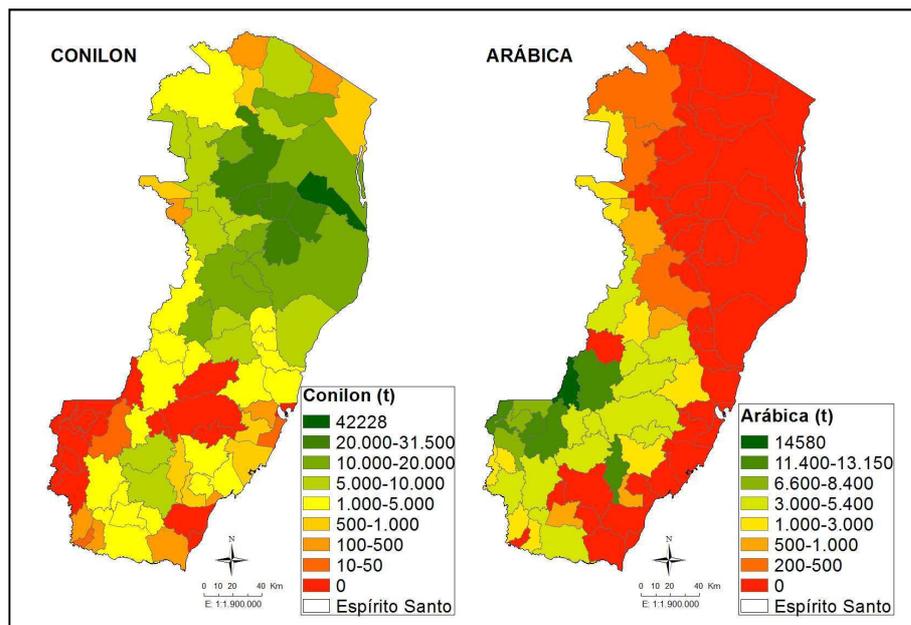


Figura 46 - Produção do café conilon e arábica no estado do Espírito Santo.

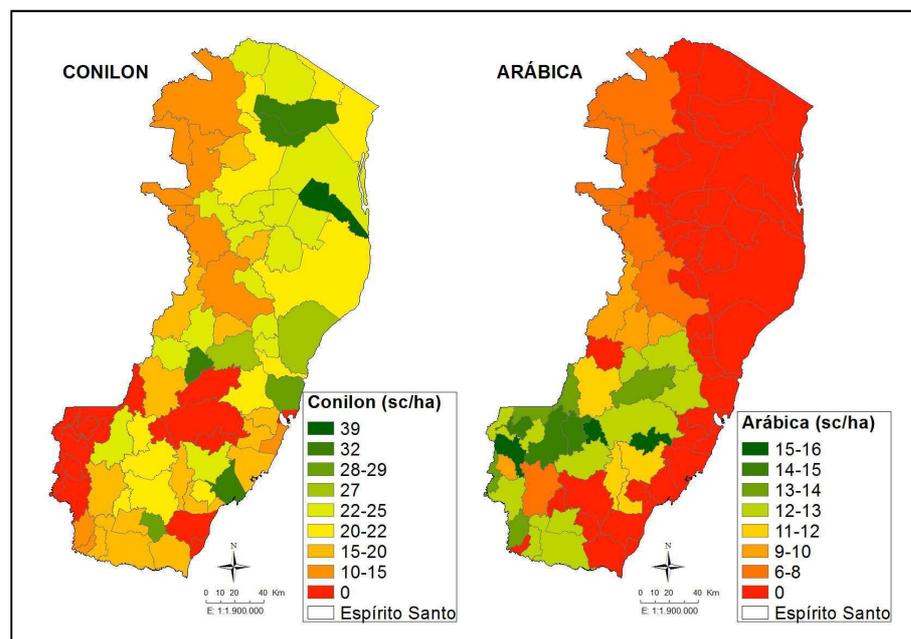


Figura 47 - Rendimento do café conilon e arábica no estado do Espírito Santo.

Esses mapas foram sobrepostos aos mapas de potencial agroclimático anual para o café conilon e arábica, para então avaliar se as áreas aptas apresentam maior produtividade e as áreas inaptas menor produtividade.

A região Norte do Estado apresenta maior produção de café conilon e com alto padrão tecnológico, principalmente do município de Jaguaré, que possui maior produção. Para o café arábica, as áreas mais produtoras são as de altitude na região Sudoeste do Estado.

O rendimento ou produtividade é um indicador mais preciso do que a produção, pois a produção pode ser alta em razão da quantidade de propriedades que produzem café, e a produtividade indica o grau de tecnologia ou que as variáveis ambientais são propícias ao cultivo do mesmo. Nota-se que o rendimento segue o mesmo padrão da produção.

Em resumo, em quantidades totais de café, os dados foram somados, e os mapas de produção e rendimento total de café seguem conforme a Figura 48.

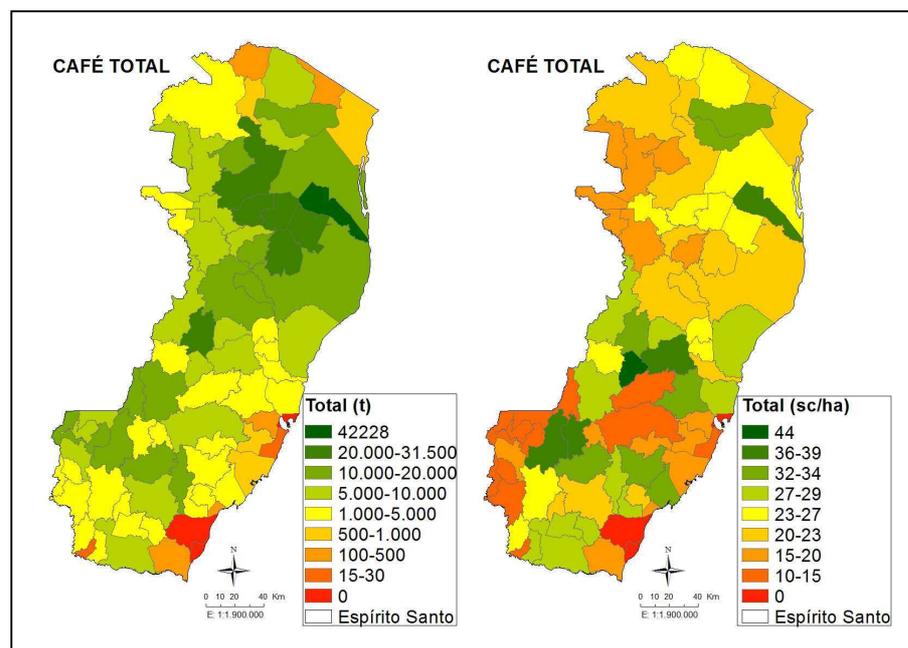


Figura 48 - Produção e rendimento de café no estado do Espírito Santo.

Os únicos municípios do Estado que não produzem café são Vitória e Marataízes, confirmando assim a importância do cafeeiro no estado do Espírito Santo. O maior produtor é o município de Jaguaré em razão de o grande rendimento do café conilon ser maior que o do café arábica. Itarana se destaca, pois apresenta grande produção tanto de café conilon quanto de café arábica, numa mesma proporção entre os mesmos.

Para facilitar a comparação das áreas com alto, médio e baixo potencial ao cultivo do cafeeiro, a produção e rendimento foram divididos em áreas abaixo e acima da média (Figuras 49, 50 e 51).

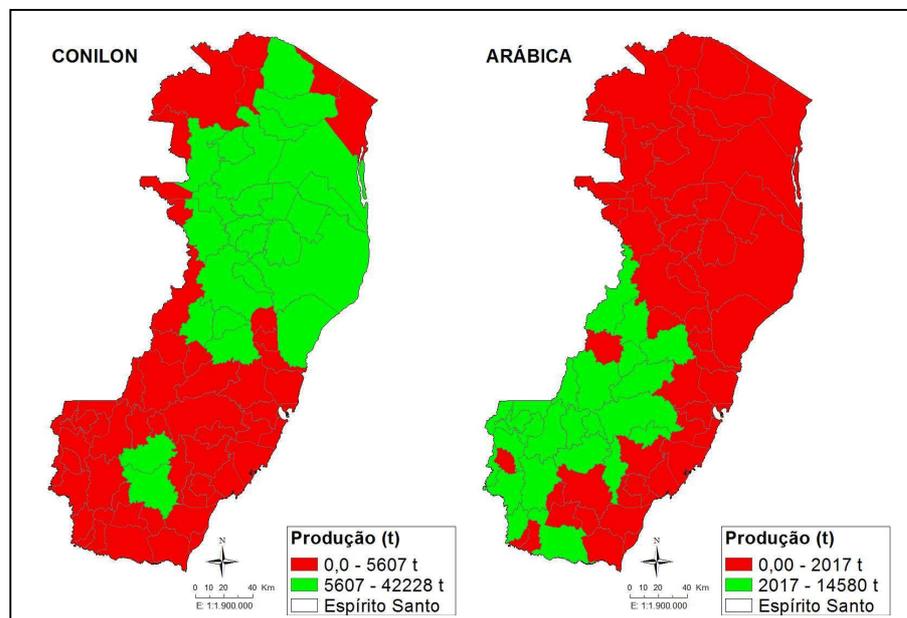


Figura 49 - Produção abaixo e acima da média do café conilon e arábica no estado do Espírito Santo.

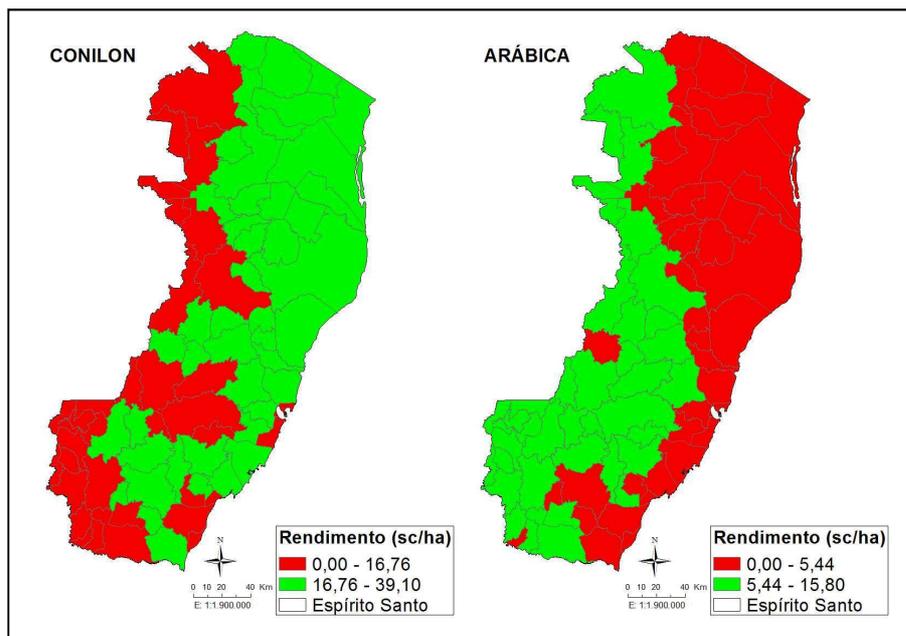


Figura 50 - Rendimento abaixo e acima da média do café conilon e arábica no estado do Espírito Santo.

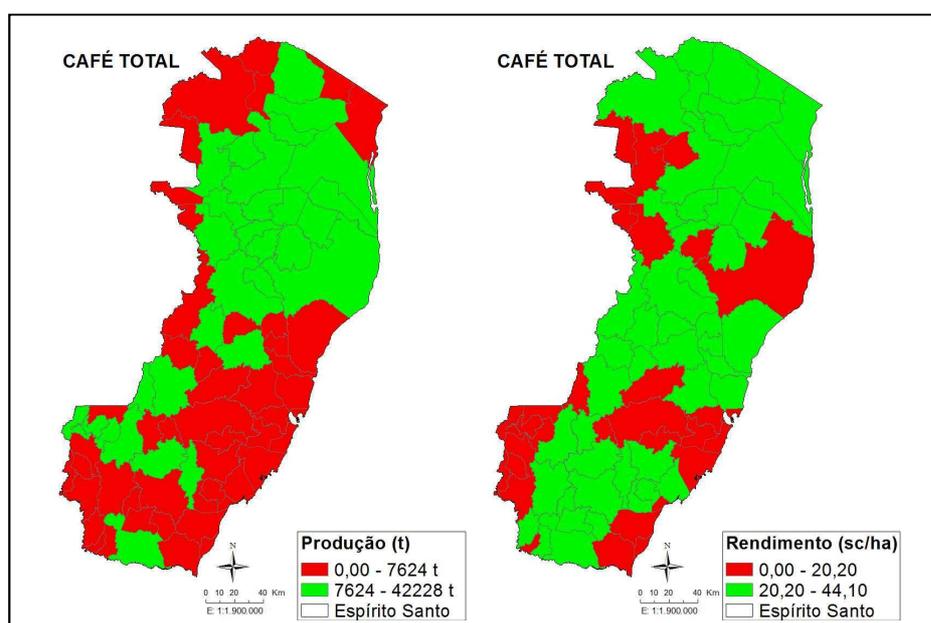


Figura 51 - Produção e rendimento abaixo e acima da média do café no estado do Espírito Santo.

A produção do café conilon apresenta uma média de 5.607 toneladas sendo que a região Norte e os municípios de Castelo e Cachoeiro de Itapemirim apresentam maiores produções. A produção do café arábica apresenta média de 2.017 toneladas sendo a região Sudoeste a maior produtora. O rendimento do café conilon apresenta uma média de 16,76 sacas por hectare, sendo que somente o extremo Oeste não apresenta alto rendimento. O rendimento do café arábica apresenta uma média de 5,44 sacas por hectare com a região Oeste e Sudeste sendo as que apresentam maiores rendimentos. O rendimento total de café mostra que quase todo o Estado apresenta alto rendimento, afirmando o potencial agroclimático favorável ao cultivo do cafeeiro no Estado.

A porcentagem das áreas de baixo, médio e alto potencial do recorte dos mapas de potencial agroclimático médio anual sobre as áreas acima e abaixo da média ( $\mu$ ), para produção e rendimento, seguem conforme as Figuras 52 e 53.

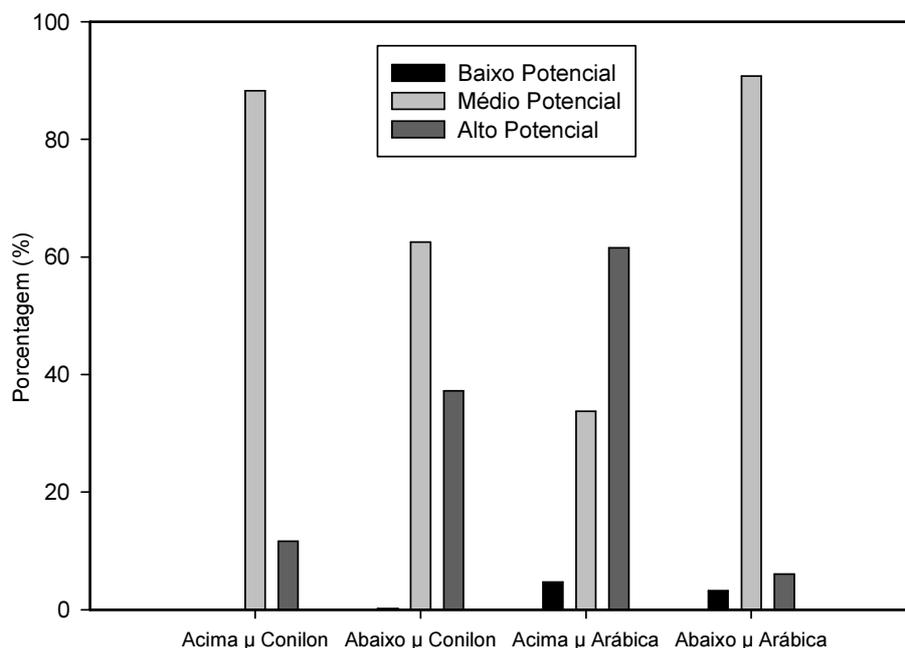


Figura 52 - Porcentagem das áreas de baixo, médio e alto potencial nas áreas acima e abaixo da média de produção para o café conilon e arábica.

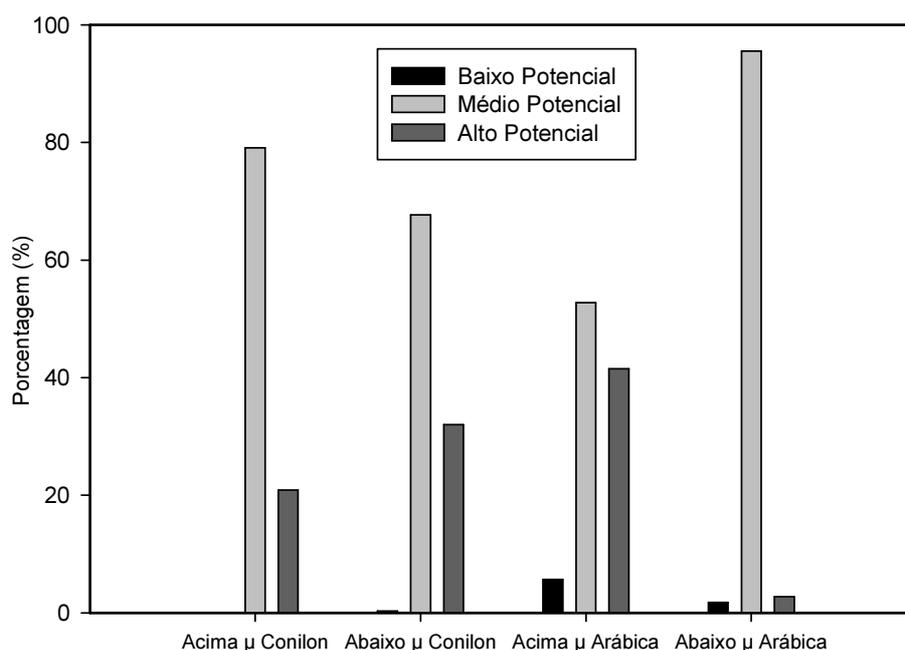


Figura 53 - Porcentagem das áreas de baixo, médio e alto potencial nas áreas acima e abaixo da média de rendimento para o café conilon e arábica.

Para o café conilon as áreas abaixo da média de produção apresentam maior classificação de alto potencial com 61,53% contra 6,05% das áreas acima da média de produção, porém a classificação de médio potencial nas áreas acima da média de produção é maior com 88,25% contra 62,52% das áreas abaixo da média de produção.

O café arábica, diferentemente do café conilon, apresenta maior percentuais de áreas de alto potencial nas áreas acima da média de produção com 61,53% contra 6,05% nas áreas abaixo da média, porém a classificação de médio potencial nas áreas abaixo da média de produção é maior com 90,72% contra 33,74% das áreas acima da média de produção.

Para o rendimento, as áreas de alto, médio e baixo potencial apresentam o mesmo comportamento das áreas de produção. Sendo que para o café conilon as áreas de alto potencial são maiores nas áreas abaixo da média com 32,01% contra 20,88% nas áreas acima da média, já para o café arábica as áreas de alto potencial são maiores nas áreas acima da média com 41,50% contra 2,73% nas áreas abaixo da média de rendimento.

A validação do mapeamento das áreas potenciais ao cultivo do cafeeiro foi satisfatória para o café arábica, já que as áreas com maior produção e rendimento, apresentam na sua maioria classificação de alto potencial, fato que não ocorre com o café conilon, já que as áreas com menor produção e rendimento que apresentam na sua maioria classificação de alto potencial.

Provavelmente, tal fato que ocorre com o café conilon é devido às áreas de alto potencial agroclimático, estarem localizadas em uma região montanhosa do Estado, o que dificulta a inclusão de tecnologia nestas áreas. Portanto o café conilon foi migrado para o Norte do Estado, que apresenta relevo plano, facilitando o uso de tecnologias e manejo da cultura. Isto é comprovado com o nível tecnológico das propriedades rurais produtoras de café conilon no Norte do Estado, que apesar de serem compostas por grandes propriedades que visam altos lucros, apresentam irrigação por pivô central ou linear, todo o tipo de manejo é feito de forma mecanizada, com aplicação de agrotóxicos através de aviões e outro ponto muito importante é a facilidade e velocidade da colheita, já que para o café conilon a colheita tem que ser realizada de forma manual; e o terreno plano facilita a movimentação dos colhedores na lavoura e a velocidade de colheita, este último eleva a qualidade do café, já que não deixa o café passar do tempo de maturação na planta, apresentando todo o café colhido um mesmo ponto de maturação, aumentando então a renda do produtor.

As áreas mais produtoras de café conilon não estão localizadas em uma região com características agroclimáticas ideais (alto potencial) e sim em regiões de médio potencial, lembrando que o presente trabalho não leva em consideração nenhum tipo de intervenção humana na lavoura, somente as características naturais de clima e fatores do solo e a tecnologia e manejo adequado nestas áreas, supre estas necessidades agroclimáticas, o que torna a região Norte do Estado grande produtora de café conilon.

Os mapas de potencial agroclimático mensal estão coerentes com as necessidades fenológicas do café, já que nos meses que apresentam áreas de baixo potencial, é verificado que as áreas não apresentam grandes propriedades de café.

O mês de março por possuir maiores áreas de baixo potencial, demanda maior atenção e cuidados a cultura do café, pois de acordo com o

estágio fenológico do mesmo, este mês não apresenta características agroclimáticas ideais, necessitando então do suprimento destas características agroclimáticas por meio de tecnologias, tais como irrigação, adubação e manejo do solo.

Os resultados do trabalho são satisfatórios e coerentes com a produção e rendimento real do cafeeiro no estado do Espírito Santo.

## 7. CONCLUSÕES

- O mês de fevereiro apresenta maior média mensal para temperatura do ar, enquanto que o mês de julho apresenta menor média mensal para temperatura do ar.
- O mês de dezembro apresenta maior média mensal de precipitação, enquanto que o mês de junho apresenta menor média mensal de precipitação.
- O mês de agosto apresenta maior média mensal de deficiência hídrica, enquanto que os meses de novembro e dezembro apresentam menor média mensal de deficiência hídrica.
- O mês de janeiro apresenta maior média mensal de radiação diária, enquanto que o mês de junho apresenta menor média mensal radiação diária.
- O mês de abril apresenta maior média mensal de umidade relativa, enquanto que o mês de setembro apresenta menor média mensal de umidade relativa.
- As condições climáticas para o estado do Espírito Santo apresentam maior potencial para o cultivo do café conilon.
- A metodologia de delimitação dos intervalos mensais das variáveis climáticas ótimas ao cultivo do café conilon e arábica, foi satisfatória.
- A delimitação das classes de alto, médio e baixo potencial das variáveis, utilizadas no presente trabalho, por meio de análises estatísticas, foi satisfatória.
- O mês de novembro apresenta maior probabilidade de chuva e o mês de junho maior probabilidade de dias secos.
- O período chuvoso se inicia em média no dia 1º de novembro e termina no dia 20 de junho.
- Em média, as condições climáticas de temperatura e umidade relativa do Estado são favoráveis ao aparecimento da ferrugem do cafeeiro.
- Os pesos de cada variável do presente trabalho, utilizados na equação de potencial agroclimático, foram satisfatórios, já que a razão de consistência apresentou valor de 0,02.

- Para a cultura do café conilon no estado do Espírito Santo, o mês de fevereiro apresenta maior potencial agroclimático, enquanto o mês de março apresenta menor potencial agroclimático.
- Para a cultura do café arábica no estado do Espírito Santo, o mês de janeiro apresenta maior potencial agroclimático, enquanto o mês de março apresenta menor potencial agroclimático.
- A média anual de potencial agroclimático para a cultura do café conilon e arábica no estado do Espírito Santo apresenta, na sua maioria, médio potencial para ambas as culturas, sendo aproximadamente 25% das áreas com alto potencial agroclimático para o café conilon e 20,84% das áreas com alto potencial agroclimático para o café arábica.
- O resultado do mapeamento das áreas com potencial agroclimático para a cultura do cafeeiro foi satisfatório, já que as áreas de médio e alto potencial foram coerentes com a produção e rendimento real do cafeeiro no estado do Espírito Santo.

## **8. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho por apresentar metodologia inovadora, para zoneamento agroclimático, provavelmente será bem debatido no meio acadêmico, já que pesquisadores apresentam ideias diferentes, tal fato terá maior repercussão nas estimativas dos graus de importância entre as variáveis e na classificação de alto, médio e baixo potencial de cada variável. Diante de tal fato não é possível a comparação dos resultados com outros trabalhos com tema semelhante.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. **Domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ALFONSI, R.R. Histórico climatológico da cafeicultura brasileira. **O Cafezal** (Coffee Break): Informativo Garcafé, maio 2000. Disponível em: <<http://www.coffeebreak.com.br>>. Acesso em: 5 fev. 2011.

ALZUGARAY, D.; ALZUGARAY, C. **Flora brasileira**. São Paulo: Três Livros, 1984. 460 p.

AMARAL, F.C.S.; PEREIRA, N.R.; CARVALHO JUNIOR, W. **Principais limitações dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

ASPIAZÚ, C.; BRITES, R.S. **SIGs. Sistemas de informações geográficas: conceituação e importância**. Viçosa: UFV/SIF, 1989.

ASSAD, E.D.; EVANGELISTA, B.A.; SILVA, F.A.M.; CUNHA, A.R.; ALVES, E.R.; LOPES, T.S.S.; PINTO, H.S.; ZULLO JR., J. Zoneamento agroclimático para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no estado de Goiás e sudoeste do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 510-518, 2001.

ASSAD, E.D. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004.

BARBOSA, J.N. et al. Distribuição espacial de cafés do estado de Minas Gerais e sua relação com a qualidade. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 3, p. 237-250, 2011.

BARROS, M.A.; MOREIRA, M.A.; RUDORFF, B.F.T. Dados interferométricos para modelagem topográfica e caracterização ambiental do café em escala municipal. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 19, n. 2, p. 33-50, 2007.

BERNARDES, T.; MOREIRA, M.A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B.F.T. Diagnóstico ambiental da cafeicultura no Estado de Minas Gerais - Brasil. **Coffee Science**, v. 7, n. 2, p. 139-151, 2012.

BIETO, J.A.; TALON, M. **Fisiologia y bioquímica vegetal**. Madrid: Interamericana/McGraw-Hill, 1996.

BOLDINI, J.M. **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado e fertirrigado**. 2001. 67 f. Dissertação (Mestrado e Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2001.

BOOTH, T.H.; JOVANOVIĆ, T.; OLD, K.M.; DUDZINSKI, M.J. Climatic mapping to identify high-risk areas for *Cylindrocladium quinqueseptatum* leaf blight on eucalypts in mainland South East Asia and around the world. **Environmental Pollution**, v. 108, p. 365-372, 2000.

BOYER, J.S. Plant productivity and environment. **Science**, v. 218, n. 4571, p. 443-448, 1982.

BRAGANÇA, R. **Mapeamento da área plantada e impactos das mudanças climáticas no zoneamento agroclimatológico para as culturas do café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) e arábica (*Coffea arabica* L.) no estado do Espírito Santo**. 2012. 318 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Norte Fluminense, Campos, RJ, 2012.

BRAGANÇA, S.M.; ALVAREZ V., V.H. **Avaliação do estado nutricional do café conilon (*Coffea canephora*) no norte do estado do Espírito Santo, através do Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS)**. Vitória: EMCAPA, 1990. 12 p. (Pesquisa em Andamento, 57).

BRAGANÇA, S.M.; CARVALHO, C.H.S.; FONSECA, A.F.A. Variedades clonais de café Conilon para o estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 765-770, 2001.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CAMARGO, A.P.; ALFONSI, R.R.; PINTO, H.S.; CHIARINI, J.V. Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em zonas de cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 6, 1977, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 1977. p. 89-105.

CAMARGO, A.P.C. Clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, n. 126, p. 13-26, 1985.

CARAMORI, P.H.; CAVIGLIONE, J.H.; WREGGE, M.S.; GONÇALVES, S.L.; FARIA, R.T.; ADROCIOLI FILHO, A.; SERA, T.; CHAVES, J.D.C.; KOGUISHI, M.S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do café (*Coffea arabica* L.) no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 486-494, 2001.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MALUF, J.R.T.; MATZENAUER, R.; STOLZ, A.P. Altitude e coordenadas geográficas na estimativa da temperatura mínima média decenal do ar no estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 893-901, 2006.

CARVALHO, A.L. et al. **Determinação da ocorrência de dias secos e chuvosos na região de rio Largo, Alagoas**. In: ENCONTRO SUL-BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 4, 2011, Pelotas, RS. Disponível em: <[http://wp.ufpel.edu.br/meteoro/files/2011/05/andre\\_luiz\\_carvalho\\_1.pdf](http://wp.ufpel.edu.br/meteoro/files/2011/05/andre_luiz_carvalho_1.pdf)>. Acesso em: 18 jul. 2013.

CARVALHO, L.M.; SILVA, E.A.M.; AZEVEDO, A.A.; MOSQUIM, P.R.; CECON, P.R. Aspectos morfofisiológicos das cultivares de cafeeiro Catuaí Vermelho e Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 411-416, mar. 2001.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DO CAFÉ – CETCAF. **Caracterização do parque cafeeiro no Estado do Espírito Santo**. Disponível em: <<http://www.cetcaf.com.br/Links/cafeicultura%20capixaba>>. Acesso em: 10 set 2013.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DO CAFÉ – CETCAF. **Mapa de zoneamento agroecológico**. Disponível em: <<http://www.cetcaf.com.br/MAPA%20ZONEAMENTO.JPG>>. Acesso em: 15 set. 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Informações sobre café no Espírito Santo**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/sureg/es/bkp\\_Especial%20Caf%E9%20abr%2004.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/sureg/es/bkp_Especial%20Caf%E9%20abr%2004.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2013.

COSTE, R. **El café**. Barcelona: Editorial Blume, 1969. 285 p.

DA MATTA F.M.; RENA, A.B. Relações hídricas no cafeeiro. In: RENA, A.B.; NACIF, A.P. (Eds.). **Conferências do I simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil**. Brasília: EMBRAPA Café, 2001.

DEDECCA, D.M. Anatomia e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica* L. var. *typica* Cramer. **Bragantia**, Campinas, v. 16, p. 315-366, 1957.

DIODATO, N.; CECCARELLE, M.; BELLOCCHI, G. GIS-aided evaluation of evapotranspiration at multiple spatial and temporal climate patterns using geoindicators. **Ecological Indicators**, v. 10, p. 1009-1016, 2010.

DOBSON, J.E. Compares the potential of digital and conventional map use. **Professional Geographer**, Washington, v. 35, n. 2, p. 135-143, 1983.

DRINNAN, J.E.; MENZEL, C.M. Temperature affects vegetative growth and flowering of coffee (*Coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**, v. 70, p. 25-34, 1995.

EASTMAN, J.R. **Idrisi for Windows - user's guide, version 1.0**. Worcester, MA: Clark University, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **SRTM - Shuttle Radar Topography Mission**. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/srtm.htm>>. Acesso em: 18 out. 2012.

ESPÍRITO SANTO (Estado). Secretaria da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca. **Cultivo de café arábica com uma haste**. 2009. 1 Figura. Disponível em: <[www.seag.es.gov.br/?p=1981](http://www.seag.es.gov.br/?p=1981)>. Acesso em: 30 nov. 2013.

ESPÍRITO SANTO (Estado). Secretaria da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca. **Economia do café**. 2011. Disponível em: <[www.seag.es.gov.br/?p=1981](http://www.seag.es.gov.br/?p=1981)>. Acesso em: 26 set. 2013.

FAZUOLI, L.C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Eds.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 87-106.

FELGUEIRAS, C.A. **Desenvolvimento de um sistema de modelagem digital de terreno para microcomputadores**. 1987. 243 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1987.

FERRÃO, M.A.G.; FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; VERDIM FILHO, A.C.; VOLPI, P.S. Origem, dispersão geográfica, taxonomia e diversidade genética de *Coffea canephora*. In: FERRÃO, R.G. et al. (Ed.). **Café conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2007. p. 66-91.

FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, M.A.G.; DE MUNER, L.H.; VERDIM FILHO, A.C.; VOLPI, P.S.; MARQUES, E.M.G.; ZUCATELI, F. **Café conilon: técnicas de produção com variedades melhoradas**. Vitória, ES: Incaper, 2004. 60 p. (Circular Técnica, 31).

FERREIRA, C.C.M. **Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1997.

FERREIRA, W.P.M. et al. **As características térmicas da face Noruega e Soalheira como fatores determinantes do clima para a cafeicultura de montanha**. Brasília, DF: Embrapa Café, 2012. 34 p.

FIETZ, C.R. **Probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos na bacia do rio Dourados, MS**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2002. 22 p.

FIGUEIREDO, D. Geotecnologias na Conab. In: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Agricultura e abastecimento alimentar: políticas públicas e mercado agrícola**. Brasília, 2009. cap. 3, p. 333-340.

FISHER, P.F.; LINDENBERG, R. On distinctions among cartography, remote sensing, and geographic information systems. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 55, n. 10, p. 1431-1434, 1989.

FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, M.A.; FERRÃO, R.G.; VERDIM FILHO, A.C.; VOLPI, P.S.; ZUCATELI, F. **Conilon Vitória** 'Incaper 8142': variedade clonal de café conilon. Vitória, ES: Incaper, 2004a. 24 p. (Documentos, 127).

FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, R.G.; FERRÃO, M.G.; SILVA, A.E.S.; DE MUNER, L.H.; VERDIM FILHO, A.C.; VOLPI, P.S. **Jardins clonais de café conilon: técnicas para formação e condução**. Vitória, ES: Incaper, 2004b. 53 p. (Circular Técnica, 41).

FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, R.G.; LANI, J.A.; FERRÃO, M.A.G.; VOLPI, P.S.; VERDIM FILHO, A.C.; RONCHI, C.P.; MARTINS, A.G. Manejo da cultura do café conilon: espaçamento, densidade de plantio e podas. In: FERRÃO, R.G. et al. (Ed.). **Café conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2007. p. 257-277.

FONSECA, L.M.G. **Processamento digital de imagens**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. 105 p.

FONTES, J.R.M.; SAKIYAMA, N.S.; CARDOSO, A.A.; ZAMBOLIM, L.; PEREIRA, A.A. Avaliação de híbridos F1 de café (*Coffea arabica* L.) e respectivos progenitores com marcadores RAPD. **Revista Ceres**, v. 49, p. 283-294, 2002.

FU, P.; RICH, P.M. A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry. **Computers and Electronics in Agriculture**, [S.l.], v. 37, n. 3, p. 25-35, 2002.

FU, P.; RICH, P.M. **The solar analyst 1.0 Manual**. Kansas: Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), 2000. 49 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção de café no Brasil**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 05 maiO 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo agropecuário 2006**. Brasília, 2007. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/agri\\_familiar\\_2006/default.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/agri_familiar_2006/default.shtm)>. Acesso em: 22 jun. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção agrícola municipal (PAM)**. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2009/default.shtm>>. Acesso em: 12 jun. 2013.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. **Café sustentável**. Disponível em: <<http://incaper.web407.uni5.net/revista.php?idcap=977>>. Acesso em: 20 nov. 2012.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES – IJSN. **Divisão Regional do Estado do Espírito Santo**: microrregiões de gestão administrativa. Vitória, 2011. 54 p.

JESUS JUNIOR, W.C.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; VALE, F.X.R.; HAU, B. Sistemas de auxílio à tomada de decisão no manejo de doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 11, p. 133-193, 2003.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

MACHADO, M.A.M. **Caracterização e avaliação climática da estação de crescimento de cultivos agrícolas para o estado de Minas Gerais**. 1995. 61 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

MARBLE, D.F.; PEUQUET, D.J. **Geographics information system and remote sensing**: manual of remote sensing. 2.ed. Falls Church: American Society of Photogrametry, 1983.

MARTINS, C.A.S. **Avaliação do desempenho de irrigação em áreas cultivadas no Sul do Estado do Espírito Santo**. 2009. 107 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2009.

MATIELLO, J.B. et al. **Cultura de café no Brasil**: manual de recomendações. Rio de Janeiro: IBC-GERCA, 1977. 312 p.

MATIELLO, J.B. **O café do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320 p.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura de café no Brasil**: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002. 387 p.

MEIRA, C.A.A.; RODRIGUES, L.H.A.; MORAES, S.A. Modelos de alerta para o controle da ferrugem-do-cafeeiro em lavouras com alta carga pendente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 233-242, 2009.

MEIRELES, E.J.L. **Fenologia do cafeeiro**: condições agrometeorológicas e balanço hídrico do ano agrícola 2003-2004. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 79 p.

MENDES, A.N.G.; GUIMARÃES, R.J. **Economia cafeeira**: o agribusiness. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 59 p.

MENDES, C.A.B. **Planejamento nacional de recursos hídricos baseado no uso de técnicas de geoprocessamento**. Porto Alegre, 1997. 87 p.

MIRANDA, J.C. **Intensidade de doenças foliares na cafeicultura irrigada**. 2004. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2004.

MONTOYA, R.H.; CHAVES, G.M. Influência da temperatura e da luz na germinação, infectividade e período de geração de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. **Experientiae**, v. 18, n. 2, p. 239-266, 1974.

NELSON, M.R.; ORUM, T.V.; JAIME-GARCIA, R.; NADEEM, A. Applications of geographic information systems and geostatistics in plant disease epidemiology and management. **Plant Disease**, v. 83, p. 308-319, 1999.

NETTO, A.D.O. **Lavoura de café conilon conduzido com múltiplas hastes**. 1 Figura. Disponível em: <[http://www.cafepoint.com.br/mypoint/83075/f\\_cafe\\_conilon\\_maturacao\\_9717.aspx](http://www.cafepoint.com.br/mypoint/83075/f_cafe_conilon_maturacao_9717.aspx)>. Acesso em: 12 out. 2013.

NUNES, M.A.; BIERHUIZEN, J.F.; PLOEMAN, C. Studies on productivity of coffee. III. Differences in photosynthesis between four varieties of coffee. **Acta Botanica Neerlandica**, Amsterdam, v. 18, p. 420-424, 1969.

OLIVEIRA, M.P.A. **Expressão de genes da biossíntese de cafeína em frutos e endospermas de *Coffea arabica***: sem cafeína. 2007. 75 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, SP, 2007.

PARENT, P.; CHURCH, R. Evolution of geographical information systems as decision making tools. **GIS**, v. 87, p. 63-71, 1987.

PEREIRA, A.R.; CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. **Agrometeorologia de cafezais no Brasil**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 127 p.

PERON, A.J.; CASTRO NETO, P. Probabilidade de ocorrência de veranicos na região de Lavras, Minas Gerais. **Ciências e Prática**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 282-290, 1986.

PEZZOPANE, J.E.M. et al. **Agrometeorologia**: aplicações para o Espírito Santo. Alegre, ES: CAUFES, 2012. 147 p.

PEZZOPANE, J.R.M.; SOUZA, P.S.; PEREIRA, S.P.; GALLO, P.B.; THOMAZIELLO, R.A.; ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.P.; FAZUOLI, L.C. Monitoramento agrometeorológico da cafeicultura na região mogiana do estado de São Paulo – safra 2005-2006. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5, 2007, Águas de Lindóia, SP. **CD-ROM...** Águas de Lindóia, SP, 2007.

PINTO, H.S.; ZULLO JR., J.; ASSAD, E.D.; BRUNINI, O.; ALFONSI, R.R.; CORAL, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cafeicultura do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 495-500, 2001.

PLANO ESTRATÉGICO DE DESENVOLVIMENTO DA AGRICULTURA – PEDEAG. **Novo PEDEAG 2007-2025**. Vitória, ES: Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca, 2008.

RICH, P.M.; DUBAYAH, R.; HETRICK, W.A.; SAVING, S.C. Using viewshed models to calculate intercepted solar radiation: applications in ecology. **American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers**, p. 524-529, 1994.

ROBERTSON, G.W. **Dry and wet spells**. Malasya: Technical Assistance to the Federal Land Development Authority, 1976. 30 p.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81-90, 2005.

ROSS, J. **Geografia do Brasil**. 5.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. p. 105-106.

SAATY, T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SANTOS, A.R. **Zoneamento agroclimatológico para a cultura do café conilon (*Coffea canephora* L.) e arábica (*Coffea arabica* L.), na bacia do rio Itapemirim, ES**. 1999. 125 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

SANTOS, E.C. et al. **Mapeamento da cultura do café na microrregião de Afonso Cláudio – Espírito Santo, com imagens de aerofotogrametria**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 4055-4061.

SCHIEBER, E.; ZENTMYER, G.A. Coffee rust in the western hemisphere. **Plant Disease**, v. 68, n. 2, p. 89-93, 1984.

SEDIYAMA, G.C.; MELO JUNIOR, A.; SANTOS, A.R.; RIBEIRO, A.; COSTA, M.H.; HAMAKAWA, P.J.; COSTA, J.M.N.; COSTA, L.C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 501-509, 2001.

SILVA, A.B. **Sistemas de informações geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas, SP: UNICAMP, 2003.

SILVEIRA, J.S.M.; CARVALHO, C.H.S.; BRAGANÇA, S.M.; FONSECA, A.F.A. **A poda do café conilon**. Vitória, ES: EMCAPA, 1993. 14 p. (Documentos, 80).

SIVAKUMAR, M.V.K. Empirical analysis of drought spells for agricultural applications in West Africa. **Journal of Climate**, v. 5, n. 5, p. 532-539, 1992.

SONDAHL, M.R.I.; CROCOMO, O.J.; SODEK, L. Measurement of <sup>14</sup>C incorporation by illuminated intact leaves of coffee plants from gas mixtures containing <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 27, p. 1187-1195, 1976.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAUNAY, A.E. **História do café no Brasil: no Brasil Imperial 1822-1872**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional do Café, 1939.

TEIXEIRA, S.M.; MILHOMEM, A.V. A competitividade e custo da cafeicultura brasileira. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.

THOMAZIELLO, R.A.; OLIVEIRA, E.G.; TOLEDO FILHO, J.A. et al. **Cultura do café**. 3.ed. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1997. 75 p. (Boletim Técnico, 193).

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.

VALERIANO, M.M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 539-546, 2003.

VALERIANO, M.M.; GARCIA, G.J. The estimate of topographical variables for soil erosion modelling through geoprocessing. **International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing**, Amsterdam, v. 33, part B, p. 678-685, 2000.

VIANA, T.V. et al. Probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos em Pentecostes, CE. **Irriga**, v. 7, n. 3, p. 226-229, 2002.

VIEIRA, L.S. **Manual de morfologia e classificação de solos**. São Paulo: Ceres, 1983.

WADT, P.G.S. Relationships between soil class and nutritional status of coffee plantations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 227-234, 2005.

WOLF, J.M. Probabilidade de ocorrência de períodos secos na estação chuvosa para Brasília, DF. **Pesquisa Agropecuária**, v.12, n. 2, p. 141-150, 1977.

ZACHARIAS, A.O.; CAMARGO, M.B.P.; FAZUOLI, L.C. Parametrização de modelo agrometeorológico de estimativa do início da florada plena do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5, 2007, Águas de Lindóia, SP. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2007. 5 p.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R.; PEREIRA, A.A.; CHAVES, G.M. Café (*Coffea arabica* L.): controle de doenças causadas por fungos, bactérias e vírus. In: \_\_\_\_\_. **Controle de doenças de plantas**. Viçosa: UFV, 1997. v. 1, p. 83-180.

ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologia de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, 2002. 648 p.

ZAMBOLIM, L. **Certificação do café**. Viçosa: UFV, 2007. 244 p.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R. Manejo integrado das doenças do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Org.). **I Encontro sobre Produção de Café com Qualidade**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 1999. p.134-215.

# APÊNDICE

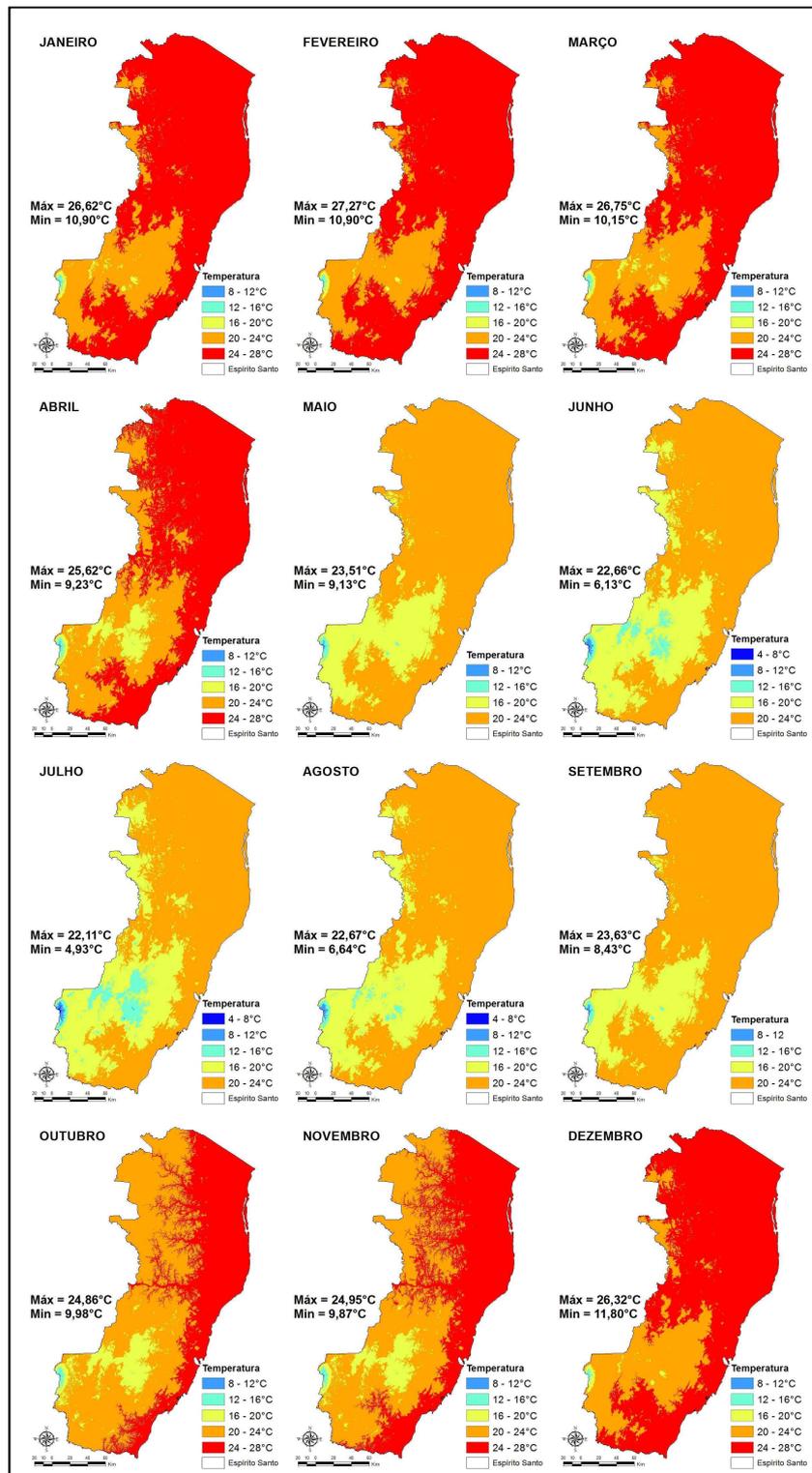


Figura 1A - Temperatura média mensal do ar, para o estado do Espírito Santo.

Tabela 1A - Intervalos dos limites de temperatura média mensal do ar de alto, médio e baixo potencial para o café conilon

Mês	Média (°C)	Potencial		
		Alto (°C)	Médio (°C)	Baixo (°C)
Janeiro	23,57	21,57 a 25,57	20,57 a 21,57 e 25,57 a 26,57	< 20,57 e > 26,57
Fevereiro	24,18	22,18 a 26,18	21,18 a 22,18 e 26,18 a 27,18	< 21,18 e > 27,18
Março	23,29	21,29 a 25,29	20,29 a 21,29 e 25,29 a 26,29	< 20,29 e > 26,29
Abril	22,1	20,10 a 24,10	19,10 a 20,10 e 24,10 a 21,10	< 19,10 e > 25,10
Mai	20,06	18,06 a 22,06	17,06 a 18,06 e 22,06 a 23,06	< 17,06 e > 23,06
Junho	18,75	16,75 a 20,75	15,75 a 16,75 e 20,75 a 21,75	< 15,75 e > 21,75
Julho	18,57	16,57 a 20,57	15,57 a 16,57 e 20,57 a 21,57	< 15,57 e > 21,57
Agosto	19,27	17,27 a 21,27	16,27 a 17,27 e 21,27 a 22,27	< 16,27 e > 22,27
Setembro	20,31	18,31 a 22,31	17,31 a 18,31 e 22,31 a 23,31	< 17,31 e > 23,31
Outubro	21,67	19,67 a 23,67	18,67 a 19,67 e 23,67 a 24,67	< 18,67 e > 24,67
Novembro	21,84	19,84 a 23,84	18,84 a 19,84 e 23,84 a 24,84	< 18,84 e > 24,84
Dezembro	23,47	21,47 a 25,47	20,47 a 21,47 e 25,47 a 26,47	< 20,47 e > 26,47
Média	21,42	19,42 a 23,42	18,42 a 19,42 e 23,42 a 24,42	< 18,42 e > 24,42

Tabela 2A - Intervalos dos limites de temperatura média mensal do ar de alto, médio e baixo potencial para o café arábica

Mês	Média (°C)	Potencial		
		Alto (°C)	Médio (°C)	Baixo (°C)
Janeiro	22,19	20,19 a 24,19	19,19 a 20,19 e 24,19 a 25,19	< 19,19 e > 25,19
Fevereiro	22,74	20,74 a 24,74	19,74 a 20,74 e 24,74 a 25,74	< 19,74 e > 25,74
Março	21,91	19,91 a 23,91	18,91 a 19,91 e 23,91 a 24,91	< 18,91 e > 24,91
Abril	20,77	18,77 a 22,77	17,77 a 18,77 e 22,77 a 23,77	< 17,77 e > 23,77
Mai	18,96	16,96 a 20,96	15,96 a 16,96 e 20,96 a 21,96	< 15,96 e > 21,96
Junho	17,45	15,45 a 19,45	14,45 a 15,45 e 19,45 a 20,45	< 14,45 e > 20,45
Julho	17,14	15,14 a 19,14	14,14 a 15,14 e 19,14 a 20,14	< 14,14 e > 20,14
Agosto	17,95	15,95 a 19,95	14,95 a 15,95 e 19,95 a 20,95	< 14,95 e > 20,95
Setembro	19,08	17,08 a 21,08	16,08 a 17,08 e 21,08 a 22,08	< 16,08 e > 22,08
Outubro	20,45	18,45 a 22,45	17,45 a 18,45 e 22,45 a 23,45	< 17,45 e > 23,45
Novembro	20,59	18,59 a 22,59	17,59 a 18,59 e 22,59 a 23,59	< 17,59 e > 23,59
Dezembro	22,23	20,23 a 24,23	19,23 a 20,23 e 24,23 a 25,23	< 19,23 e > 25,23
Média	20,12	18,12 a 22,12	17,12 a 18,12 e 22,12 a 23,12	< 17,12 e > 23,12

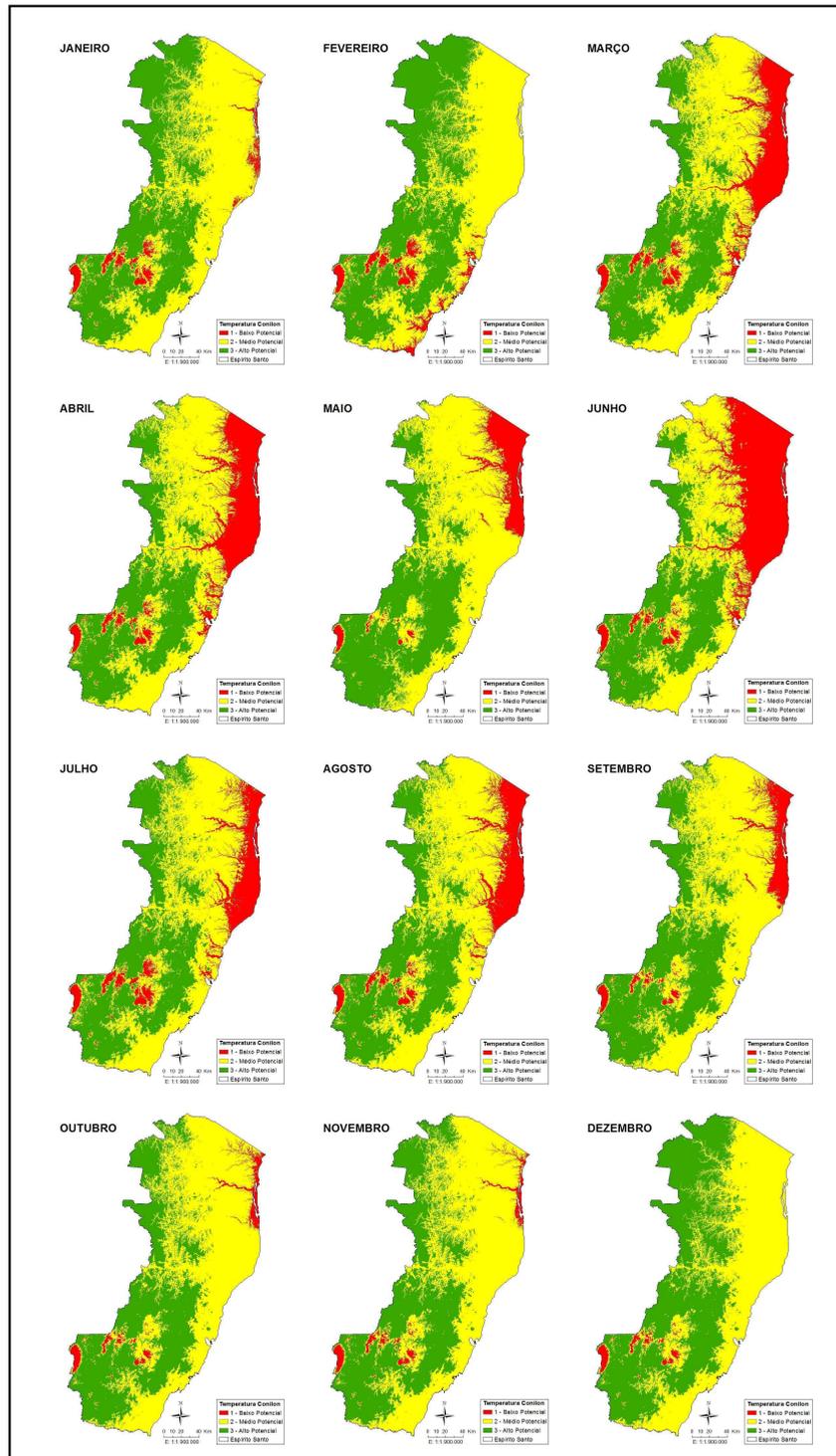


Figura 2A - Temperatura média do ar mensal reclassificada para o café conilon, para o estado do Espírito Santo.

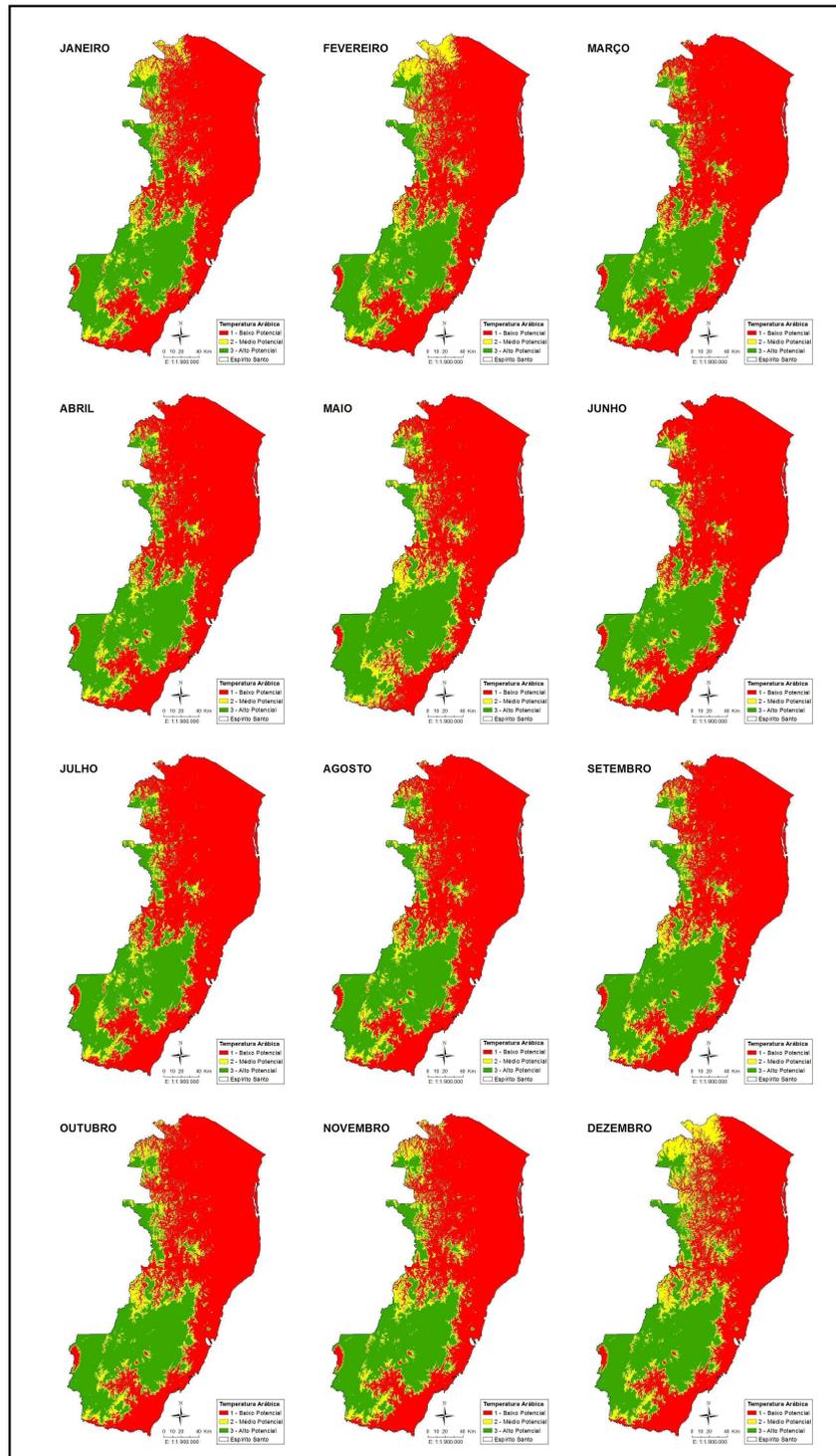


Figura 3A - Temperatura média do ar mensal reclassificada para o café arábica, para o estado do Espírito Santo.

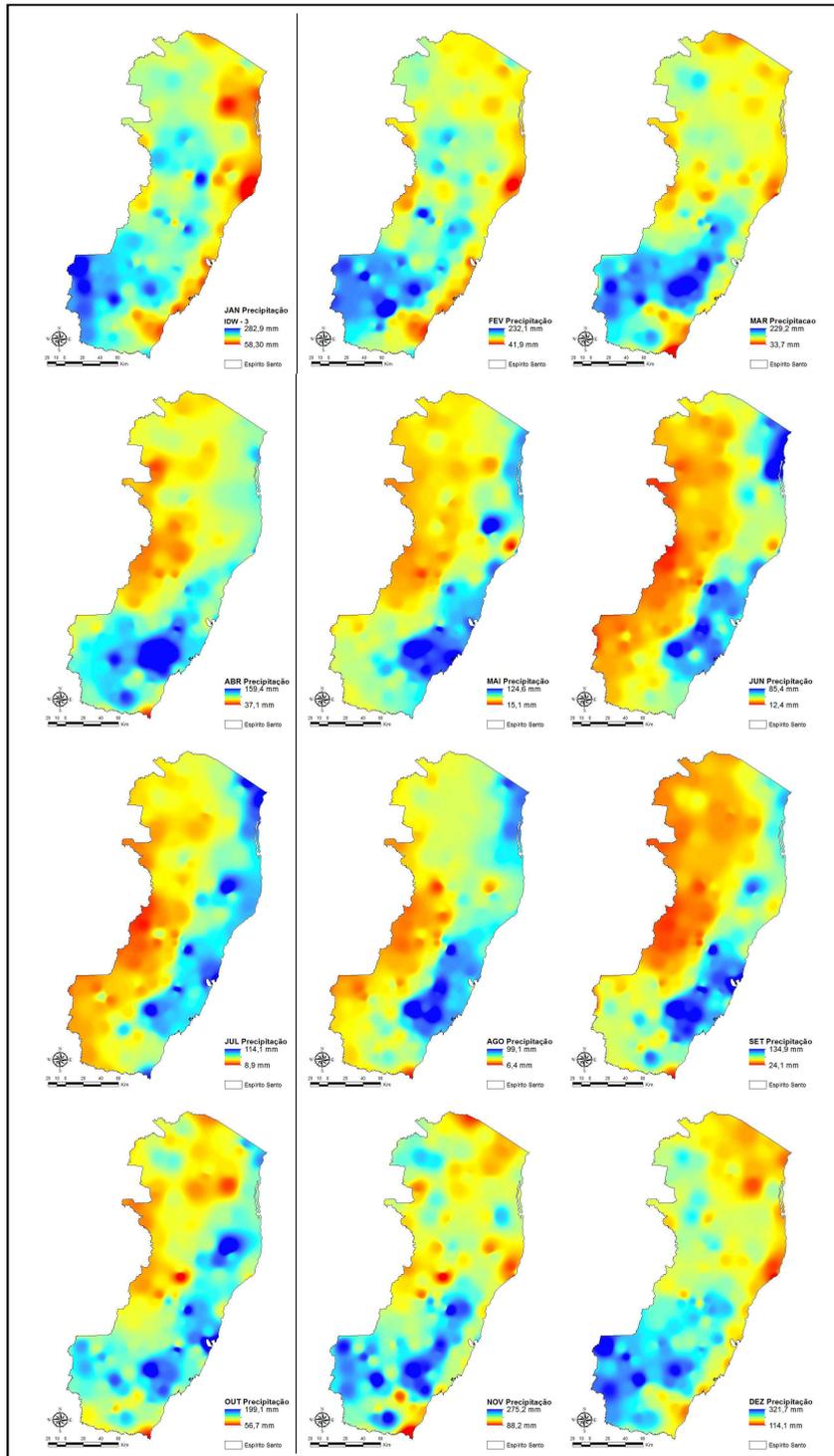


Figura 4A - Precipitação média mensal, para o estado do Espírito Santo.

Tabela 3A - Intervalos dos limites de precipitação média mensal de alto, médio e baixo potencial para o café conilon

Mês	Média (mm)	Desvio padrão	Potencial		
			Alto (mm)	Médio (mm)	Baixo (mm)
Janeiro	186,31	22,54	163,77 a 208,85	152,50 a 163,77 e > 208,85	< 152,50
Fevereiro	119,35	17,74	101,61 a 137,09	92,74 a 101,61 e > 137,09	< 92,74
Março	163,16	13,7	149,46 a 176,86	142,61 a 149,46 e > 176,86	< 142,61
Abril	114,31	11,66	102,65 a 125,97	96,82 a 102,65 e > 125,97	< 96,82
Mai	63,51	13,66	49,85 a 77,17	43,02 a 49,85 e > 77,17	< 43,02
Junho	38,73	14,11	24,62 a 52,84	17,56 a 24,62 e > 52,84	< 17,56
Julho	47,82	17,31	30,51 a 65,13	21,85 a 30,51 e > 65,13	< 21,85
Agosto	42,02	14,77	27,25 a 56,79	19,86 a 27,25 e > 56,79	< 19,86
Setembro	69,57	14,13	55,44 a 83,70	48,37 a 55,44 e > 83,70	< 48,37
Outubro	124,33	9,49	114,84 a 133,82	110,09 a 114,84 e > 133,82	< 110,09
Novembro	208,03	12,47	195,56 a 220,5	189,32 a 195,56 e > 220,5	< 189,32
Dezembro	234,83	21,03	213,80 a 255,86	203,28 a 213,80 e > 255,86	< 203,28
Soma	1411,97	-	1229,36 a 1594,58	1138,05 a 1229,36 e > 1594,58	< 1138,05

Tabela 4A - Intervalos dos limites de precipitação média mensal de alto, médio e baixo potencial para o café arábica

Mês	Média (mm)	Desvio padrão	Potencial		
			Alto (mm)	Médio (mm)	Baixo (mm)
Janeiro	210,15	27,02	183,13 a 237,17	169,62 a 183,13 e > 237,17	< 169,62
Fevereiro	127,75	13,56	114,19 a 141,31	107,41 a 114,19 e > 141,31	< 107,41
Março	178,26	18,78	159,48 a 197,04	150,09 a 159,48 e > 197,04	< 150,09
Abril	105,10	20,39	84,71 a 125,49	74,51 a 84,71 e > 125,49	< 74,51
Mai	58,60	17,68	40,92 a 76,28	32,08 a 40,92 e > 76,28	< 32,08
Junho	37,46	17,55	19,91 a 55,01	11,13 a 19,91 e > 55,01	< 11,13
Julho	44,01	21,49	22,52 a 65,5	11,77 a 22,52 e > 65,50	< 11,77
Agosto	40,00	19,5	20,5 a 59,5	10,75 a 20,50 e > 59,50	< 10,75
Setembro	66,92	18,87	48,05 a 85,79	38,61 a 48,05 e > 85,79	< 38,61
Outubro	127,61	13,74	113,87 a 141,35	107,00 a 113,87 e > 141,35	< 107,00
Novembro	221,22	16,46	204,76 a 237,68	196,53 a 204,76 e > 237,68	< 196,53
Dezembro	246,94	24,54	222,4 a 271,48	210,13 a 222,40 e > 271,48	< 210,13
Soma	1464,02	-	1234,44 a 1693,60	1119,65 a 1234,44 e > 1693,60	< 1119,65

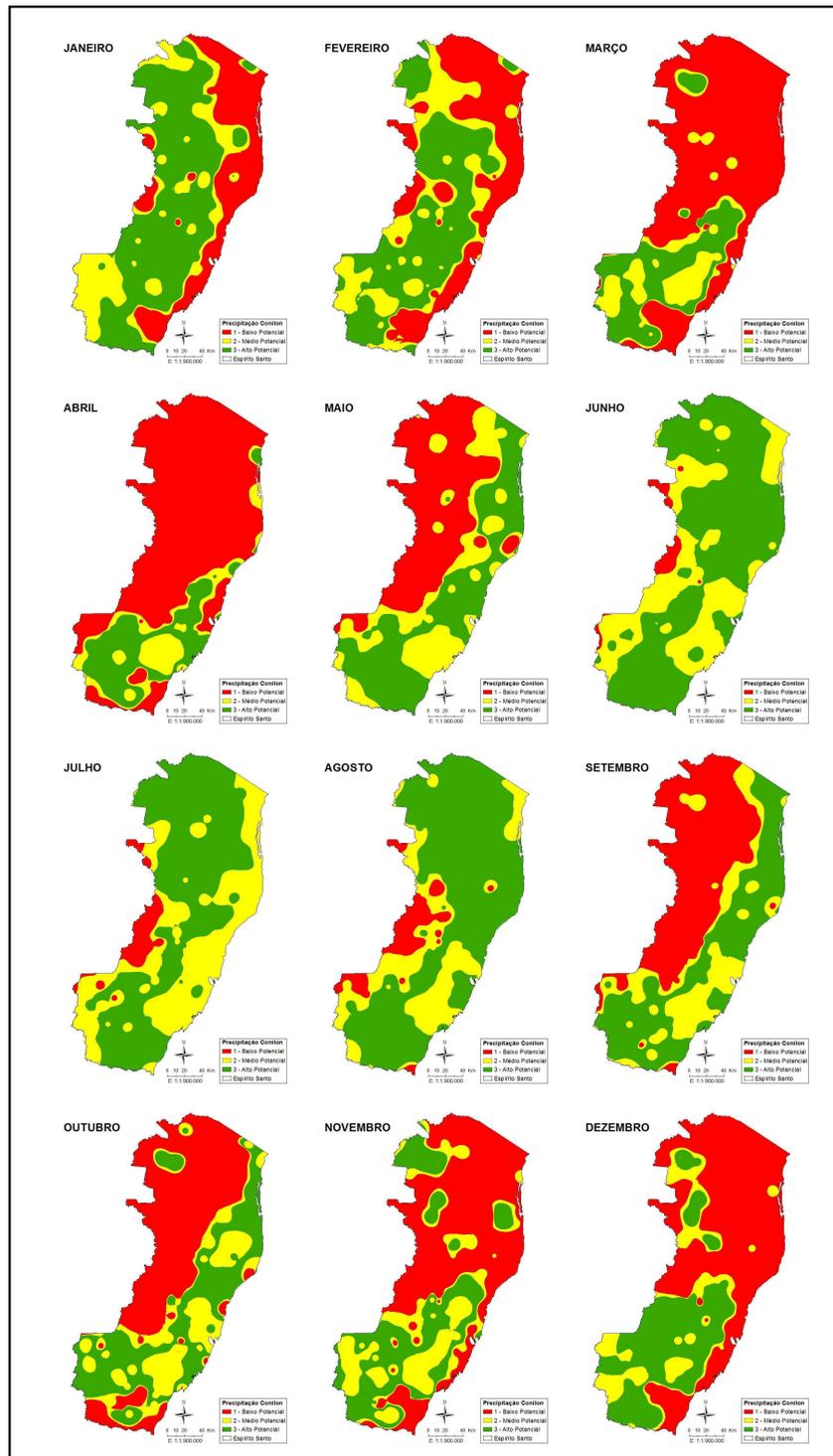


Figura 5A - Precipitação média mensal reclassificada para o café conilon, para o estado do Espírito Santo.

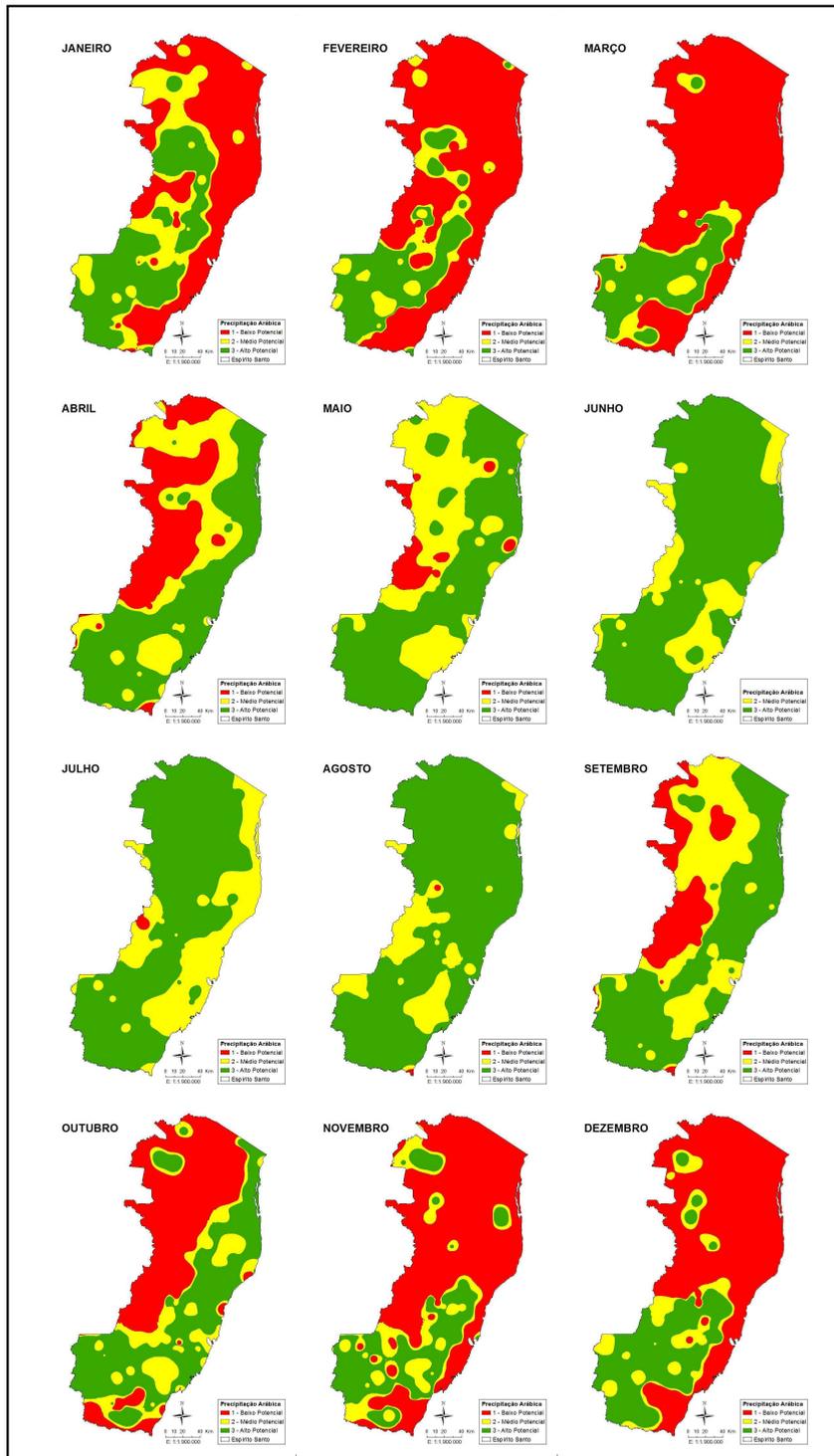


Figura 6A - Precipitação média mensal reclassificada para o café arábica, para o estado do Espírito Santo.

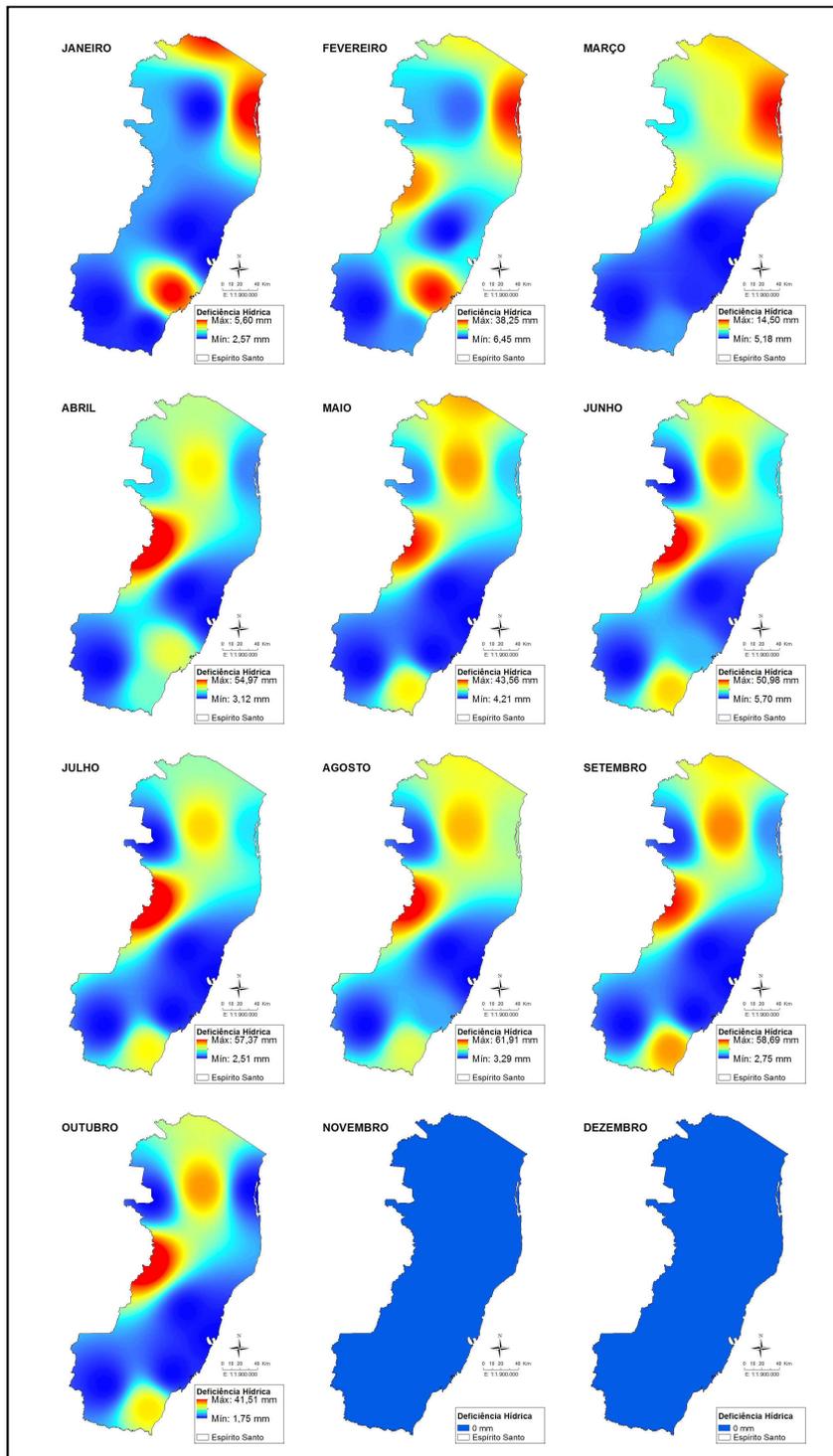


Figura 7A - Deficiência hídrica média mensal, para o estado do Espírito Santo.

Tabela 5A - Intervalos dos limites de deficiência hídrica média mensal de alto, médio e baixo potencial para o café conilon

Mês	Média (mm)	Desvio padrão	Potencial		
			Alto (mm)	Médio (mm)	Baixo (mm)
Janeiro	5,47	1,88	3,59 a 7,35	7,35 a 8,29 e < 3,59	> 8,29
Fevereiro	11,04	13,1	-2,06 a 24,14	24,14 a 30,69 e < -2,06	> 30,69
Março	0,58	0,54	0,04 a 1,12	1,12 a 1,39 e < 0,04	> 1,39
Abril	8,39	9,15	-0,76 a 17,54	17,54 a 22,11 e < -0,76	> 22,11
Mai	3,22	4,80	-1,58 a 8,02	8,02 a 10,42 e < -1,58	> 10,42
Junho	6,56	6,26	0,3 a 12,82	12,82 a 15,95 e < 0,3	> 15,95
Julho	3,65	5,01	-1,36 a 8,66	8,66 a 11,16 e < -1,36	> 11,16
Agosto	7,33	6,68	0,65 a 14,01	14,01 a 17,35 e < 0,65	> 17,35
Setembro	5,42	7,92	-2,5 a 13,34	13,34 a 17,30 e < -2,5	> 17,30
Outubro	2,66	3,98	-1,32 a 6,64	6,64 a 8,63 e < -1,32	> 8,63
Novembro	0	0	0	0	0
Dezembro	0	0	0	0	0
Soma	1464,02	-	-5 a 113,64	113,64 a 143,30 e < -5	> 143,30

Tabela 6A - Intervalos dos limites de deficiência hídrica média mensal de alto, médio e baixo potencial para o café arábica

Mês	Média (mm)	Desvio Padrão	Potencial		
			Alto (mm)	Médio (mm)	Baixo (mm)
Janeiro	1,27	1,57	-0,30 a 2,84	2,84 a 3,62 e < -0,30	> 3,62
Fevereiro	10,79	11,13	-0,34 a 21,92	21,92 a 27,48 e < -0,34	> 27,48
Março	0,82	0,72	0,10 a 1,54	1,54 a 1,90 e < 0,10	> 1,90
Abril	7,97	7,63	0,34 a 15,60	15,60 a 19,41 e < 0,34	> 19,41
Mai	2,87	2,32	0,55 a 5,19	5,19 a 6,35 e < 0,55	> 6,35
Junho	6,2	4,07	2,13 a 10,27	10,27 a 12,30 e < 2,13	> 12,30
Julho	4,24	3,84	0,40 a 8,08	8,08 a 10,00 e < 0,40	> 10,00
Agosto	8,01	5,39	2,62 a 13,40	13,40 a 16,09 e < 2,62	> 16,09
Setembro	5,08	4,20	0,88 a 9,28	9,28 a 11,38 e < 0,88	> 11,38
Outubro	2,4	1,93	0,47 a 4,33	4,33 a 5,29 e < 0,47	> 5,29
Novembro	0	0	0	0	0
Dezembro	0	0	0	0	0
Soma	1464,02	-	6,85 a 92,45	92,45 a 113,85 e < 6,85	> 113,85

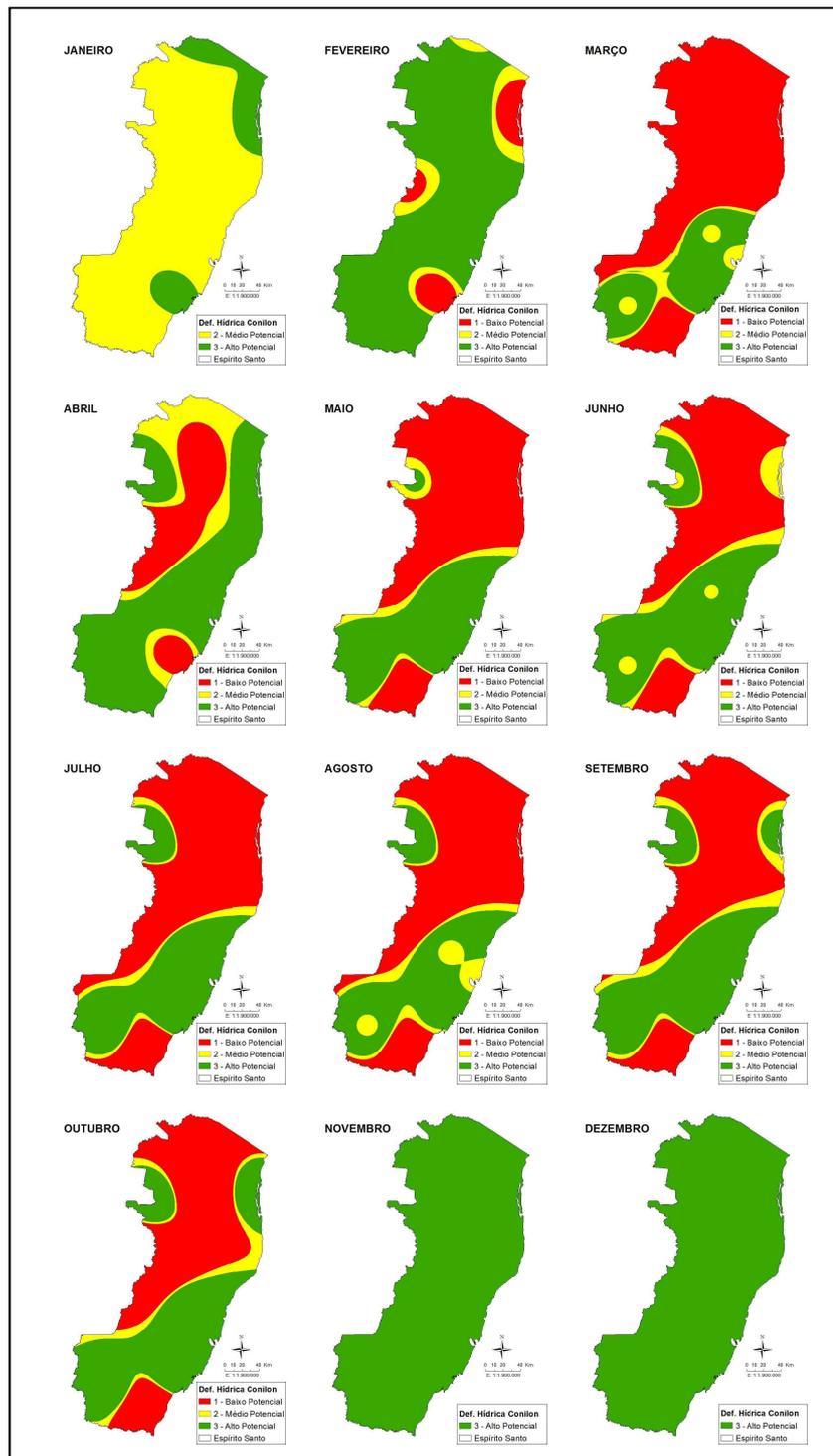


Figura 8A - Deficiência hídrica média mensal reclassificada em alto, médio e baixo potencial para o café conilon, para o estado do Espírito Santo.

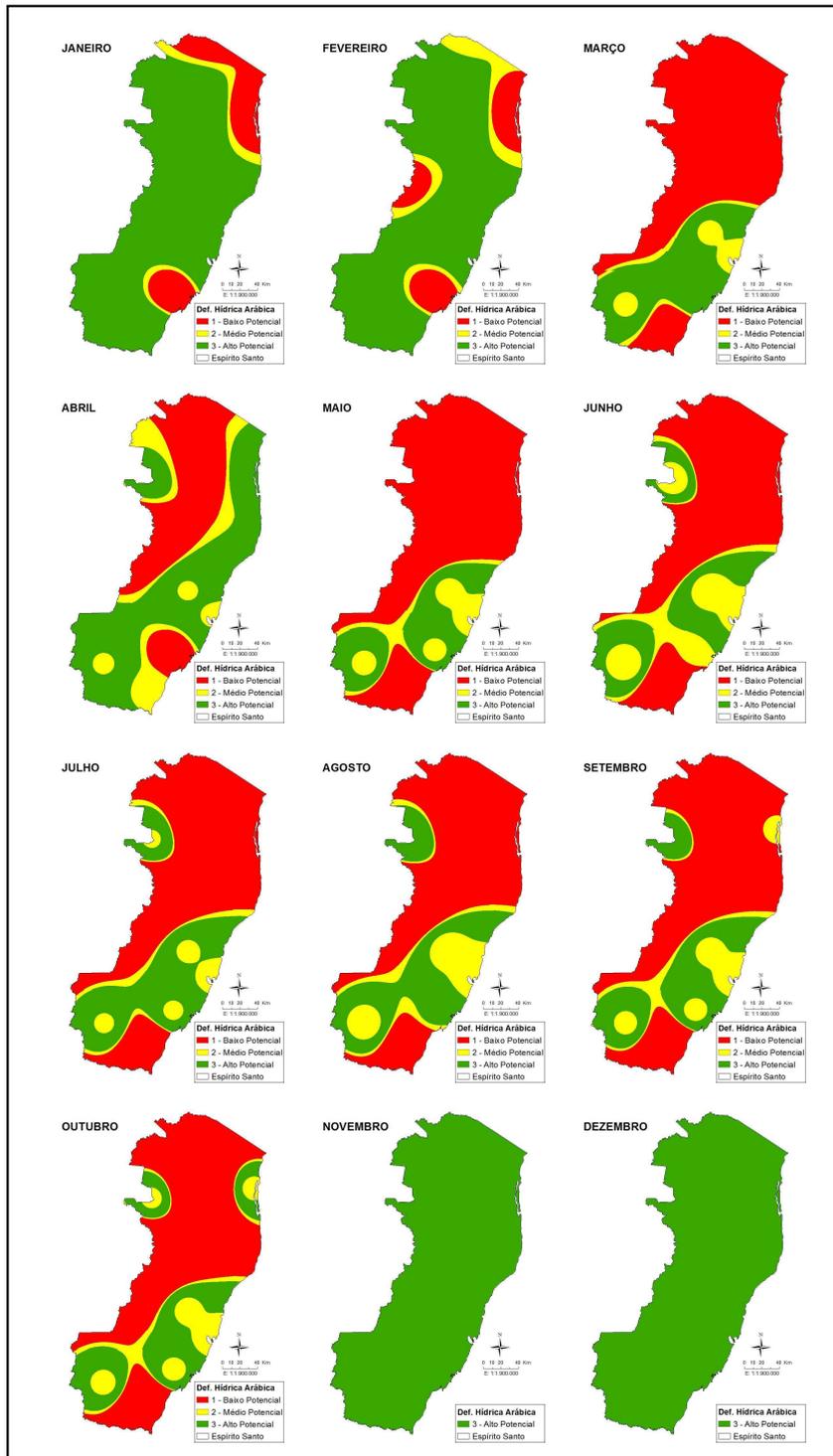


Figura 9A - Deficiência hídrica média mensal reclassificada em alto, médio e baixo potencial para o café arábica, para o estado do Espírito Santo.

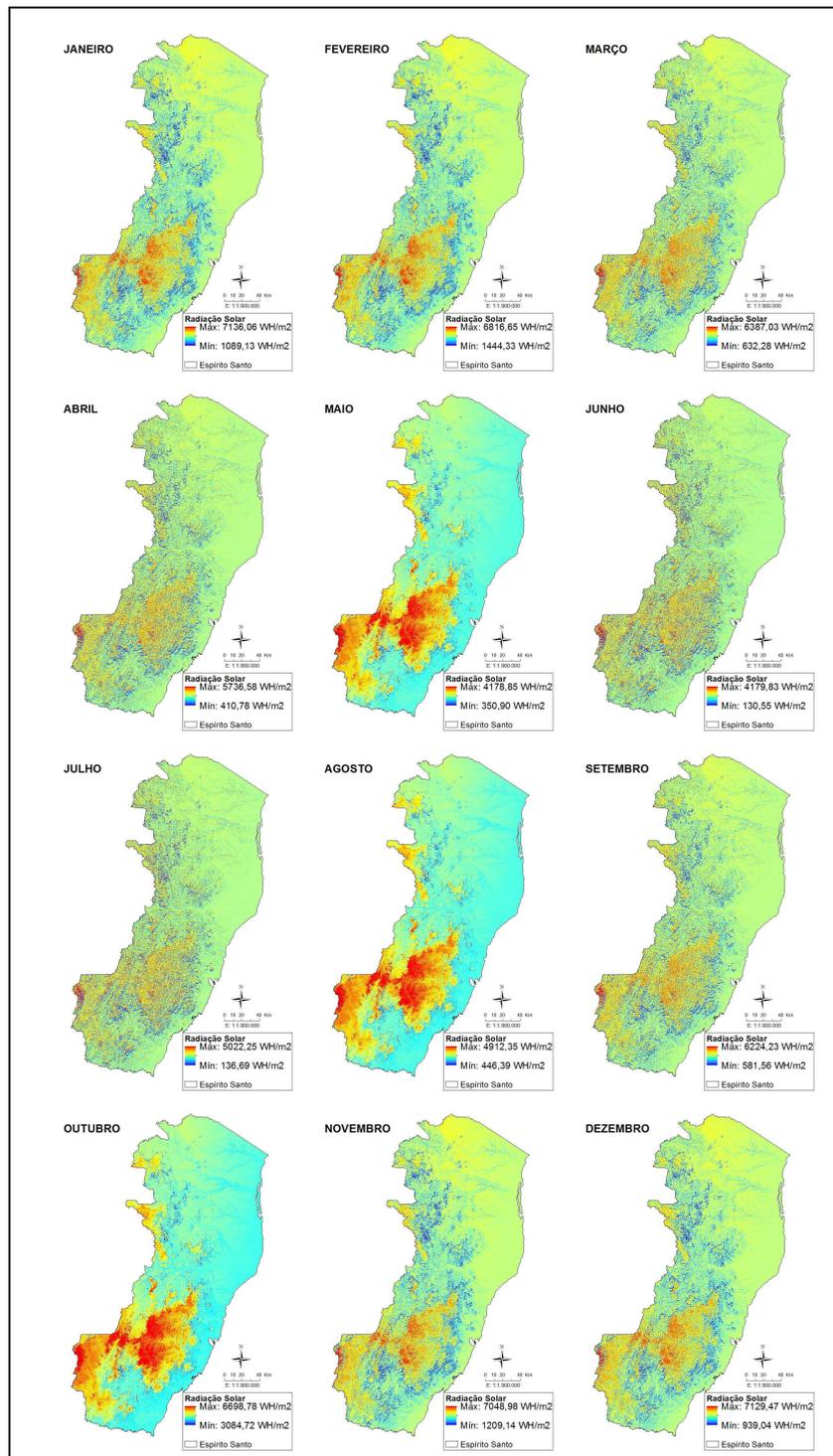


Figura 10A - Radiação média diária mensal, para o estado do Espírito Santo.

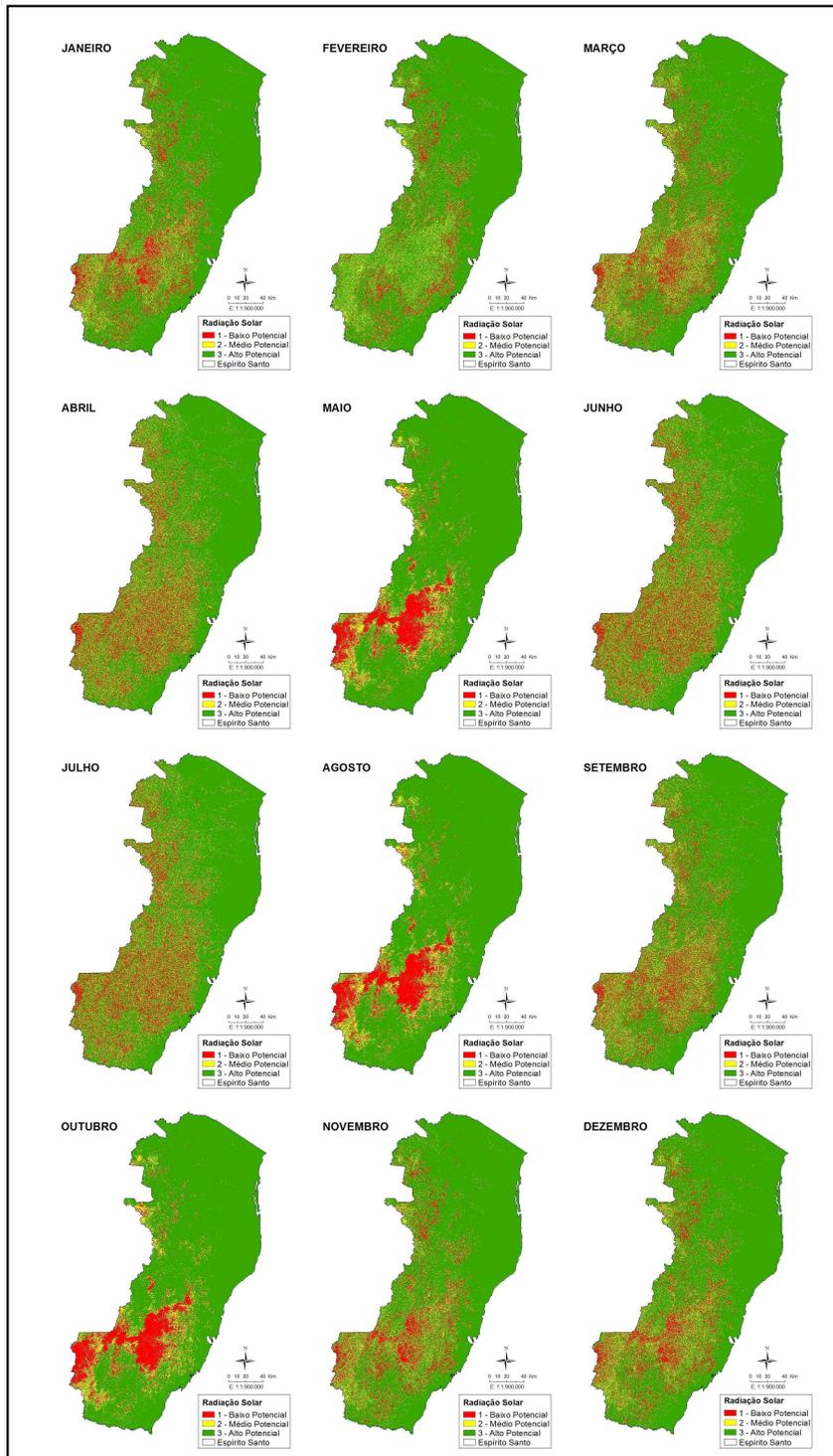


Figura 11A - Radiação média diária mensal, reclassificada em alto (3), médio (2) e baixo (1) potencial, para o estado do Espírito Santo.

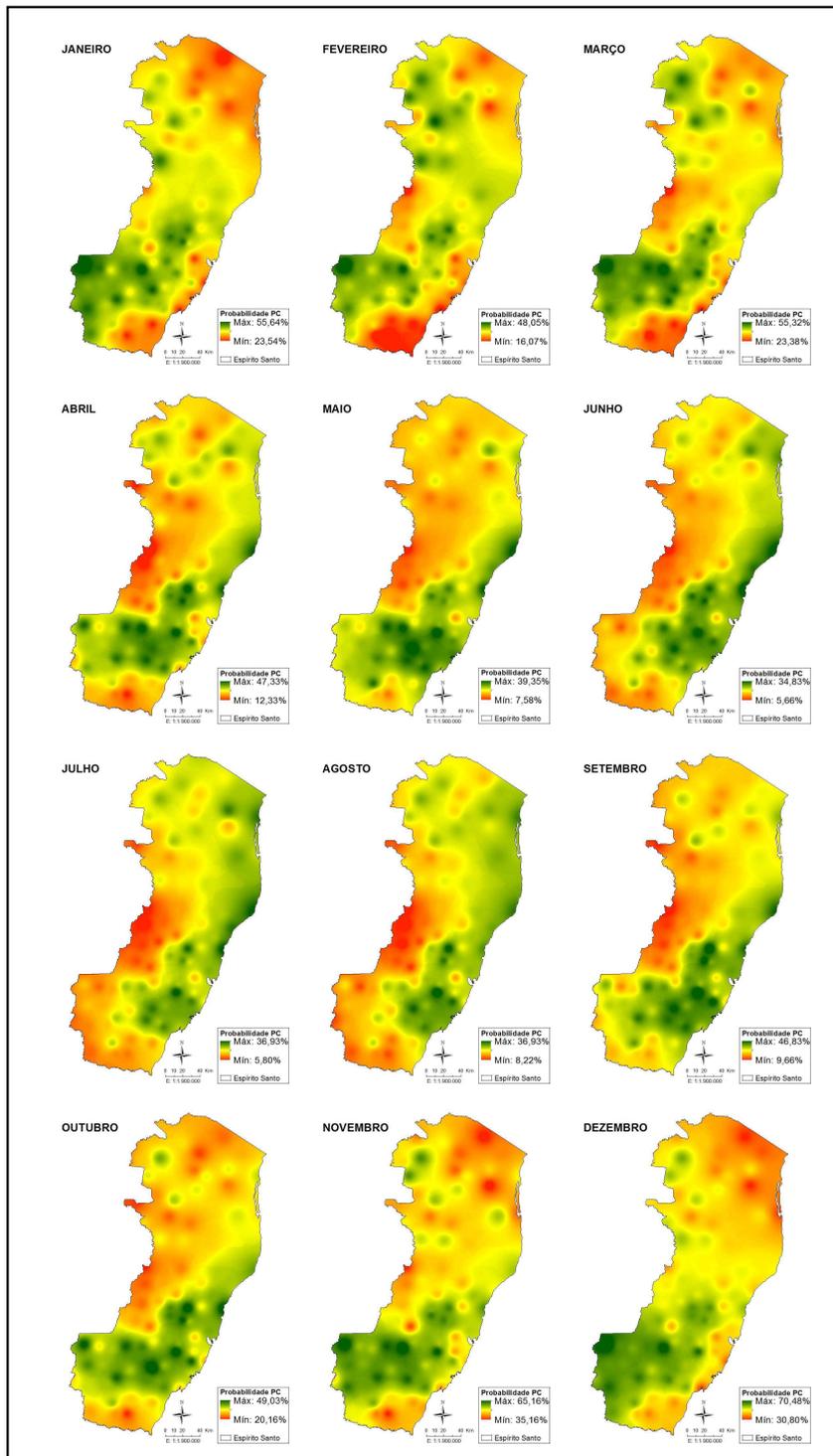


Figura 12A - Probabilidade de período chuvoso para o estado do Espírito Santo.

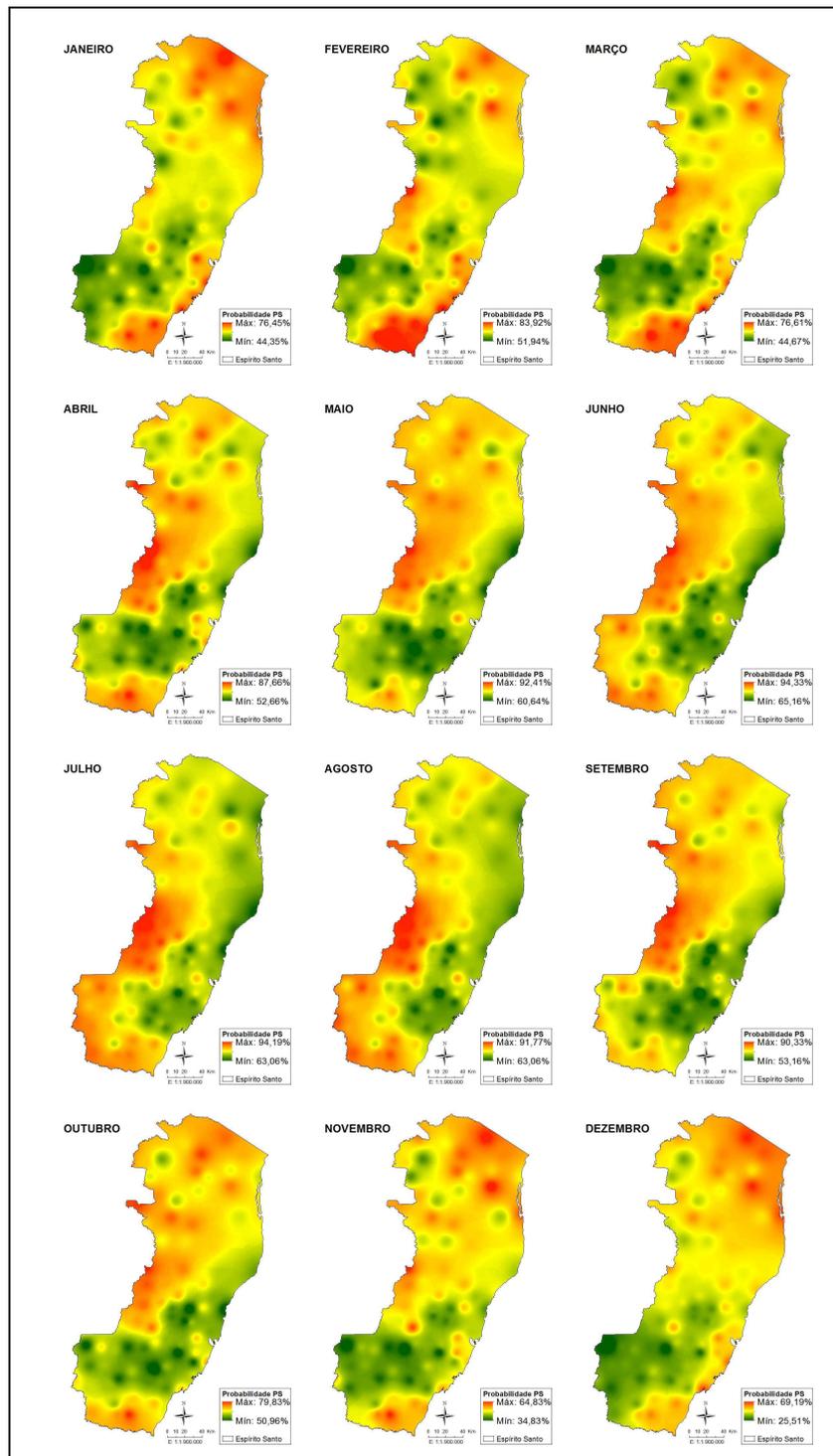


Figura 13A - Probabilidade de período seco para o estado do Espírito Santo.

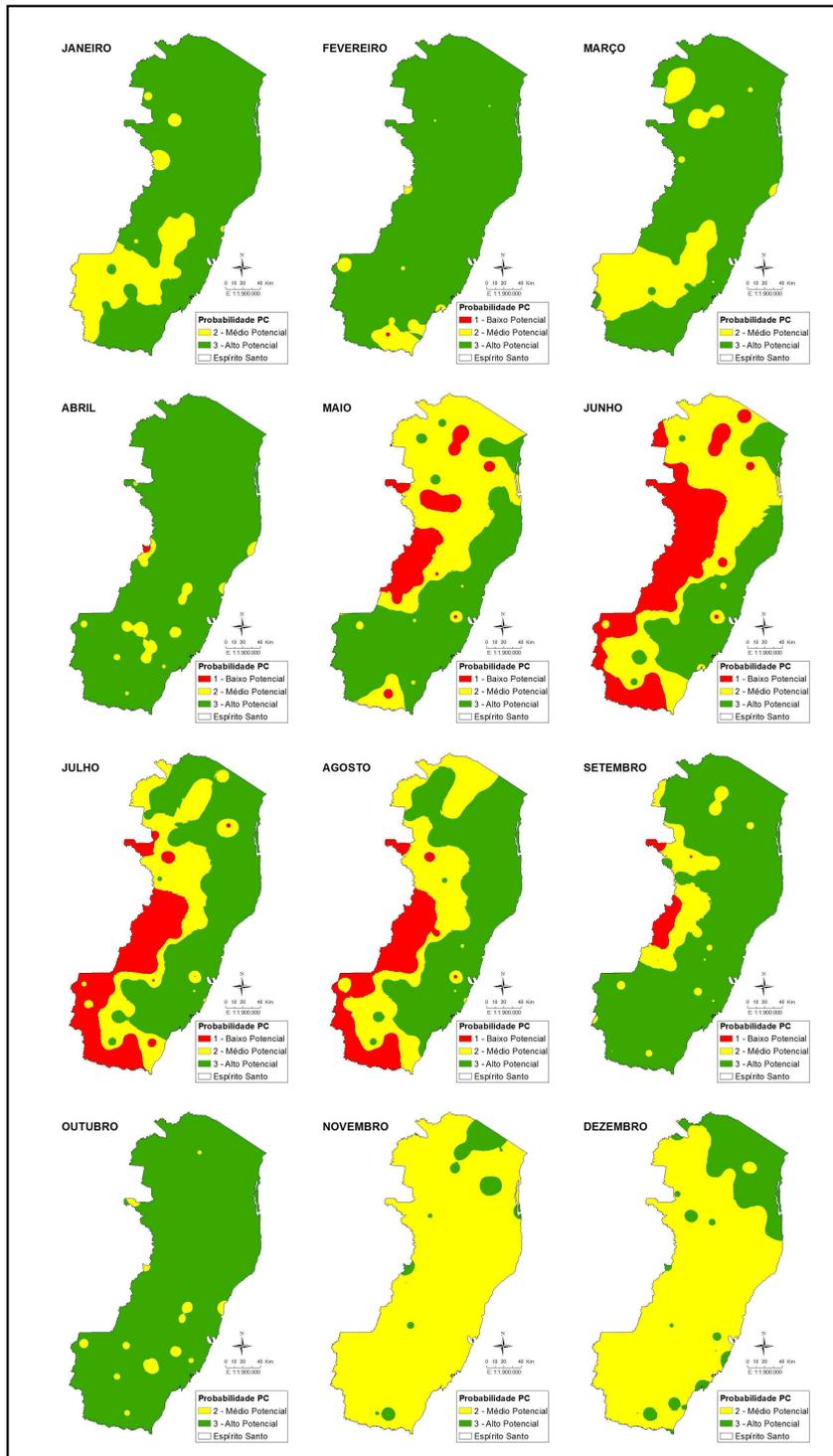


Figura 14A - Classificação da probabilidade de período chuvoso para o estado do Espírito Santo.

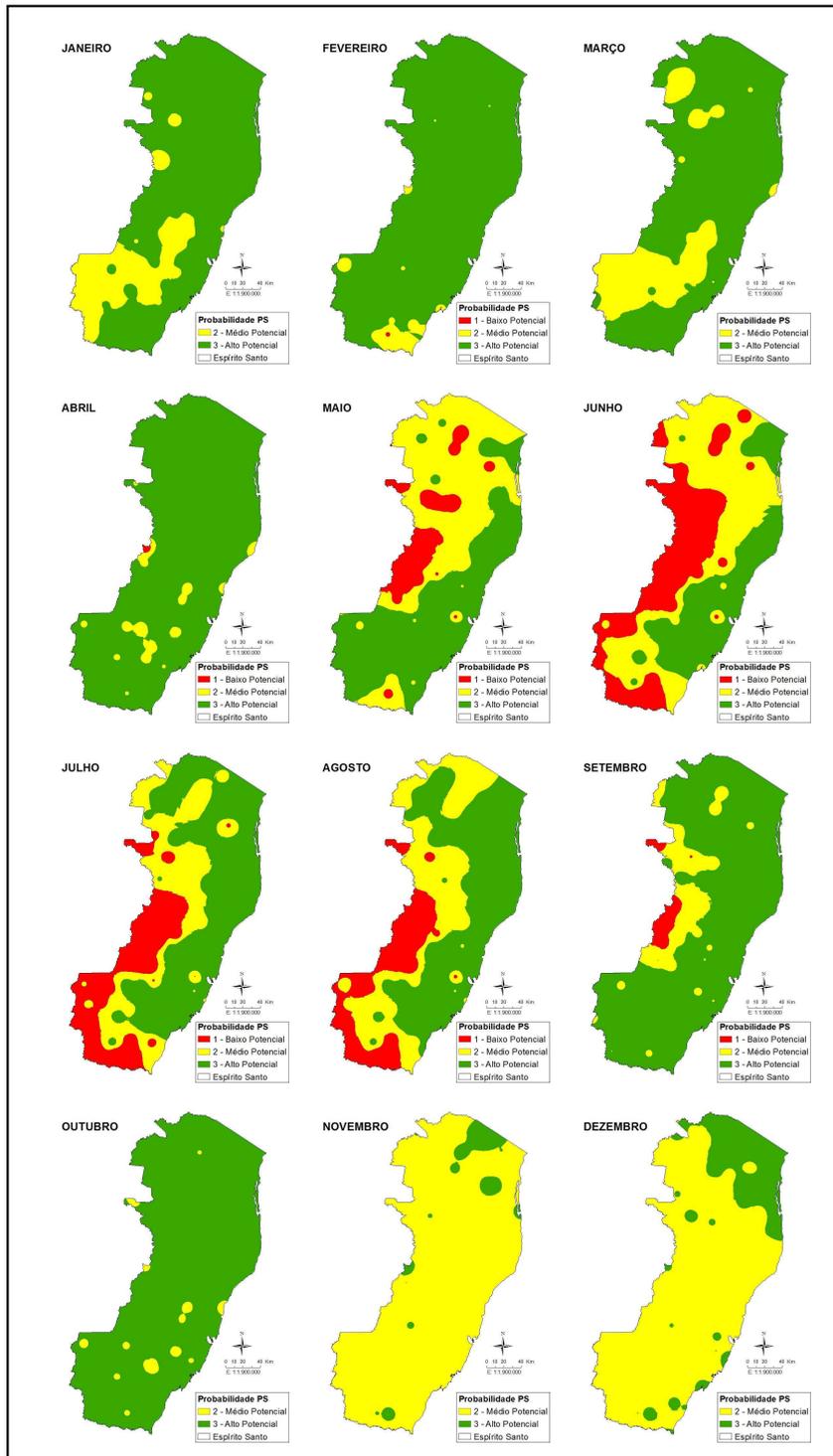


Figura 15A - Classificação da probabilidade de período seco para o estado do Espírito Santo.

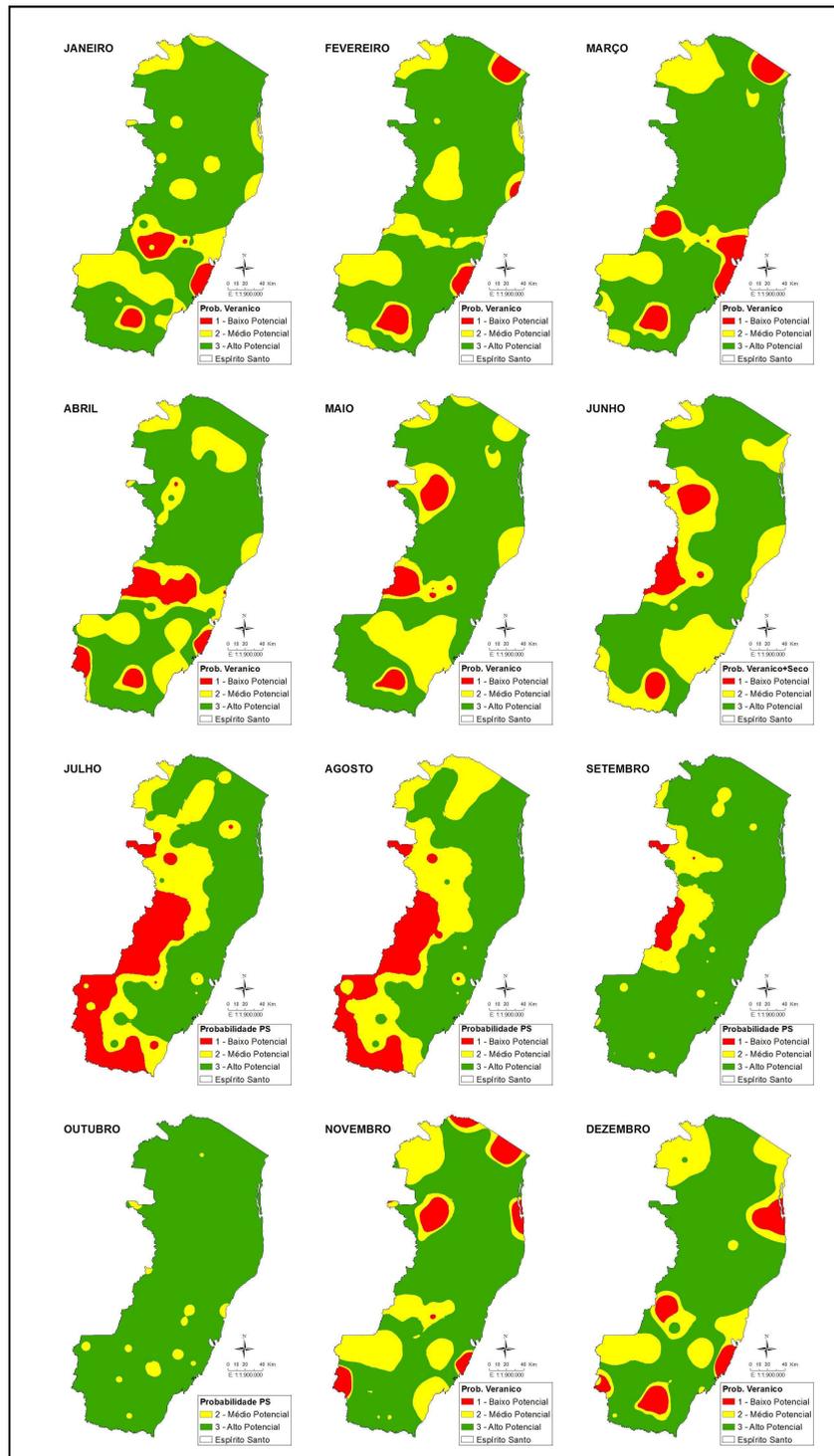


Figura 16A - Probabilidade de período seco com veranico reclassificado em alto, médio e baixo potencial, para o estado do Espírito Santo.

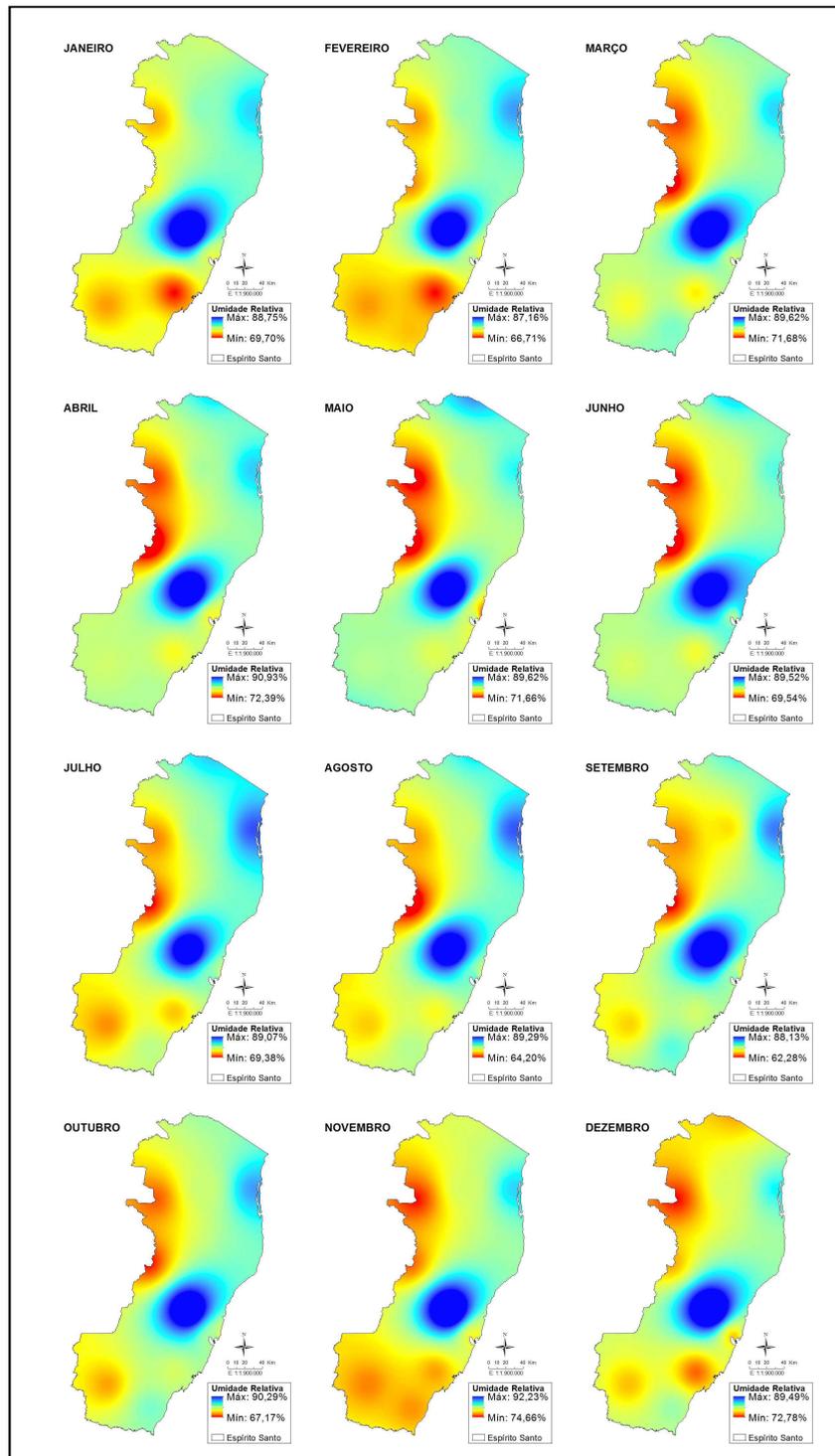


Figura 17A - Umidade relativa média mensal para o estado do Espírito Santo.

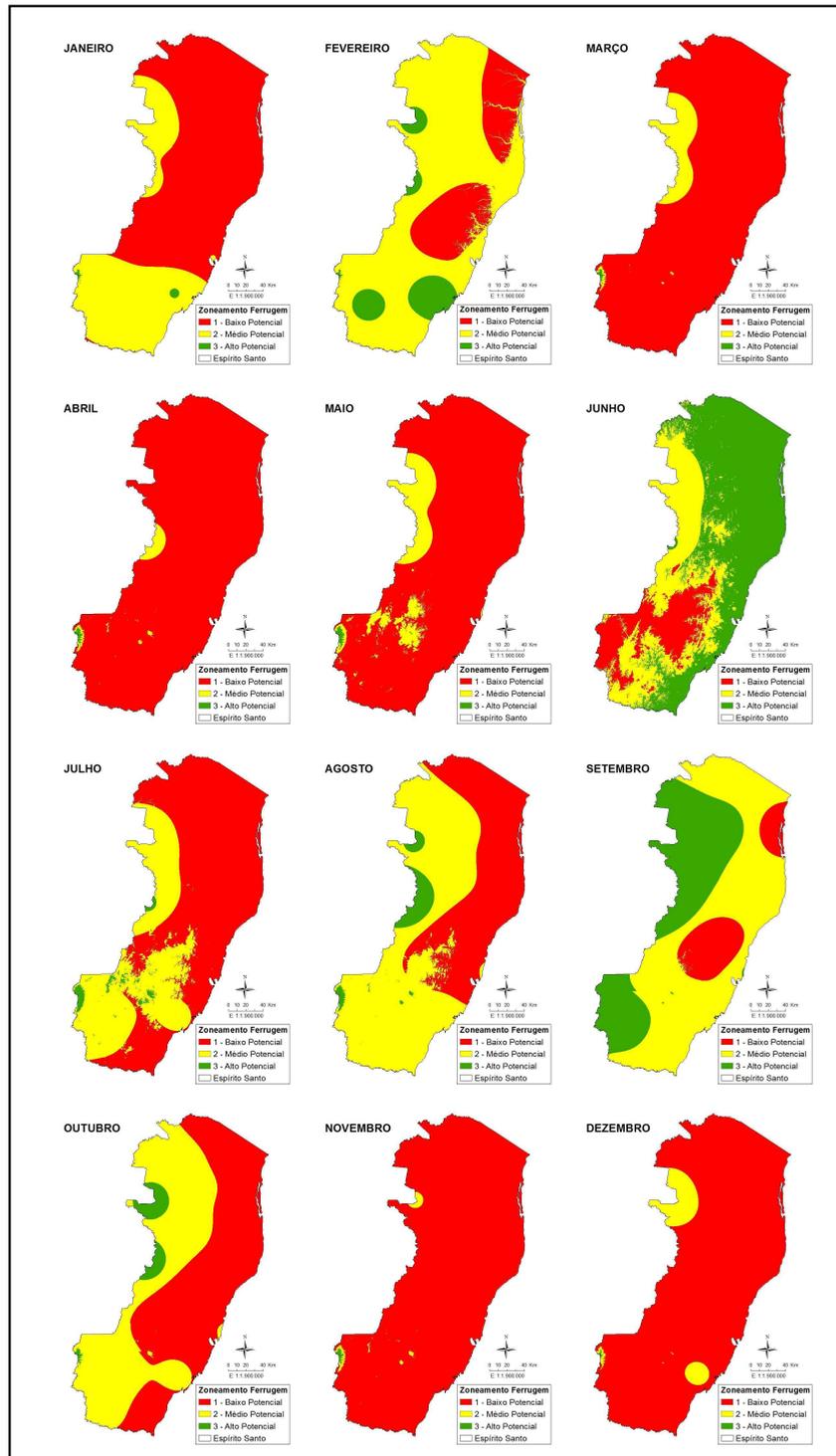


Figura 18A - Zoneamento climático para a ferrugem do cafeeiro reclassificado, para o estado Espírito Santo.

## ANEXO

Tabela 1A - Produção e rendimento dos municípios do Espírito Santo

Município	Rendimento (sc/ha)			Produção (toneladas)		
	Arábia	Conilon	Total	Arábica	Conilon	Total
Afonso Cláudio	11,8	16,0	27,8	12744	2880	15624
Água Doce do Norte	6,8	11,5	18,3	1591	5175	6766
Águia Branca	0,0	23,1	23,1	0	9009	9009
Alegre	8,0	16,3	24,3	3072	1467	4539
Alfredo Chaves	11,6	22,7	34,3	1601	2452	4052
Alto Rio Novo	6,8	10,6	17,4	1845	477	2322
Anchieta	0,0	32,0	32,0	0	3648	3648
Apiacá	12,0	16,6	28,6	1877	155	2032
Aracruz	0,0	27,2	27,2	0	5892	5892
Atilio Vivacqua	0,0	28,9	28,9	0	2898	2898
Baixo Guandu	10,7	16,3	27,0	3520	1760	5280
Barra de São Francisco	6,7	11,2	17,9	200	9408	9608
Boa Esperança	0,0	32,0	32,0	0	8256	8256
Bom Jesus do Norte	0,0	11,0	11,0	0	30	30
Brejetuba	13,5	0,0	13,5	14580	0	14580
Cachoeiro de Itapemirim	0,0	20,7	20,7	0	6831	6831
Cariacica	0,0	19,0	19,0	0	342	342
Castelo	12,0	20,4	32,4	3960	6120	10080
Colatina	8,0	13,6	21,6	480	10608	11088
Conceição da Barra	0,0	21,7	21,7	0	547	547
Conceição do Castelo	14,5	21,9	36,4	3306	1577	4883
Divino de São Lourenço	10,0	0,0	10,0	1680	0	1680
Domingos Martins	12,9	0,0	12,9	5418	0	5418
Dores do Rio Preto	13,1	0,0	13,1	2908	0	2908
Ecoporanga	8,3	12,2	20,5	500	3294	3794
Fundão	0,0	20,4	20,4	0	2956	2956
Governador Lindenberg	0,0	17,8	17,8	0	11534	11534
Guaçuí	12,0	0,0	12,0	4680	0	4680
Guarapari	0,0	18,2	18,2	0	983	983
Ibatiba	13,0	0,0	13,0	6630	0	6630
Ibiraçu	0,0	24,4	24,4	0	2792	2792
Ibitirama	15,0	0,0	15,0	6660	0	6660
Iconha	0,0	20,4	20,4	0	3182	3182
Irupi	14,8	0,0	14,8	8436	0	8436
Itaguaçu	10,0	22,7	32,7	2760	17325	20085
Itapemirim	0,0	0,0	0,0	0	0	0
Itarana	12,0	32,1	44,1	3039	2648	5688
Iúna	12,4	0,0	12,4	13154	0	13154
Jaguaré	0,0	39,1	39,1	0	42228	42228
Jerônimo Monteiro	0,0	20,4	20,4	0	2625	2625
João Neiva	0,0	24,4	24,4	0	4029	4029
Laranja da Terra	0,0	23,9	23,9	0	4876	4876
Linhares	0,0	20,2	20,2	0	17586	17586
Mantenópolis	6,8	12,9	19,7	1763	929	2692
Marataízes	0,0	0,0	0,0	0	0	0
Marechal Floriano	15,6	0,0	15,6	3744	0	3744
Marilândia	0,0	22,8	22,8	0	12312	12312
Mimoso do Sul	12,0	16,3	28,3	4680	3716	8396
Montanha	0,0	24,4	24,4	0	8784	8784
Mucurici	0,0	24,4	24,4	0	187	187
Muniz Freire	14,0	24,6	38,6	11760	53	11813
Muqui	12,8	16,3	29,1	922	2249	3171
Nova Venécia	0,0	21,6	21,6	0	27216	27216
Pancas	8,0	11,4	19,4	720	9234	9954

Continua...

Tabela 1A, continuação

Município	Rendimento (sc/ha)			Produção (toneladas)		
	Arábia	Conilon	Total	Arábica	Conilon	Total
Pedro Canário	0,0	21,7	21,7	0	234	234
Pinheiros	0,0	32,3	32,3	0	13178	13178
Piúma	0,0	16,6	16,6	0	229	229
Ponto Belo	0,0	20,4	20,4	0	624	624
Presidente Kennedy	0,0	17,3	17,3	0	498	498
Rio Bananal	0,0	22,2	22,2	0	22977	22977
Rio Novo do Sul	11,9	16,3	28,2	889	929	1818
Santa Leopoldina	12,1	20,8	32,9	1481	2147	3628
Santa Maria de Jetibá	13,2	0,0	13,2	4514	0	4514
Santa Teresa	12,5	27,2	39,7	4125	5712	9837
São Domingos do Norte	0,0	22,9	22,9	0	9618	9618
São Gabriel da Palha	0,0	23,9	23,9	0	20076	20076
São José do Calçado	13,0	13,6	26,6	2184	306	2490
São Mateus	0,0	24,4	24,4	0	19779	19779
São Roque do Canaã	9,0	19,1	28,1	810	6303	7113
Serra	0,0	28,0	28,0	0	1058	1058
Sooretama	0,0	24,2	24,2	0	29040	29040
Vargem Alta	11,9	17,3	29,2	11424	882	12306
Venda Nova do Imigrante	15,8	0,0	15,8	3697	0	3697
Viana	0,0	19,0	19,0	0	801	801
Vila Pavão	0,0	18,5	18,5	0	11100	11100
Vila Valério	0,0	23,4	23,4	0	31590	31590
Vila Velha	0,0	14,8	14,8	0	16	16
Vitória	0,0	0,0	0,0	0	0	0

Fonte: CETCAF (2013).