



Zoneamento agroclimatológico do *Coffea canephora* para o Espírito Santo mediante interpolação espacial

Alexandre Rosa dos Santos
Fabrício Moulin Mota
Fernando Coelho Eugenio
Telma Machado de Oliveira Peluzio
João Batista Esteves Peluzio
Rosemberg Bragança
Nathália Suemi Saito



1. Introdução


No cenário atual, o agronegócio mostra-se como um dos principais motores da economia brasileira, contribuindo sobremaneira para o saldo positivo da balança comercial. Dentre os vários produtos agrícolas, o café apresenta grande importância, estando presente em todas as regiões do país, empregando um grande contingente de pessoas e distribuindo renda.

Apesar da importância e da histórica presença, sua continuidade como cultura economicamente viável depende, enormemente, de constantes estudos visando, principalmente, a eficiência no sistema produtivo.

Atualmente, o Sudeste responde por aproximadamente 90% do café produzido no Brasil, destacadamente nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Neste último, tem-se cerca de 25% da produção brasileira e especificamente em café conilon, ao redor de 75% da produção nacional (CONAB, 2014).

No Espírito Santo, apesar da ausência de comprovação histórica, estima-se que o cultivo de café tenha se enraizado por volta de 1870, especialmente no Sul, no entorno de Cachoeiro de Itapemirim, que presenciou a consolidação de grandes fazendas de café, incluindo a presença de Barões (Oliveira, 2008). O café passou a ter importância econômica à partir do início do século vinte (Almada, 1984). É importante destacar que até a década de 60 do século XX, o café arábica foi quase absoluto como espécie cultivada.

Conforme Daré (2010), a região sul possuía grandes fazendas de café enquanto a região de Vitória, apresentava estrutura fundiária basicamente formada por pequenas propriedades e agricultura de subsistência.



A estrutura fundiária em termos de distribuição é a segunda melhor do país, sendo que a cafeicultura assenta-se, de forma muito forte, na agricultura de base familiar.

O café conilon, centenário no Espírito Santo, passa a ter importância econômica à partir de 1960, quando a cafeicultura de arábica atinge sua maior crise no estado (Rocha e Morandi, 2012). A partir de então, o conilon assumiu a dianteira no estado, respondendo, atualmente, por 70% da produção (CONAB, 2014).

Assim, hoje em dia, existe um vínculo de memória quase imediato entre o estado do Espírito Santo e o café conilon.

É importante ressaltar a participação dos produtores capixabas que com seu pioneirismo e espírito empreendedor introduziram e experimentaram o café conilon nas mais variadas regiões do estado, sob as mais diversas condições edafo-climáticas. Apesar da reconhecida importância do empirismo, o conhecimento científico assumiu a dianteira na produção de café, traduzido em diversos estudos, tecnologias e recomendações. Ressalta-se aqui o papel fundamental do Instituto Capixaba de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural (INCAPER), na construção do conhecimento sobre café conilon.

Dentre as inúmeras vertentes de pesquisa necessárias e desenvolvidas em café conilon, têm-se os estudos de aclimação ambiental e fenologia, culminando nos zoneamentos climático e agroclimático.

A aptidão climática de áreas para o cultivo de espécies de interesse agrícola é um dos principais focos da agrometeorologia, constituindo o zoneamento agroclimatológico. De acordo com Ometto (1981) este zoneamento é uma técnica para identificar regiões mais favoráveis ao desenvolvimento de uma determinada cultura em estudo, locais estes que



quando as condições edafoclimáticas e econômicas são adequadas podem proporcionar desenvolvimento significativo das espécies.

Camargo (1985) afirma que o zoneamento agroclimatológico para a cultura do café constitui um importante instrumento no planejamento e consolidação da atividade cafeeira, devendo ser considerado em sua planificação.

Em função de sua importância, do dinamismo dos dados utilizados e do ferramental disponível, fazem-se necessárias atualizações frequentes no zoneamento agroclimático. No Espírito Santo, considerando todo o território, podem ser citados os trabalhos desenvolvidos por Dadalto e Barbosa (1997), Taques e Dadalto (2007), Pezzopane et al. (2012) e Bragança (2012).


Em todos os trabalhos de zoneamento agroclimático para café, independentemente da espécie cultivada, leva-se em consideração, principalmente, a temperatura, a precipitação e o déficit hídrico.

Segundo Matiello (2002), os principais fatores climáticos que interferem com o crescimento e desenvolvimento das plantas de café são temperatura e precipitação; seguidos, em menor importância, pelo vento, umidade relativa do ar e luminosidade.

Nos estudos de fenologia do café, se junta às condições climáticas com mudanças morfológicas dos genótipos e fenótipos, gerando informações e entendimentos que auxiliam na identificação de novas variáveis que podem corroborar com o refinamento dos zoneamentos.

O conhecimento em questão é tão importante que o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, MAPA, do Governo Federal estabelece classes de condições climáticas necessárias ao cultivo de café (BRASIL, 2011).

Para uma adequada elaboração do zoneamento agroclimatológico, são utilizadas técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs).



Segundo Santos, Louzada e Eugenio (2010), os SIGs são sistemas que automatizam tarefas realizadas manualmente e facilitam a realização de análises complexas, por meio da integração de dados geocodificados.

Diversas metodologias de SIG estão à disposição para implementação de zoneamento agroclimatológico. Uma delas, de uso recente, envolve a interpolação espacial dos dados, constituindo-se a proposta do presente capítulo.

2. Procedimentos metodológicos

Para a elaboração de zoneamento agroclimático a primeira providência consiste na determinação e delimitação da área de estudo, que deverá ser definida previamente, pois após a entrada de parâmetros agroclimatológicos limitantes para a cultura, será obtido um produto que facilitará a gestão e aplicação de recursos públicos e privados. Sequencialmente, dependendo do ferramental teórico adotado, podem estar presentes as seguintes etapas: geração do banco de dados e regressão linear múltipla; interpolação espacial por krigagem esférica; reclassificação e zoneamento e; vetorização espacial do zoneamento.

2.1. Geração do banco de dados e regressão linear múltipla

Todas as operações devem ser baseadas em uma série de dados meteorológicos de no mínimo 30 anos das estações localizadas na área de estudo e em áreas limítrofes, visando favorecer as interpolações estatísticas futuras dos dados.

A base de dados meteorológica deve ser importada para o aplicativo computacional Microsoft Office Excel®, ou outro aplicativo semelhante. Após a importação deverá ser realizado o balanço hídrico agroclimatológico, usualmente utiliza-se o proposto por Thornthwaite e Matter (1955), adotando a Capacidade de Água Disponível (CAD) de 125



mm (Pereira; Angelocci; Sentelhas, 2002), com o objetivo de gerar uma planilha eletrônica em formato .xls contendo 17 campos, sendo eles: identificador da estação; código da estação; órgão de coordenação; nome da estação; município da estação; altitude da estação; ano inicial da coleta de dados; ano final da coleta de dados; série temporal; longitude; latitude; temperatura média anual; precipitação média anual; evapotranspiração potencial; evapotranspiração real; deficiência hídrica anual e; excedente hídrico anual.

Após a geração do balanço hídrico, deverá ser realizada uma das fases do método estatístico denominado crítica dos dados, que tem como objetivo encontrar e corrigir falhas, erros ou imperfeições que possam comprometer os resultados espaciais temporais e temáticos.

De posse do aplicativo computacional ArcGIS®, versão 10.0 ou superior, realizar-se-á a importação das planilhas eletrônicas, em formato .xls, referente aos balanços hídricos, mais especificamente dos campos representativos das coordenadas geográficas longitude e latitude, o que culminará na vetorização espacial pontual das referidas estações meteorológicas e suas respectivas tabelas de atributos contendo todos os campos referentes aos balanços hídricos.

Sabendo que na prática ocorre uma relação linear entre a temperatura (variável dependente) e a altitude (variável independente) Vianello e Alves (2004), aplicar-se-á uma regressão linear múltipla (Ribeiro Júnior, 2011), utilizando a altitude e as coordenadas UTM X e Y como variáveis independentes e a temperatura como variável dependente, todas disponibilizadas nas tabelas de atributos oriundas dos balanços hídricos que foram recém-importadas para o aplicativo ArcGIS® conforme demonstrado na equação (1) abaixo:

$$T = \beta_0 + \beta_1 ALT + \beta_2 X + \beta_3 Y$$

Em que.

T : temperatura (°C);

ALT : altitude (m);

X : coordenada UTM X (m);

Y : coordenada UTM Y (m);

β_0 : constante de regressão;

β_1, β_2 e β_3 : coeficientes de regressão para as variáveis ALT, X e Y .

Interpolação espacial por krigagem esférica

De posse dos campos das coordenadas UTM X e Y da imagem vetorial pontual representativa das estações meteorológicas, deverá ser aplicada a técnica geoestatística de interpolação espacial por krigagem esférica (Mazzini; Schettini, 2009), com ajuste do semivariograma (CRESSIE, 1991), gerando as imagens matriciais das coordenadas UTM X e Y.

Carecerá de ser importado para o aplicativo computacional ArcGIS® o Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponibilizado gratuitamente no portal da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) na escala de 1:250.000 na projeção cartográfica WGS 84 (Miranda, 2005).

Aplicando-se a álgebra de mapas, tendo como entrada as equações de regressões lineares múltiplas com suas respectivas variáveis independentes representadas pelas imagens matriciais MDE/SRTM, coordenadas UTM X e Y, obterá como saída, a imagem matricial de temperatura atual.



Reclassificação e zoneamento agroclimatológico do café conilon

Sobre as imagens matriciais de temperatura atual, aplicar-se-á a função de “reclassificação” espacial com o objetivo de representar as classes de aptidão, restrição e inaptidão (Tabela 1) para a cultura do café conilon gerando-se uma imagem matricial reclassificada representativa do zoneamento agroclimatológico atual.

Segundo Matiello (1991), as faixas por aptidão térmica e hídrica para o café conilon, respectivamente, estão representadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Faixas de aptidão por temperatura para o café conilon

Aptidão	Faixa de aptidão
Apta	22,5 - 24,0 °C
Restrita	20,0 - 22,5 °C
Inapta	< 20 °C e > 24,0 °C

Fonte: Matiello, 2002.

Tabela 2- Faixa de aptidão por deficiência hídrica para o café conilon

Aptidão	Faixa de aptidão
Apta	< 200 mm
Restrita	200 - 400 mm
Inapta	> 400 mm

Fonte: Matiello, 2002.

Vetorização espacial do zoneamento agroclimatológico

Nesta etapa, a imagem matricial representativa do zoneamento agroclimatológico deve ser convertida para o formato vetorial poligonal. Devido ao elevado número de polígonos obtidos após o processo de conversão vetorial, deverá ser aplicada a função “dissolução poligonal”, tendo como saída uma nova imagem vetorial com tabela de atributos restrita.

Na tabela de atributo da imagem vetorial poligonal dissolvida, deverá ser criados três novos campos, com tipos de dados reais, intitulados área, perímetro e porcentagem contendo apenas três classes de aptidão denominadas aptas, inaptas e restrita.

Em estado de edição. Utilizando a função “cálculo geométrico”, foram calculadas as áreas (km²) e perímetros (km) para as referidas classes de aptidão. Finalmente, por meio da função “calculadora de campos”, calcula-se a porcentagem das classes de aptidão.

Zoneamento agroclimatológico

Para melhor caracterização o zoneamento do café conilon foi classificado por porcentagem de aptidão, utilizando pesos, conforme representado na Tabela 3, de acordo com metodologia desenvolvida por Luppi (2011), acrescida das denominações de classes.

Tabela 3. Aptidão, em porcentagem, para o zoneamento do café conilon

Faixas de aptidão por:		Pesos		?	Aptidão (%)	Classes
Temp.	Def. Hídrica	Temp.	Def. hídrica			
Apta	Apta	0,50	0,50	1,00	100	Plena
Apta	Restrita	0,50	0,25	0,75	75	Boa
Apta	Inapta	0,50	0,00	0,50	50	Regular
Restrita	Apta	0,25	0,50	0,75	75	Boa
Restrita	Restrita	0,25	0,25	0,50	50	Regular
Restrita	Inapta	0,25	0,00	0,25	25	Restrita
Inapta	Apta	0,00	0,50	0,50	50	Regular
Inapta	Restrita	0,00	0,25	0,25	25	Restrita
Inapta	Inapta	0,00	0,00	0,00	0	Inapta

O fluxograma metodológico contendo as cinco etapas necessárias para o desenvolvimento do trabalho é apresentado na Figura 2.

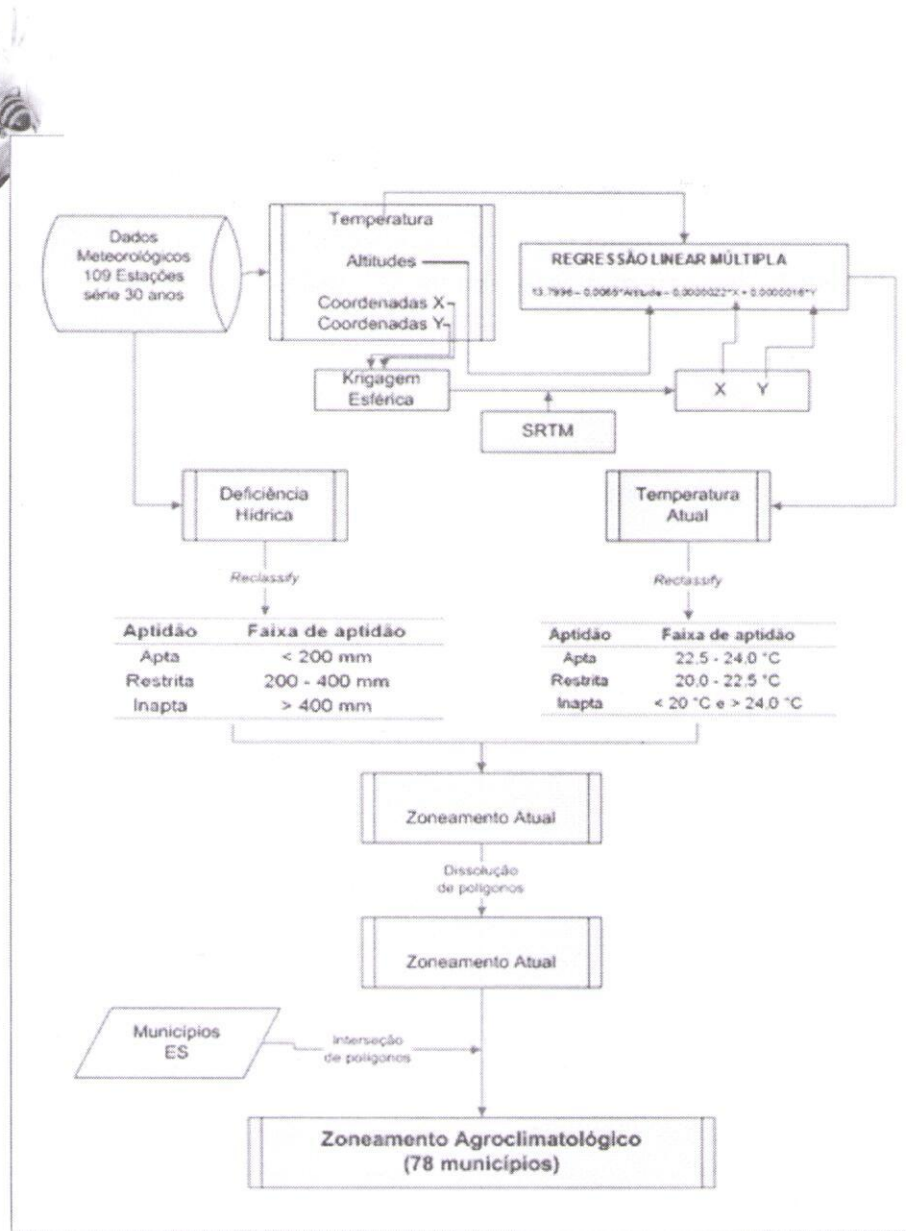


Figura 2. Fluxograma metodológico contendo as etapas necessárias para o desenvolvimento do trabalho.

3. Estudo de caso.

Seguindo a metodologia proposta realizou-se o zoneamento agroclimatológico para o café conilon para o estado do Espírito Santo. Os resultados comparativos entre a variação da aptidão e a área ocupada e perímetro encontram-se na Tabela 4. Já o mapa com o Zoneamento agroclimatológico do *Coffea canephora* para o Espírito Santo, encontra-se na figura 3.

Tabela 4. Área e perímetro do zoneamento agroclimatológico para o café conilon

Classes	Área		Perímetro	
	km ²	%	km	%
Plena (100%)	3.179,66	6,92	9.922,96	15,05
Boa (75%)	11.241,40	24,47	25.724,60	39,03
Regular (50%)	17.182,42	37,40	16.618,05	25,21
Restrita (25%)	13.900,38	30,25	12.778,21	19,39
Inapta (0%)	444,36	0,97	868,79	1,32
Total	45.948,22	100,00	65.912,61	100,00

Diante do resultado apresentado, é possível observar que o estado do Espírito Santo, atualmente, é bastante propício ao cultivo do café conilon, pois apresenta muito mais áreas aptas do que inaptas.

O estado do Espírito Santo possui 3.179,66 km² de terras plenas (100%), 11.241,40 km² de boas (75%), 17.182,42 km² de regulares (50%), 13.900,38 km² de restritas (25%) e 444,36 km² de terras totalmente inaptas ao cultivo do café conilon, representando, respectivamente, 6,92%; 24,47%; 37,40% e 0,97% do território. Valores próximos também foram encontrados por Bragança (2012).

Esses valores também são observados na balança comercial do estado, haja vista que o Espírito Santo é o segundo maior produtor de café do Brasil e o maior produtor do café conilon. O café constitui, em muitos municípios capixabas, a maior fonte de renda da agricultura.



A metodologia mostra-se bastante eficaz e pode ser utilizada por qualquer prática agrícola desde que sejam usados parâmetros pertinentes a referida cultura.

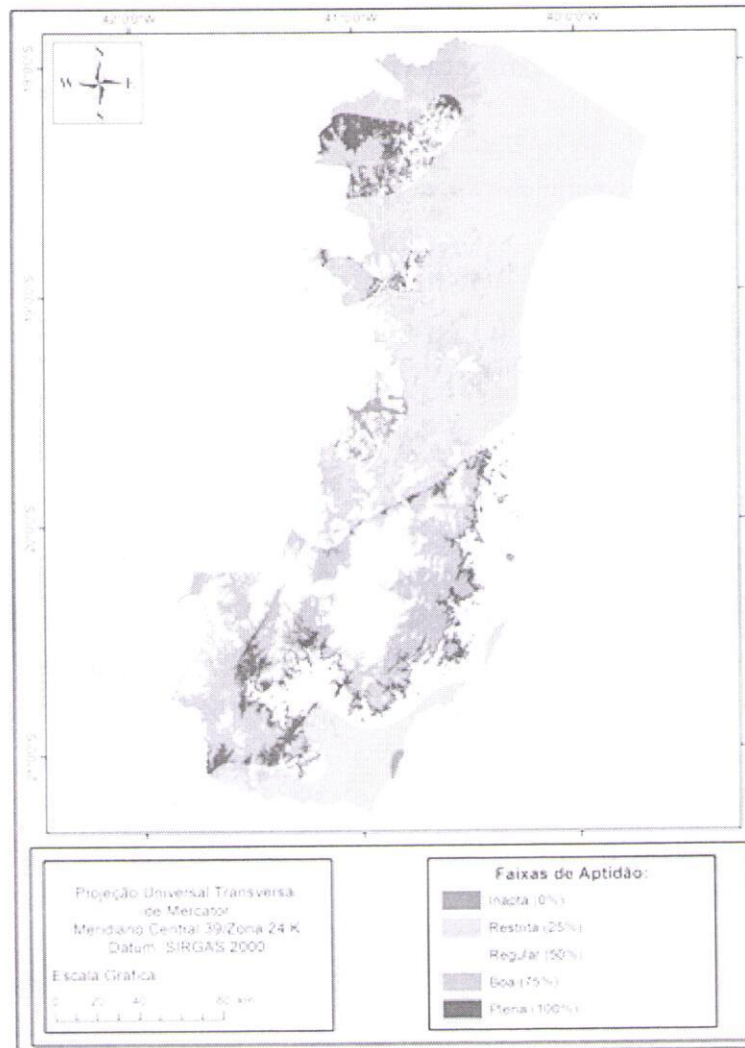


Figura 3. Zoneamento agroclimatológico do *Coffea canephora* para o Espírito Santo.

4. Referências

- ALMADA, V. P. F. de. **Escravidão e transição: o Espírito Santo, 1850-1888**. Rio de Janeiro: Graal, 1984.
- ASSAD, E.D. **Climate Change and Coffee Production: Vulnerability and possible adaptation**. 2004. Disponível em: <http://dev.ico.org/event_pdfs/wcc2010/presentations/wcc2010-assad-e.pdf>. Acesso em: 15 set. de 2010.
- BRAGANÇA, R. **Avaliação de incrementos de temperatura no zoneamento agroclimatológico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo**. 2012. 115 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2012.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Aprovar o Zoneamento Agrícola para a cultura de café no Estado do Espírito Santo. **Portaria n. 79, de 28 de fevereiro de 2011**. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/DetalhaAto.do?method=visualizar> AtoPortal Mapa&chave=405138425>. Acesso em: 03 abril 2013.
- CAMARGO, A. P. C. Clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, n.126, p.13-26, 1985.
- Cressie, N. 1991. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley and Sons Inc, 920p.
- CONAB. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/140117092946_boletim_cafe_-_original_normalizado.pdf>. Acessado em 15 de junho de 2014.
- MIRANDA, E. E. 2005. **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa monitoramento por satélite. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 03 abril. 2013.
- DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 18, n. 1, p. 55-81, 2006.
- DARÉ, R. **A crise do café e a ideologia desenvolvimentista no Espírito Santo**. 2010. 120 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007, 996 p.
- LABORIE, P. J. O fazendeiro de café na ilha de São Domingos. In: **O fazendeiro do Brasil**. Rio de Janeiro: Oficinas de S.T. Ferreira, 1799, p. 109-119, 1799.
- LUPPI, A. S. L. **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.) na microrregião sudoeste serrana, ES**. 2011. 121 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.



- MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002. 387 p.
- MAZZINI, P.L.F., SCHETTINI, C.A.F., 2009. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quasesinóticos, **Braz J Aquat Sci Technol**. 13 (1), 53-64.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 435 p.
- OLIVEIRA, J. T. de. **História do Estado do Espírito Santo**. 3 ed. - Vitória: Arquivo Público do Estado do Espírito Santo: Secretaria de Estado da Cultura, 2008.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- Pezzopane, J. E. M. et al. Zoneamento agroclimatológico. In: **Agrometeorologia: aplicações para o Espírito Santo**. Alegre: CAUFES, 2012. p. 99-134.
- PEZZOPANE, J. E. M. Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 341-348, jul./set. 2010.
- RIBEIRO Jr, J. I., 2011. **Análises estatísticas no Excel: guia prático**, Viçosa: UFV.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Arbore, 1996. 146 p.
- ROCHA, H. C.; MORANDI, A. M. **Cafeicultura e grande indústria: a transição no Espírito Santo 1955-1985**. 2. ed. Vitória : Espírito Santo em Ação, 2012.
- SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R. O.; EUGENIO, F. C. **ARCGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais**. Alegre: CAUFES, 2010. 184 p.
- SANTOS, G. M. A. D. A. dos. **Agrotóxicos em frutos de tomate no Estado do Espírito Santo**. 2012. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Vila Velha, Vila Velha, 2012.
- SANTOS, A. R. **Atlas das áreas com potencial de risco do Estado do Espírito Santo – ARES**. Vitória: Editora BIOS, 2006.
- Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca. **Plano Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura: novo PEDEAG 2007-2025**. Vitória, 2008. 305 p.
- TAQUES, R. C.; DADALTO, G. G. **Zoneamento agroclimatológico para a cultura do café conilon no estado do Espírito Santo: café Conilon**. Vitória: INCAPER, 2007.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATTER, J. R. The water balance. Centerton, New Jersey: Laboratory of Climatology. *Publications in Climatology* 10 (3), 1955. 104 p.
- VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa, UFV, Editora UFV – Universidade Federal de Viçosa, 2004. 450 p.