

# DIAGNÓSTICO FÍSICO-AMBIENTAL DA CAFEICULTURA NO ESTADO DE MINAS GERAIS – BRASIL

Tiago Bernardes<sup>1</sup>, Maurício Alves Moreira<sup>2</sup>, Marcos Adami<sup>3</sup>, Bernardo Friedrich Theodor Rudorff<sup>4</sup>

(Recebido: 10 de agosto de 2010; aceito 20 de abril de 2012)

**RESUMO:** O estado de Minas Gerais é o maior produtor de café no Brasil, onde a cultura está distribuída sob diferentes condições de ambiente e cultivo. O conhecimento de variáveis ambientais favorece a implantação e definição do tipo de manejo adequado ao cultivo do café. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar em termos espaciais e quantitativos a ocupação da cafeicultura em Minas Gerais e propor um modelo de ocupação das áreas cafeeiras com relação às variáveis do meio físico: altimetria, declividade, orientação de vertentes e solos. Utilizaram-se dados de sensoriamento remoto para mapear o café e para derivar os dados de altimetria, declividade e orientação de vertentes. Os mapas gerados, juntamente com um mapa de solos, foram sobrepostos ao mapa de áreas cafeeiras, utilizando-se operadores estatísticos zonais para espacialização do café em relação a estes temas. As classes mais favoráveis ao cultivo do cafeeiro foram consideradas para definição de um ambiente mais apto à cultura. Os resultados demonstram que o parque cafeeiro está distribuído em altitudes variando entre 500 e 1.200 m. São encontradas lavouras em praticamente todas as faixas de declividade, porém há um predomínio de lavouras em declividades entre 5 e 15%. A orientação de vertentes não parece influenciar na distribuição espacial das lavouras de café uma vez que a proporção de lavouras é parecida em todas as classes de orientação. No entanto, a proporção de lavouras em faces orientadas a oeste é ligeiramente inferior. Com relação ao tipo de solo foi observado que 80% dos cafezais encontra-se em Latossolos e Argissolos. Cerca de 70% do parque cafeeiro distribui-se adequadamente quando todas as variáveis são analisadas simultaneamente, ou seja, sob condições favoráveis de altimetria, declividade, orientação de vertentes e solo.

**Termos para indexação:** Sensoriamento remoto, cafeicultura, relevo, classes de solos.

## PHYSIC-ENVIRONMENTAL DIAGNOSIS OF COFFEE CROP IN THE STATE OF MINAS GERAIS, BRAZIL

**ABSTRACT:** The State of Minas Gerais is the major coffee producer in Brazil. The crop is spread over different environments as well as different management systems. Knowledge about environmental variables helps to establish and define appropriate management practices for the coffee crop. The objective of this study was to access spatially and quantitatively the occupation of coffee crop in Minas Gerais and to elaborate a land use model for coffee crop in the state taking into account variables such as soil type, altitude, slope and aspect. We have used remote sensing data to map coffee areas and to derive relief data (altitude, slope and aspect). The relief data and a digital soil map were overlapped with the coffee area map in order to access the prevailing relationships. We have also considered the most favorable classes of each theme to determine the most suitable environment for coffee crop. Results show that the crop is distributed within altitudes varying from 500 to 1.200 m. There are coffee fields in all classes of slope but slopes up to 15% predominate. The aspect does not seem to influence the occurrence of coffee since the proportions of coffee fields are about the same in all classes. However, we have found a slightly smaller proportion of coffee placed in west-facing slopes. In relation to soil types, Latossolos and Argissolos are the most occupied with coffee, that is, up to 80% of coffee fields are placed in those soils. About 70% of coffee fields are spread in appropriate environments over the best classes of soil, altitude, slope and aspect.

**Index terms:** Remote sensing, coffee crops, relief, soil classes.

## 1 INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais é responsável por 50% da produção total de café do Brasil seguido do estado do Espírito Santo que participa com 26% da

produção. As duas espécies cultivadas no país são a Arábica (*Coffea arabica* L.) e a Robusta (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner). A espécie Arábica corresponde a 73% da produção brasileira e apresenta um grande número de cultivares enquanto que a

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE - Avenida dos Astronautas - 1758 - Jd. Granja - 12.227-010 - São José dos Campos - SP - bernati2004@gmail.com

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE - Avenida dos Astronautas - 1758 - Jd. Granja - 12.227-010 - São José dos Campos - SP - mauricio@dsr.inpe.br

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE - Avenida dos Astronautas - 1758 - Jd. Granja - 12.227-010 - São José dos Campos - SP - adami@dsr.inpe.br

<sup>4</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE - Avenida dos Astronautas - 1758 - Jd. Granja - 12.227-010 - São José dos Campos - SP - bernardo@dsr.inpe.br

espécie Robusta corresponde aos 27% restantes, sendo a cultivar Conillon a mais cultivada (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2010).

A boa produção de café depende, em grande parte, de tratamentos culturais adequados e de fatores fisiológicos e ambientais favoráveis ao desenvolvimento da cultura. Dentre os fatores ambientais, o clima exerce um papel primordial, uma vez que a temperatura e a disponibilidade hídrica, particularmente durante certos estádios fenológicos, interferem diretamente na produtividade da cultura (ASSAD et al., 2004; PICINI et al., 1999). Evangelista, Carvalho e Sedyama (2002) utilizaram geotecnologias para fazer o zoneamento climático no estado de Minas Gerais associado ao potencial produtivo da cultura do café. O mesmo foi realizado com maior detalhamento por Nunes et al. (2007) para a mesorregião do Vale do Rio Doce, em Minas Gerais. Os aspectos do meio físico auxiliam na definição de territórios distintos, o que pode ser de grande utilidade para: *i*) definição de práticas de manejo adequadas; *ii*) planejamento de atividades de extensão, particularmente no que diz respeito à atuação junto aos pequenos e médios produtores; *iii*) adoção de práticas conservacionistas apropriadas; *iv*) monitoramento de danos do meio ambiente; e *v*) atividades de planejamento e tomada de decisão dos agentes do poder público.

Variáveis do relevo influenciam na ocorrência de microclimas específicos em função da incidência de radiação e de ventos, bem como do acúmulo de massas de ar frio. A orientação de vertentes desempenha papel importante sobre a evapotranspiração e o decorrente balanço hídrico (VALERIANO, 2003). Em estudos realizados no hemisfério norte, Diodato, Ceccarelle e Bellocchi (2010) encontraram valores de evapotranspiração significativamente menores em vertentes orientadas a norte em relação às vertentes sul. Entretanto, no hemisfério sul o fenômeno ocorre de maneira inversa (menor evapotranspiração nas vertentes orientadas ao sul), e com mais intensidade nas maiores latitudes, ou seja, quanto mais distante do equador maior a diferença de evapotranspiração entre as vertentes norte e sul. Alzugaray e Alzugaray (1984) recomendam o plantio de café em áreas com vertentes orientadas para o norte, noroeste ou nordeste, pois recebem maior quantidade de energia solar em relação àquelas

implantadas em outras faces do terreno que recebem menores quantidades de energia, ficando mais sujeitas à ocorrência de ventos frios e de geadas. A declividade é outra variável do relevo que atua na distribuição de processos hidrológicos e erosivos do solo (VALERIANO; GARCIA, 2000), além de condicionar a possibilidade de mecanização agrícola (ZAMBOLIM, 2001). A altitude é importante na definição dos processos de alteração das temperaturas do ar (CARGNELUTTI FILHO et al., 2006) e afeta na qualidade da bebida do café. Barbosa et al. (2011) observaram que cafés com melhor qualidade de bebida ocorrem preferencialmente em altitudes mais elevadas. Condições adequadas de altitude e exposição de vertentes também foram relatadas por Avelino et al. (2005) como condicionantes da qualidade sensorial da bebida do café. Para o estado de Minas Gerais, Sedyama et al. (2001) não recomendam o plantio de café Arabica em altitude inferior a 500 m ou superior a 1.200 m devido às condições de temperaturas desfavoráveis.

As características físico-químicas dos solos interferem no desenvolvimento da cultura do café e nas práticas de manejo como adubações, irrigação e conservação do solo. Wadt (2005) relatou relações entre classes de solos e o estado nutricional de cafeeiros.

Uma análise das relações da cultura com o meio físico pode ser feita por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), alimentado por dados obtidos de imagens de satélites, como por exemplo, o mapeamento sistemático da cultura do café de grandes extensões territoriais (ADAMI et al., 2009; MOREIRA et al., 2007, 2010) e dados da missão americana SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) para derivar variáveis do meio físico, como altimetria, declividade e orientação de vertentes. As informações contidas nesses mapeamentos podem ser agregadas a outras informações como variáveis derivadas do relevo e tipo de solo para serem analisadas no SIG.

A caracterização de fatores que definem um ambiente favorável ao cultivo do cafeeiro, associada a uma distribuição espacial das lavouras obtida por meio de imagens de satélite, para todo estado de Minas Gerais, ainda está por ser feita. Essa caracterização pode favorecer ações de planejamento bem como servir de material básico para futuras pesquisas. Objetivou-se, no presente trabalho, elaborar uma

modelagem ambiental do parque cafeeiro de Minas Gerais em relação às variáveis morfométricas (altimetria, declividade e orientação de vertentes) e aos tipos de solo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende todo o estado de Minas Gerais, localizado na região sudeste do Brasil, entre os paralelos de 14° 14' e 22° 54' de latitude sul e os meridianos de 39° 51' e 51° 02' de longitude a oeste de Greenwich.

O mapa de áreas cafeeiras correspondente ao ano de 2007 foi obtido a partir de imagens do sensor TM do satélite Landsat 5 por Moreira et al. (2010). O modelo digital de elevação (MDE) gerado pelo SRTM em fevereiro de 2000, conforme relatado em Rabus, Eineder e Bamler (2003), foi utilizado para obter os dados de relevo. No presente trabalho, empregou-se a terceira versão dos dados (CONSULTATIVE GROUP FOR INTERNATIONAL AGRICULTURE RESEARCH-CONSORTIUM FOR SPATIAL INFORMATION - CGIAR-CSI, 2007) na qual foram corrigidas imperfeições nos dados de altimetria causadas por valores anormalmente altos e baixos (RABUS; EINEDER; BAMLER, 2003).

Utilizou-se, ainda, uma base de solos do estado de Minas Gerais, em escala nominal 1:1.000.000 (AMARAL et al., 2004). A base em questão constitui uma compilação de todos os levantamentos de solos disponíveis para o Estado, o que resultou num grande número de classes, nomeadas pela antiga classificação de solos. Essas classes foram então agrupadas e renomeadas conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2005).

As análises foram realizadas por mesorregião, conforme os limites vetoriais disponibilizados pelo PRODENGE (1998). Porém, as mesorregiões com pouca expressividade em termos de cultivo de café foram agrupadas num único grupo denominado de Grupo 1, composto por: Central Mineira, Metropolitana de Belo Horizonte, Noroeste, Norte de Minas e Vale do Mucuri. Esse grupo responde por cerca de 3% da área de café do Estado (MOREIRA et al., 2007). Os materiais utilizados são listados na Tabela 1.

Na Figura 1, ilustra-se o fluxo de processamento dos dados para obter as áreas favoráveis para a cafeicultura no Estado com relação às variáveis consideradas.

A base inicial de dados SRTM com os valores de altitude foi convertida em dados de declividade e orientação de vertentes. As outras bases externas utilizadas foram o mapa de solos e o mapa de áreas cafeeiras. Foram obtidas então as estatísticas zonais sobre os temas altitude, exposição de vertentes, declividades e solos dentro de cada polígono de café. O parâmetro estatístico utilizado foi a moda, que indica o valor ou classe mais frequente dentro de cada polígono de café.

Para cada polígono de café mapeado foi atribuído o valor mais frequente de altitude (valor modal) dentro do polígono a partir da grade altimétrica SRTM. Foram estabelecidas as seguintes classes altimétricas para agrupamento dos polígonos: a) < 500 m; b) 500 a 700 m; c) 700 a 800 m; d) 800 a 900 m; e) 900 a 1000 m; f) 1000 m a 1200 m e; g) > 1200 m. A estratificação dessas classes foi definida a partir dos limites superior e inferior sugeridos por Sedyama et al. (2001).

**TABELA 1** – Materiais utilizados e fonte dos dados.

DESCRIÇÃO	ESCALA/RESOLUÇÃO	FONTE
Limite - Macrorregiões	1:1.500.000	PRODEMGE* (1998)
Mapa da área de Café	1:100.000	Moreira et al. (2010)
SRTM - Altimetria	Resolução 90 m	CGIAR-CSI (2007)
Aplicativo SPRING	-	Camara et al. (1996)
Mapa de solos	1:1.000.000	Amaral et al. (2004)

\*Companhia de Tecnologia da Informação do Estado de Minas Gerais

A declividade, definida como a taxa de variação do valor da elevação em uma dada direção, foi obtida a partir da mesma grade altimétrica SRTM, conforme a Equação 1, expressa em graus. Em um Sistema de Informação Geográfica o cálculo é realizado por filtragem (janela de 3 x 3 pixels), explorando-se a função de derivação na vizinhança de cada célula da grade. A maior variação desta derivação, em relação ao pixel central da máscara, é definida como o valor de declividade no pixel que corresponde ao centro da máscara. Os valores mais frequentes de declividade (valor modal), para cada polígono de café, foram calculados a partir da grade de declividade. Após a definição da declividade predominante a cada polígono esses foram agrupados nas seguintes classes: a) 0 a 5%; b) 5 a 10%; c) 10 a 15%; d) 15 a 20%; e) 20 a 30%; f) 30 a 45% e; g) acima de 45%.

$$D = \arctan \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} \quad (1)$$

em que D refere-se à declividade,  $z$  à altimetria,  $x$  à latitude e  $y$  à longitude.

A orientação de vertentes é a direção na qual foi obtida a maior declividade no pixel central da janela de 3 x 3 pixels, utilizando-se a Equação 2. Os valores modais de vertentes, de cada lavoura de café, foram calculados a partir da grade de vertentes que, por sua vez foi estratificada nos seguintes intervalos de exposição: a) 0° a 22,5° e de 337,5° a 360° (norte); b) 22,5° a 67,5° (nordeste); c) 67,5° a 112,5° (leste); d) 112,5° a 157,5° (sudeste); e) 157,5° a 202,5° (sul); f) 202,5° a 247,5° (sudoeste); g) 247,5° a 292,5° (oeste); h) 292,5° a 337,5° (noroeste)

$$\tan O = \left( \frac{-\partial z}{\partial x} / \frac{\partial z}{\partial y} \right), (-\pi < O < \pi) \quad (2)$$

em que  $O$  refere-se à orientação de vertentes,  $z$  à altimetria,  $x$  à latitude e  $y$  à longitude.

No caso do mapa de solos também foi associada a cada polígono de café a classe que ocupava a maior parte do mesmo.

Todas as variáveis consideradas neste trabalho foram integradas num SIG visando quantificar a situação do parque cafeeiro, com relação a cada variável isoladamente e ao ambiente

físico mais favorável. Esse ambiente foi definido pela interseção das classes mais adequadas ao desenvolvimento do cafeeiro Arabica e aplicação de manejo mecanizado. Na Tabela 2, apresentam-se as classes mais adequadas de cada variável utilizada na definição do ambiente favorável para o cultivo do café e as bases dos critérios para escolha dessas classes.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Classes de altitude, declividade e orientação de vertentes

Na Figura 2, apresenta a proporção de distribuição das classes de altitude (a), declividade (b) e orientação de vertentes (c) em relação a todo estado de Minas Gerais.

Minas Gerais possui altitudes que variam entre 40 e 2.785 m, sendo que mais de 80% da área do Estado tem altitudes entre 500 e 1.200 m. Altitudes <500 m correspondem a cerca de 15% da área do Estado (Figura 2a), as quais são concentradas nas mesorregiões do Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce e Zona da Mata. Altitudes >1.200 m correspondem a apenas 3% e se localizam na Mesorregião Sul de Minas.

As declividades de 0 a 15% predominam no Estado, com aproximadamente 70% em área (Figura 2b). As maiores declividades ocorrem na Mesorregião Sul/Sudoeste e em todas as Mesorregiões situadas no setor leste do Estado.

As faces de orientação de vertentes ocorrem em proporções similares em todo o Estado, conforme visualizado na Figura 2c. Nesse caso é importante ressaltar que o algoritmo de geração dos ângulos de orientação das vertentes sempre deriva algum ângulo, mesmo em áreas quase planas. Apenas áreas correspondentes a grandes represas e reservatórios de água resultam em áreas planas e correspondem a menos de 1% da área do Estado (Figura 2c).

#### 3.2. Distribuição das lavouras de café com relação à altimetria

Pela Tabela 3, apresentam-se os resultados da área de café (MOREIRA et al., 2010), por intervalo de classe de altimetria para as mesorregiões e todo Estado.

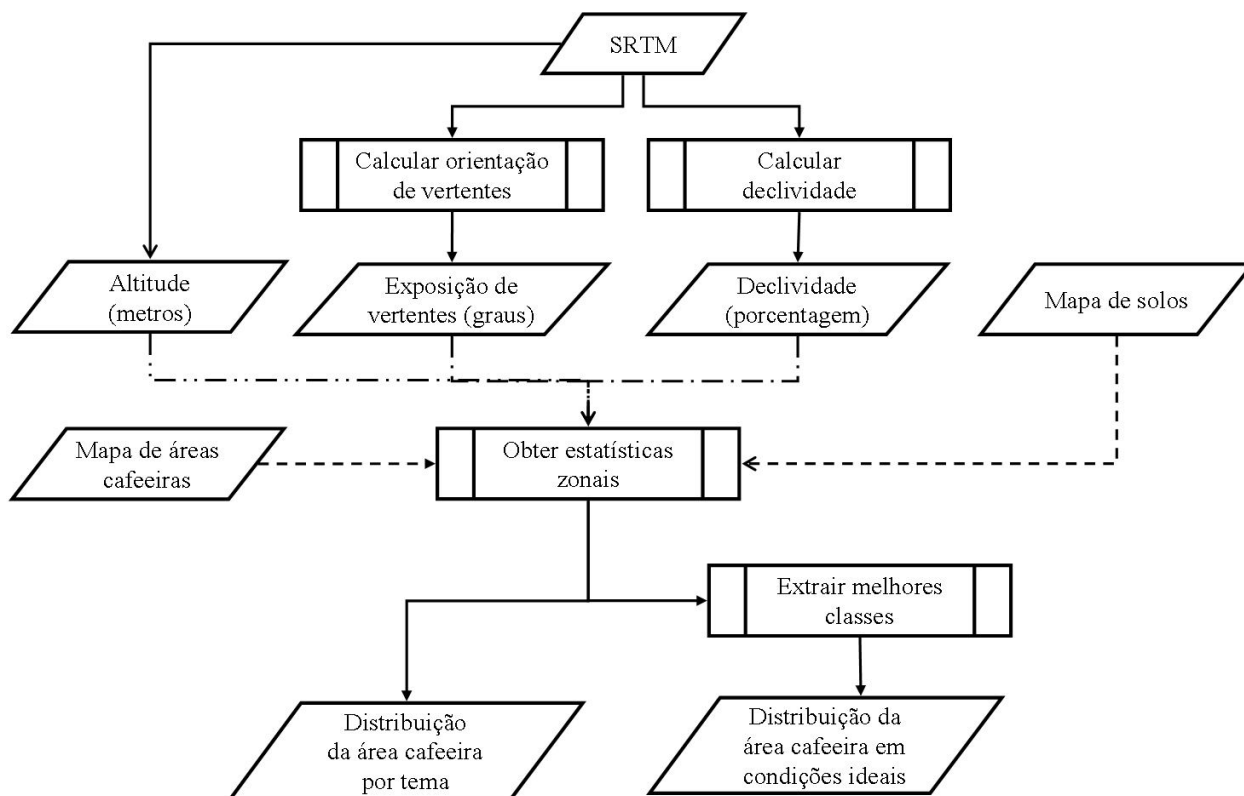


FIGURA 1 – Fluxograma indicando a modelagem dos dados e as etapas do processamento

TABELA 2 – Melhores classes para o cultivo do café Arábica e bases dos critérios utilizados na escolha das classes

	ALTITUDE	SOLO	DECLIVE	VERTENTE
Melhor classe	500-1.200 m	Latossolos/Argissolos	< 20%	N, NE, E, SW, W, NW;
Base do Critério	Sedyama et al. (2001)	Propriedades físicas e químicas	Viabilidade de mecanização	Alzugaray e Alzugaray (1984)

Nesta Tabela 3, observa-se que 96% da área cultivada com café em Minas Gerais está dentro da faixa de altitude entre 500 a 1.200 m de altitude estabelecida como adequada ao cultivo do café por Sedyama et al. (2001). Alves et al. (2007) relatam o predomínio de lavouras entre 700 e 1.260 m de altitude em municípios do Sul de Minas e Alto Paranaíba. Observa-se ainda que 2,35% são cultivados em altitudes menores que 500 m. A mesorregião do Vale do Rio Doce é responsável por cerca de 55% das lavouras implantadas em altitudes menores do que 500 m, o que reflete a ocorrência do café Robusta (*C. canephora*), conforme relatado em relatório da

CONAB (CONAB, 2010), uma vez que esta espécie é adaptada a altitudes menores. Os estudos de Evangelista, Carvalho e Sedyama (2002) e Nunes et al. (2007) relatam a inaptidão da mesorregião do Vale do Rio Doce para o cultivo do café Arábica, cujas temperaturas médias anuais ótimas estão entre 18 e 21° C. Segundo os autores, o principal fator responsável pela inaptidão é a alta temperatura relacionada às baixas altitudes na região. As lavouras de café alocadas em altitudes sabidamente inadequadas ao cultivo da espécie Arábica referem-se a cultivos da espécie Robusta, que é mais adaptada a altas temperaturas.

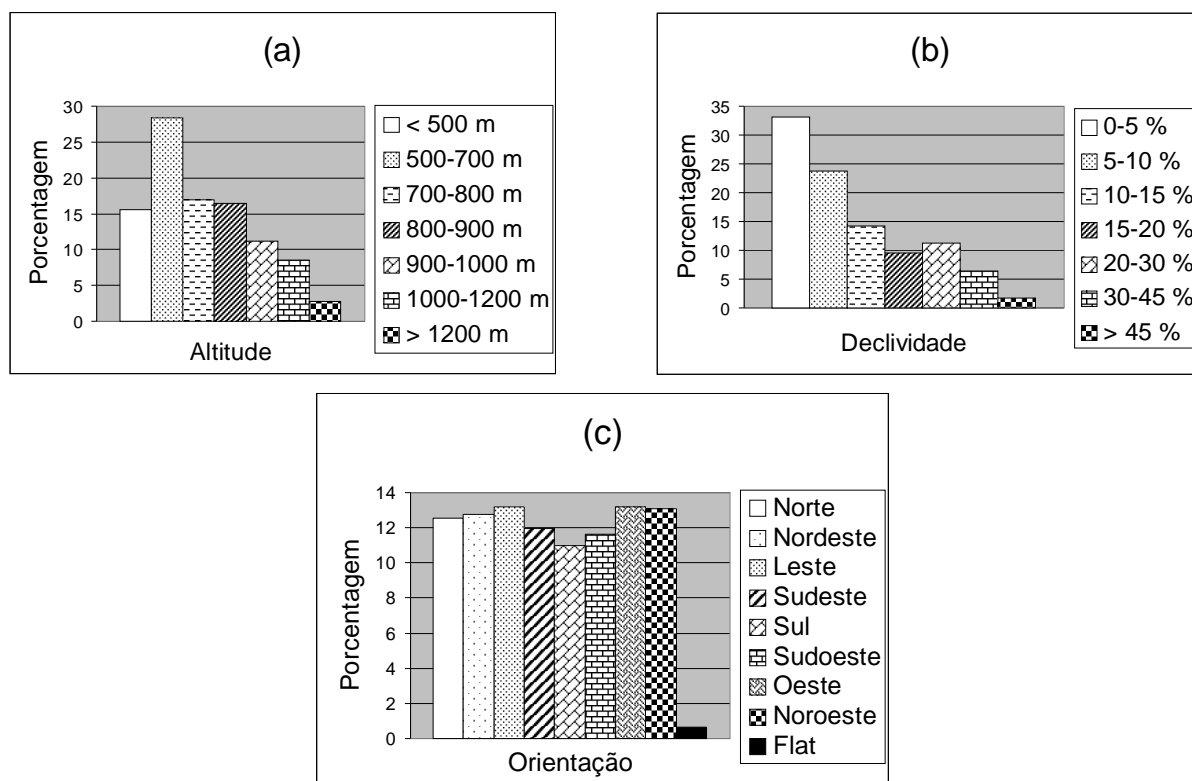


FIGURA 2 – Proporção de distribuição das classes de altitude (a), declividade (b) e orientação de vertente em Minas Gerais.

### 3.3. Distribuição das lavouras de café com relação à declividade

Na Tabela 4, apresentam-se os resultados da área de café (ha e %) por intervalo de classe de declividade para as mesorregiões e todo Estado. São encontradas lavouras em todas as classes, refletindo a aptidão para cultivos passíveis de manejo mecanizado e manual. Contudo, cerca de 75% do parque cafeeiro encontra-se em áreas com declividade até 20%, o que demonstra um predomínio de lavouras mecanizáveis.

Analisando com mais detalhe a Tabela 4, observa-se que as regiões do Grupo-1 têm cerca de 20% das lavouras implantadas em declividade superior a 20%. A Mesorregião do Campo das Vertentes apresenta 95% das lavouras de café entre 5 e 20% de declividade e apenas 3% da área cultivada com café em declividades superiores a 20%. No Vale do Jequitinhonha mais da metade da área mapeada com café (65%) encontra-se em declividades menores que 20%. O restante está distribuído principalmente em

declividades entre 20 e 30%, impossibilitando a mecanização do manejo. No oeste de Minas, 98% das lavouras de café estão implantadas em terrenos com declividade menor de 20%. No sul/sudoeste de Minas, o percentual das lavouras de café implantadas em declividade menor que 20% é próximo de 85%. Essa região responde por quase metade da área plantada de café no Estado (cerca de 430 mil hectares) e também tem a maior área plantada de café passível de mecanização, ou seja, mais de 350 mil hectares. No Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba 98% das lavouras estão localizadas em declividades abaixo de 15%, sendo ainda mais da metade dessa área correspondente ao relevo plano (menos que 5% de declividade). Tal fato ressalta a aptidão dessa região para uma cafeicultura empresarial amplamente manejada com auxílio de mecanização. No Vale do Rio Doce e na Zona da Mata a cafeicultura está distribuída predominantemente em declividades acima de 20%, com 66,52% e 70,96% dos plantios nessa faixa de declividade, respectivamente.

### 3.4. Distribuição das lavouras de café com relação à orientação de vertentes

Com relação à orientação de vertentes, observa-se, conforme apresentado na Tabela 5, uma predominância das lavouras nas vertentes orientadas ao nordeste e leste em todas as regiões estudadas. A vertente oeste apresenta a menor proporção de lavouras, com exceção da região do Campo das Vertentes.

Levando-se em conta as recomendações de Alzugaray e Alzugaray (1984) parece existir uma preferência dos produtores pelas faces orientadas ao norte em relação ao sul em quase todas as regiões, à exceção da região do Vale do Rio Doce. No entanto, conforme ilustrado na Figura 4, as proporções de lavouras em vertentes total ou parcialmente orientadas a oeste (SW, W e NW), expostas à radiação solar no período da tarde, foram menores do que nas vertentes total ou parcialmente orientadas a leste (SE, E, NE), em quase todas as mesorregiões.

Isso sugere um aparente receio dos produtores com relação à exposição excessiva à radiação no período da tarde. Avelino et al. (2005) observaram que lavouras implantadas em vertentes orientadas para as faces leste produziam cafés com melhor qualidade de bebida na Costa Rica. No entanto, não se pode depreender, apenas com base nos resultados aqui obtidos, que esse seja o motivo da prevaência de lavouras no Brasil em vertentes orientadas para essa face. Valeriano (2003) cita a possibilidade de variações na evapotranspiração e balanço hídrico nas diferentes faces de orientação de vertentes, em função da maior exposição à radiação.

Há de se ressaltar que a exposição de vertentes isoladamente pode não causar efeitos significativos no desenvolvimento da cultura do café, devendo-se levar em consideração ainda o efeito conjunto da declividade, da altitude local e do tipo de vegetação a jusante. Ainda assim a tendência observada, ou seja, menor ocorrência de lavouras cafeeiras expostas a oeste, merece uma avaliação mais detalhada no sentido de se verificar a evidência empírica de que essas vertentes possam ser menos adequadas ao cultivo de cafeeiros.

### 3.5. Distribuição das lavouras de café com relação ao tipo de solo

Na Tabela 6 estão contidos os resultados da intersecção entre o mapa de solos, com as classes já renomeadas em conformidade com o novo sistema de

classificação, e o mapeamento de café. Observa-se que, em quase todas as mesorregiões, cerca de 70% das lavouras de café encontra-se sobre os Latossolos. Além dos Latossolos, apenas os Argissolos e Cambissolos estão ocupados com alguma proporção de café em todas as mesorregiões estudadas. De maneira geral, cerca de 20% das lavouras ocorrem sobre Argissolos e 10% sobre Cambissolos. Entre as três classes predominantes os Cambissolos constituem os menos adequados à cultura cafeeira notadamente em função de características físicas como pouca profundidade e susceptibilidade à erosão. As mesorregiões Campo das Vertentes, Oeste de Minas e Triângulo Mineiro são as que apresentam as maiores proporções de lavouras sobre estes tipos de solos. A ocorrência de lavouras em solos inviáveis como Gleissolos, Neossolos, Plintossolos e Afloramentos Rochosos (AR), decorre das generalizações explicitadas no mapa de solos como variação de escalas e/ou escalas muito pequenas, ou seja, em escalas muito pequenas manchas de solos menores podem ser superestimadas, assim como a área de café nesses tipos de solos.

Finalmente, observa-se que 86% das lavouras de café estão distribuídas nos Latossolos e Argissolos os quais apresentam características físicas e químicas favoráveis ao cultivo do café. À exceção de uma ocorrência média de 10% de lavouras em Cambissolos, os quais não chegam a inviabilizar totalmente o cultivo, a proporção de lavouras sob os demais tipos de solos é insignificante.

### 3.6. Principais fatores ambientais relacionados à distribuição das lavouras

Considerando-se a distribuição dos cafezais com relação às variáveis observadas (altitude, orientação de vertentes, declividade e classes de solos), a altitude é a que mais limita a implantação dos cafezais. Conforme observado na Tabela 3, menos de 3% das lavouras ocorrem em altitudes inadequadas, ou seja, inferiores a 500 m e apenas 1% ocorre em altitudes superiores a 1.200 m. Na Figura 5, ilustram-se graficamente os resultados, em que as altitudes menores que 500 m e maiores que 1.200 m definem territórios praticamente isentos de lavouras cafeeiras. Dentro da faixa de altitude adequada ao desenvolvimento dos cafeeiros, a variável solo assume papel importante na limitação dos plantios. Conforme mostrado na Tabela 6, quase 90% das lavouras ocorrem sob Latossolos e Argissolos.

**TABELA 3** – Área mapeada com café (ha e %) por faixa de altitude, nas diversas mesorregiões e para todo Estado de Minas Gerais.

	GI	CV	VJ	OM	SM	TR	VRD	ZM	MG
<500	1.452 (5,18%)	0	1.292 (5,69%)	0	0	0	11.995 (21,75%)	4.776 (3,18%)	21.642 (2,35%)
500-700	8.437 (30,09%)	0	4.221 (18,59%)	240 (0,37%)	1.577 (0,37%)	525 (0,35%)	17.449 (31,64%)	27.993 (18,64%)	66.859 (7,26%)
700-800	5.223 (18,63%)	273 (1,15%)	4.396 (19,36%)	7.869 (12,13%)	19.262 (4,52%)	2.297 (1,53%)	9.767 (17,71%)	40.848 (27,20%)	126.627 (13,75%)
800-900	6.538 (23,32%)	6.866 (28,97%)	6.426 (28,30%)	26.073 (40,19%)	124.648 (29,25%)	25.702 (17,12%)	8.653 (15,69%)	36.748 (24,47%)	296.445 (32,19%)
900-1000	4.542 (16,20%)	13.015 (54,91%)	5.005 (22,04%)	17.600 (27,13%)	142.674 (33,48%)	54.796 (36,50%)	5.703 (10,34%)	20.980 (13,97%)	234.467 (25,46%)
1000-1200	1.814 (6,47%)	3.532 (14,90%)	1.369 (6,03%)	12.877 (19,85%)	117.957 (27,68%)	64.795 (43,16%)	1.550 (2,81%)	14.627 (9,74%)	161.714 (17,56%)
> 1.200	31 (0,11%)	17 (0,07%)	0 (0,33%)	214 (0,33%)	20.071 (4,71%)	2.012 (1,34%)	28 (0,05%)	4.205 (2,80%)	13.077 (1,42%)
TOTAL	28.038 (3,0%)	23.702 (2,6%)	22.708 (2,5%)	64.874 (7,0%)	426.146 (46,3%)	150.127 (16,3%)	55.150 (6,0%)	150.177 (16,3%)	920.922 (100%)

GI=Grupo1; CV=Campo das Vertentes; VJ=Vale do Jequitinhonha; OM=Oeste de Minas; SM=Oeste de Minas; TR=Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba; VRD=Vale do Rio Doce; ZM=Zona da Mata; MG=Minas Gerais

**TABELA 4** – Área mapeada com café (ha e %) por faixa de declividade nas diversas mesorregiões e para todo Estado de Minas Gerais.

	GI	CV	VJ	OM	SM	TR	VRD	ZM	MG
0-5	13.183 (47,02%)	178 (0,75%)	983 (4,33%)	3.425 (5,28%)	5.327 (1,25%)	77.511 (51,63%)	149 (0,27%)	315 (0,21%)	101.025 (10,97%)
5-10	3.785 (13,50%)	8.146 (34,37%)	2.782 (12,25%)	31.529 (48,60%)	132.105 (31,00%)	63.489 (42,29%)	932 (1,69%)	1.967 (1,31%)	243.584 (26,45%)
10-15	2.243 (8,00%)	12.121 (51,14%)	6.224 (27,41%)	23.063 (35,55%)	141.480 (33,20%)	7.506 (5,00%)	4.897 (8,88%)	9.792 (6,52%)	207.392 (22,52%)
15-20	2.706 (9,65%)	2.368 (9,99%)	4.887 (21,52%)	5.164 (7,96%)	80.584 (18,91%)	1.111 (0,74%)	12.762 (23,14%)	28.549 (19,01%)	138.322 (15,02%)
20-30	4.694 (16,74%)	754 (3,18%)	6.395 (28,16%)	1.505 (2,32%)	53.694 (12,60%)	465 (0,31%)	24.233 (43,94%)	75.329 (50,16%)	167.700 (18,21%)
30-45	1.267 (4,52%)	121 (0,51%)	1.383 (6,09%)	175 (0,27%)	12.060 (2,83%)	45 (0,03%)	10.694 (19,39%)	31.702 (21,11%)	57.742 (6,27%)
> 45.0	146 (0,52%)	14 (0,06%)	54 (0,24%)	6 (0,01%)	895 (0,21%)	0 (0,00%)	1.478 (2,68%)	2.538 (1,69%)	5.157 (0,56%)
TOTAL	28.038 (3,0%)	23.702 (2,6%)	22.708 (2,5%)	64.874 (7,0%)	426.146 (46,3%)	150.127 (16,3%)	55.150 (6,0%)	150.177 (16,3%)	920.922 (100%)

GI=Grupo1; CV=Campo das Vertentes; VJ=Vale do Jequitinhonha; OM=Oeste de Minas; SM=Oeste de Minas; TR=Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba; VRD=Vale do Rio Doce; ZM=Zona da Mata; MG=Minas Gerais



**TABELA 5** – Área mapeada com café (ha e %) por orientação de vertentes, nas diversas mesorregiões e para todo Estado de Minas Gerais.

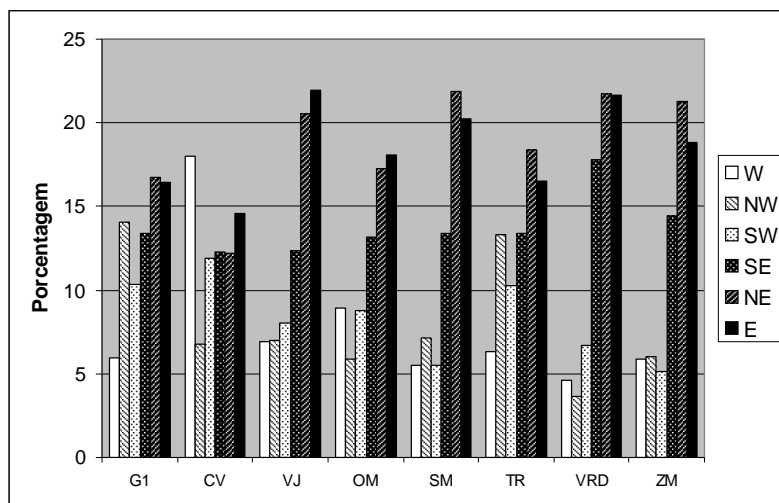
	GI	CV	VJ	OM	SM	TR	VRD	ZM	MG
Noroeste	3.948 (14,08%)	1.605 (6,77%)	1.585 (6,98%)	3.815 (5,88%)	30.427 (7,14%)	20.027 (13,34%)	2.013 (3,65%)	9.086 (6,05%)	72.504 (7,87%)
Norte	3.721 (13,27%)	3.119 (13,16%)	3.293 (14,50%)	10.776 (16,61%)	83.397 (19,57%)	20.012 (13,33%)	6.519 (11,82%)	31.372 (20,89%)	162.207 (17,61%)
Nordeste	4.694 (16,74%)	2.899 (12,23%)	4.671 (20,57%)	11.197 (17,26%)	93.283 (21,89%)	27.563 (18,36%)	11.995 (21,75%)	31.958 (21,28%)	188.260 (20,44%)
Leste	4.601 (16,41%)	3.453 (14,57%)	4.987 (21,96%)	11.736 (18,09%)	86.124 (20,21%)	24.831 (16,54%)	11.957 (21,68%)	28.263 (18,82%)	175.952 (19,11%)
Sudeste	3.763 (13,42%)	2.901 (12,24%)	2.804 (12,35%)	8.524 (13,14%)	57.104 (13,40%)	20.072 (13,37%)	9.817 (17,80%)	21.656 (14,42%)	126.640 (13,75%)
Sul	2.748 (9,80%)	2.629 (11,09%)	1.967 (8,66%)	7.324 (11,29%)	28.893 (6,78%)	12.641 (8,42%)	6.624 (12,01%)	11.353 (7,56%)	74.177 (8,05%)
Sudoeste	2.899 (10,34%)	2.821 (11,90%)	1.819 (8,01%)	5.702 (8,79%)	23.523 (5,52%)	15.448 (10,29%)	3.695 (6,70%)	7.689 (5,12%)	63.596 (6,91%)
Oeste	1.665 (5,94%)	4.273 (18,03%)	1.578 (6,95%)	5.800 (8,94%)	23.438 (5,50%)	9.518 (6,34%)	2.531 (4,59%)	8.800 (5,86%)	57.605 (6,25%)
TOTAL	28.038 (3,0%)	23.702 (2,6%)	22.708 (2,5%)	64.874 (7,0%)	426.146 (46,3%)	150.127 (16,3%)	55.150 (6,0%)	150.177 (16,3%)	920.922 (100%)

GI=GrupoI; CV=Campo das Vertentes; VJ=Vale do Jequitinhonha; OM=Oeste de Minas; SM=Sul de Minas; TR=Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba; VRD=Vale do Rio Doce; ZM=Zona da Mata; MG=Minas Gerais

**TABELA 6** – Área mapeada com café (ha e %) por tipo de solo, nas diversas mesorregiões e para todo Estado de Minas Gerais.

	GI	CV	VJ	OM	SM	TR	VRD	ZM	MG
AR	620 (2,21%)	0 (0,38%)	86 (0,38%)	0 (0,63%)	0 (0,63%)	0 (2,49%)	347 (0,63%)	3.739 (2,49%)	4789 (0,52%)
Neossolos	2.204 (7,86%)	0 (0,57%)	129 (0,57%)	791 (1,22%)	8.012 (1,88%)	2.072 (1,38%)	3.971 (7,2%)	796 (0,53%)	17.958 (1,95%)
Cambissolo	2.019 (7,20%)	3.705 (15,63%)	282 (1,24%)	11.405 (17,58%)	42.402 (9,95%)	28.824 (19,20%)	640 (1,16%)	9.686 (6,45%)	98.999 (10,75%)
Gleissolo	165 (0,59%)	0 (0,62%)	0 (0,02%)	402 (0,62%)	341 (0,08%)	1546 (1,03%)	0 (0,27%)	0 (0,27%)	2486 (0,27%)
Latossolo	20.855 (74,38%)	11.306 (47,7%)	16.472 (72,54%)	44.108 (67,99%)	258.074 (60,56%)	111.574 (74,32%)	38.252 (69,36%)	126.344 (84,13%)	626.964 (68,08%)
Espodossolo	0 (0,00%)	0 (0,02%)	0 (0,02%)	13 (0,02%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	13 (0,00%)
Argissolo	1.999 (7,13%)	8.692 (36,67%)	5.736 (25,26%)	7.584 (11,69%)	117.275 (27,52%)	4.579 (3,05%)	11.940 (21,65%)	9.611 (6,4%)	167.424 (18,18%)
Plintossolo	177 (0,63%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	177 (0,02%)
Nitossolo	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	564 (0,87%)	0 (0,00%)	1.546 (1,03%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	2.118 (0,23%)
TOTAL	28.038 (3,0%)	23.702 (2,6%)	22.708 (2,5%)	64.874 (7,0%)	426.146 (46,3%)	150.127 (16,3%)	55.150 (6,0%)	150.177 (16,3%)	920.922 (100%)

AR=Afloramento rochoso; GI=GrupoI; CV=Campo das Vertentes; VJ=Vale do Jequitinhonha; OM=Oeste de Minas; SM=Sul de Minas; TR=Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba; VRD=Vale do Rio Doce; ZM=Zona da Mata; MG=Minas Gerais



**FIGURA 3** – Proporção de lavouras de café em vertentes orientadas a oeste e leste; G1=Grupo1; CV=Campo das Vertentes; VJ=Vale do Jequitinhonha; OM=Oeste de Minas; SM=Sul de Minas; TR=Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba; VRD=Vale do Rio Doce; ZM=Zona da Mata

As variáveis ambientais, orientação de vertentes e declividade não apresentam classes específicas que cheguem a limitar a ocorrência de lavouras de café, visto que foram encontradas lavouras em todas as classes de orientação de vertentes e declividade. No entanto, parece haver certa restrição, por parte dos produtores, com relação às vertentes orientadas para a face oeste, uma vez que foi constatada menor proporção de lavouras em vertentes total ou parcialmente orientadas para essa face.

### 3.7. Distribuição das lavouras de café com relação a um território favorável

A interseção dos planos de informação relativos às variáveis ambientais consideradas neste estudo permitiu a modelagem da ocupação geográfica da cafeicultura com relação a um território mais favorável. Na Tabela 7, apresenta-se, em cada mesorregião, a distribuição das lavouras alocadas em áreas modeladas como favoráveis para a cafeicultura, de acordo com o modelo proposto no trabalho.

À exceção da Zona de Mata e Vale do Rio Doce, o parque cafeeiro encontra-se predominantemente distribuído em condições de altitude, solo, declividade e orientação de vertentes adequadas ao cultivo do café.

Na Zona da Mata, a predominância de cerca de 72% das lavouras (108.173 hectares) fora das

condições consideradas como ideais, deve-se principalmente à variável declividade, uma vez que grande parte das lavouras encontra-se em declividades acima de 20% (Tabela 4). Deve ser ressaltado que o critério utilizado na definição da declividade ideal (menor que 20%) refere-se apenas à possibilidade de mecanização, o que não inviabiliza o cultivo. De fato essa região exibe um padrão de agricultura familiar de montanha com tratamentos culturais manuais.

Na região do Vale do Rio Doce, os 56% das lavouras (31.239 hectares) “inadequadamente” localizadas devem-se, principalmente, a declividades acima de 20%, resultando igualmente num padrão de manejo tipicamente manual em função da dificuldade de mecanização. Nessa região, entretanto, há também inadequação com relação às altitudes. Conforme mostrado na Tabela 3, cerca de 20% das lavouras encontram-se abaixo de 500 m de altitude. Tal fato explica a ocorrência de cultivos de café Robusta (*C. canephora*) na região, variedade típica de altitudes entre o nível do mar e 800 m (DAMATA; RAMALHO, 2006). Nesse caso, as lavouras em baixa altitude no Vale do Rio Doce não podem ser consideradas como inadequadamente alocadas, uma vez que os critérios para definição das melhores condições ambientais para cultivo do café referem-se à espécie Arábica.

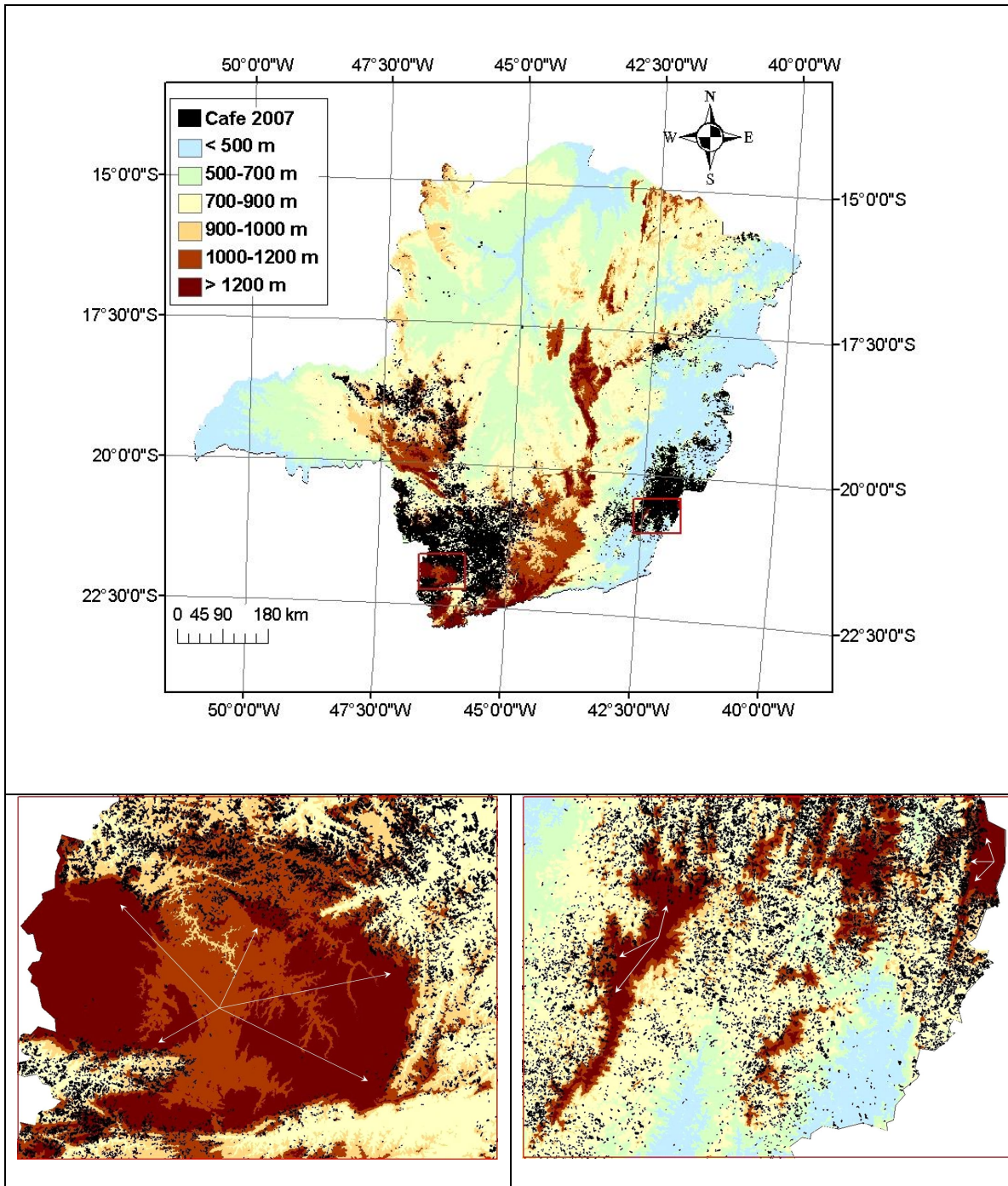


FIGURA 4 – Sobreposição do mapa temático do café ao mapa de altimetria – em detalhe a ausência de lavouras no planalto de Poços de Caldas e região da Zona da Mata acima de 1.200 metros.

**TABELA 7** – Área mapeada com café (em hectare e porcentagem) no território ideal por Mesorregião

	<b>G1</b>	<b>CV</b>	<b>VJ</b>	<b>OM</b>	<b>SM</b>	<b>TR</b>	<b>VRD</b>	<b>ZM</b>	<b>MG</b>
Total	28.038	23.702	22.708	64.874	426.146	150.127	55.150	150.177	920.922
Ideal	16.152 (57,6%)	22.487 (94,9%)	19.953 (87,9%)	45.736 (70,5%)	362.314 (85 %)	112.597 (75%)	23.911 (43,4%)	42.004 (28)	645.154 (70%)
Diferença	11.886 (42,4%)	1.215 (5,1%)	2.755 (12,1%)	19.138 (29,5%)	63.832 (15%)	37.530 (25%)	31.239 (56,6%)	108.173 (72 %)	275.768 (30%)

G1=Grupo1; CV=Campo das Vertentes; VJ=Vale do Jequitinhonha; OM=Oeste de Minas; SM=Sul de Minas; TR=Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba; VRD=Vale do Rio Doce; ZM=Zona da Mata; MG=Minas Gerais

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram elaborar as seguintes considerações quanto ao perfil da cafeicultura mineira:

a) quanto à altimetria verificou-se que a maioria das lavouras de café do Estado encontra-se implantadas dentro do limite de 500 a 1.200 m de altitude. A quase inexistência de lavouras em altitudes inadequadas ao cultivo sugere que essa variável constitui fator limitante à implantação de cafezais;

b) de maneira geral, as lavouras ocorrem em todas as classes de declividade, sendo que a maioria (75%) encontra-se implantada em declividades inferiores a 20%, permitindo o uso de manejo mecanizado. A ocorrência de grande proporção de lavouras em declividades maiores em algumas regiões indica que o fator declividade não é limitante na implantação dos cafezais;

c) embora haja uma distribuição de lavouras em todas as faixas de orientação de vertentes, as faces total ou parcialmente orientadas a oeste, expostas à radiação solar no período da tarde, apresentam menor proporção de lavouras, em oposição àquelas do leste;

d) os Latossolos e Argissolos são os preferidos para implantação de lavouras de maneira geral, com cerca de 80% das lavouras ocorrendo sobre esses solos. Assim, a variável solo também constitui fator limitante na implantação de cafezais, uma vez que foi observada pequena proporção de lavouras sobre solos inadequados;

e) com relação ao território proposto como favorável ao cultivo do café, observa-se geralmente uma concordância da alocação das lavouras com relação às condições ideais. Nas duas regiões onde há maior ocupação por lavouras em condições “inadequadas”, Zona da Mata e Vale do Rio Doce, o fato se deve às altas declividades – acima de 20%.

Nesse caso, a inadequação diz respeito apenas à possibilidade de mecanização, uma vez que é perfeitamente viável o cultivo do café em declividades maiores. Na região do Vale do Rio Doce, as lavouras também se encontram “mal alocadas”, em função da ocorrência em altitudes abaixo de 500 metros, o que novamente não justifica o termo, uma vez que ali se cultiva a espécie Robusta, que é adequada a tais altitudes. Especialmente interessante é a possibilidade de quantificação do parque cafeeiro de Robusta no estado de Minas Gerais por meio da identificação de lavouras abaixo de 500 metros de altitude evidentes praticamente apenas nessa mesorregião.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMI, M. et al. Avaliação da exatidão do mapeamento da cultura do café no Estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1-8.
- ALVES, H. M. R. et al. Dinâmica espaço-temporal de ambientes cafeeiros de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, p. 38-49, 2007.
- ALZUGARAY, D.; ALZUGARAY, C. **Flora brasileira**. São Paulo: Três Livros, 1984.
- AMARAL, F. C. S. et al. **Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2004. 95 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 63).
- ASSAD, E. D. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, nov. 2004.

- AVELINO, J. et al. Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitude terroirs of Costa Rica, Orosi and Santa María de Dota. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 85, n. 11, p. 1869-1876, Nov. 2005.
- 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.
- CAMARA, G. et al. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, Ottawa, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Altitude e coordenadas geográficas na estimativa da temperatura mínima média decendial do ar no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 893-901, jun. 2006.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Limite dos municípios de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1998. Mapa. Escala 1:100.000. Disponível em: <<http://www.geominas.mg.gov.br/>>. Acesso em: 15 mar. 2005.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café 2010**, segunda estimativa. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 24 maio 2010.
- CONSULTATIVE GROUP FOR INTERNATIONAL AGRICULTURE RESEARCH-CONSORTIUM FOR SPATIAL INFORMATION. **SRTM 90m digital elevation data**. Disponível em: <<http://srtm.csi.cgiar.org/>>. Acesso em: 20 nov. 2007.
- DAMATA, 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.
- DIODATO, N.; CECCARELLE, M.; BELLOCCHI, G. GIS-aided evaluation of evapotranspiration at multiple spatial and temporal climate patterns using geoindicators. **Ecological Indicators**, London, v. 10, p. 1009-1016, 2010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.
- EVANGELISTA, A. W. P.; CARVALHO, L. G. de; SEDIYAMA, G. Zoneamento climático associado ao potencial produtivo da cultura do café no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 445-452, 2002.
- MOREIRA, M. A. et al. Geotecnologias para mapear lavouras de café nos estados de Minas Gerais e São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1123-1135, 2010.
- \_\_\_\_\_. Tecnologia de informação: imagens de satélite para o mapeamento de áreas de café de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, p. 27-37, 2007.
- NUNES, E. L. et al. Zoneamento agroclimático da cultura do café para a bacia do Rio Doce. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, p. 297-302, 2007.
- PICINI, A. G. et al. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 157-170, 1999.
- RABUS, B. M.; EINEDER, A. R.; BAMLER, R. The shuttle radar topography mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **Photogrammetry and Remote Sensing**, Falls Church, v. 57, p. 241-262, 2003.
- SEDIYAMA, G. C. et al. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, p. 501-509, 2001.
- VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 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, p. 678-685, 2000.
- WADT, P. G. S. Relationships between soil class and nutritional status of coffee plantations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, p. 227-234, 2005.
- ZAMBOLIM, L. **Tecnologia de produção de café com qualidade**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 648 p.