



LUIZA VASCONCELOS TAVARES CORRÊA

**ESTRATIFICAÇÃO AMBIENTAL E
CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA COMO
FERRAMENTAS DE APOIO AO
MELHORAMENTO GENÉTICO DO CAFEEIRO
EM MINAS GERAIS**

LAVRAS – MG

2011

LUIZA VASCONCELOS TAVARES CORRÊA

**ESTRATIFICAÇÃO AMBIENTAL E CARACTERIZAÇÃO
CLIMÁTICA COMO FERRAMENTAS DE APOIO AO
MELHORAMENTO GENÉTICO DO CAFEIRO EM MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes

Coorientadores

Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho

Dr. José Airton Rodrigues Nunes

Dra. Margarete Marin Lordelo Volpato

LAVRAS – MG

2011

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Corrêa, Luiza Vasconcelos Tavares.

Estratificação ambiental e caracterização climática como
ferramentas de apoio ao melhoramento genético do cafeeiro em
Minas Gerais / Luiza Vasconcelos Tavares Corrêa. – Lavras :
UFLA, 2011.

79 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Antônio Nazareno Guimarães Mendes.

Bibliografia.

1. Coffea arabica L. 2. Análise de trilha. 3. Interação GxE. 4.
Geotecnologias. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.738

LUIZA VASCONCELOS TAVARES CORRÊA

**ESTRATIFICAÇÃO AMBIENTAL E CARACTERIZAÇÃO
CLIMÁTICA COMO FERRAMENTAS DE APOIO AO
MELHORAMENTO GENÉTICO DO CAFEIEIRO EM MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 27 de julho de 2011.

Dr. Carlos Henrique Siqueira de Carvalho	EMBRAPA CAFÉ
Dra. Margarete Marin Lordelo Volpato	EPAMIG
Dra. Maria Helena Ramos Alves	EMBRAPA CAFÉ
Dr. Rubens José Guimarães	UFLA

Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes

Orientador

LAVRAS – MG

2011

Ao meu esposo Edmarcos e minha querida filha Maria Luiza,
Aos meus pais Francisco de Assis e Maria Lúcia,
Aos meus irmãos Gustavo e Nathália,
pelo incentivo e por constituírem a base de minha vida,

OFEREÇO.

A Edson Marques da Silva (*in memoriam*), pela amizade e com grande gradidão
por tudo que fez por minha família...

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais esta etapa concluída.

À Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Agricultura e ao Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realizar o curso.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

À EPAMIG, por disponibilizar os dados experimentais.

Ao professor e orientador Antônio Nazareno Guimarães Mendes, por sua amizade e exemplos de eficiência, serenidade e atenção com as pessoas.

Ao pesquisador e coorientador Gladyston Rodrigues de Carvalho, por sua amizade e exemplos de dinamismo e motivação.

Ao professor e coorientador José Airton Rodrigues Nunes, pela atenção, disponibilidade e por sua efetiva participação neste trabalho.

À pesquisadora e coorientadora Margarete Marin Lordelo Volpato, pela acolhida e amizade e pela oportunidade de interagir com as geotecnologias, contribuindo sobremaneira com a qualidade deste trabalho.

À pesquisadora Maria Helena Ramos Alves, ao pesquisador Carlos Henrique Siqueira de Carvalho e ao professor Rubens José Guimarães, pela participação na banca e pelas valiosas contribuições neste trabalho.

Aos pesquisadores César Elias Botelho e Juliana Costa de Resende e aos professores Édila Vilela de Resende Von Pinho e Samuel Pereira de Carvalho, pelo apoio durante este curso.

Nas pessoas de Alex Carvalho, André Dominghetti, Danielle Baliza, Ariel Rivera e Katiane Ribeiro, agradeço a todos os colegas do curso de Fitotecnia, do setor de Cafeicultura / NECAF e do Geossolos pelo agradável convívio.

À secretária da Fitotecnia, Marli dos Santos e aos servidores da Biblioteca Central, pela atenção e disponibilidade.

RESUMO

Considerando-se a importância da cafeicultura para o estado de Minas Gerais e a necessidade da geração de novas tecnologias para enfrentar a competitividade e as mudanças climáticas preconizadas, este estudo foi realizado com o objetivo de caracterizar e avaliar os efeitos diretos e indiretos de variáveis climáticas (temperatura, pluviosidade e índice de umidade de Thornthwaite) e da altitude sobre a produtividade do cafeeiro em locais estratégicos para a instalação de experimentos de avaliação de progênies, fornecendo subsídios para melhor aproveitamento de espaço físico e para planejamento de experimentos futuros. Para isto foram utilizadas ferramentas adequadas de caracterização ambiental, nas áreas de agrometeorologia e de geoprocessamento, aliadas a metodologias já consagradas de melhoramento vegetal e de estatística, como a estratificação ambiental e a análise de trilha. Dezesete progênies do Grupo Mundo Novo foram avaliadas em cinco locais do estado de Minas Gerais: Campos Altos, Capelinha, Três Pontas, São Sebastião do Paraíso e Machado. A análise de estratificação ambiental permitiu a formação de três subgrupos de ambientes, o primeiro formado pelos locais Campos Altos e Capelinha; o segundo por Três Pontas e São Sebastião do Paraíso; e o terceiro por Machado. A análise de trilha mostrou-se eficiente e esclarecedora no sentido de determinar a interferência dos fatores climáticos sobre a produtividade das progênies de cafeeiro estudadas, sendo observada acentuada influência da altitude. A utilização de ferramentas de geotecnologia, por meio da espacialização das variáveis climáticas em zonas homogêneas, permitiu a caracterização climática dos locais.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.. Análise de trilha. Interação GxE. Geotecnologias.

ABSTRACT

Considering the importance of coffee crop to Minas Gerais State and the need for generation of new technologies to confront with the competitiveness and recommended climate changes, this study was conducted in order to characterize and evaluate the direct and indirect effects of climatic variables (temperature, rainfall and Thornthwaite annual moisture index) and altitude on the coffee productivity in strategic locations for the installation of experiments to evaluate progenies, providing input for the physical space optimization and for experiments planned for the coming future. For this, proper tools were used in environmental characterization, in areas of agro-meteorology and GIS, coupled with methods of plant breeding and statistics already established, such as environmental stratification and path analysis. Seventeen progenies of Mundo Novo Group were evaluated in five locals in Minas Gerais State: Campos Altos, Capelinha, Três Pontas, São Sebastião do Paraíso and Machado. The environmental stratification analysis allowed the formation of three subgroups of environments, the first formed by regions of Campos Altos and Capelinha, the second by Três Pontas and São Sebastião do Paraíso and the third by Machado. Path analysis was efficient to determine the interference of climatic factors and the altitude in the productivity of coffee progenies studied, being pronounced influence of altitude observed. The use of Geotechnology tools, through the spatialization of climatic variables in homogeneous areas, allowed the climate characterization of the locals.

Key words: *Coffea arabica* L. Path analysis. GxE interaction. Geotechnologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Ciclo Fenológico do Cafeeiro.....	18
Figura 2	Localização dos municípios estudados. Fonte: Brasil (2011b).	38
Figura 3	Dispersão das progênes de cafeeiro em relação aos eixos dos estratos ambientais R1 (Campos Altos e Capelinha) e R2 (Três Pontas e São Sebastião do Paraíso).....	51
Figura 4	Dispersão das progênes de cafeeiro em relação aos eixos dos estratos ambientais R1 (Campos Altos e Capelinha) e R3 (Machado).....	52
Figura 5	Dispersão das progênes de cafeeiro em relação aos eixos dos estratos ambientais R2 (Três Pontas e São Sebastião do Paraíso) e R3 (Machado).....	53
Figura 6	Diagrama Causal ilustrativo dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas ALT (altitude), T (temperatura), PLUV (pluviosidade) e res (variável residual) sobre a variável resposta PROD (produtividade).....	56
Figura 7	Mapa de temperatura do estado de Minas Gerais, considerando-se as normais climatológicas 1961-1990, com a localização dos municípios Campos Altos, Capelinha, Três Pontas, São Sebastião do Paraíso e Machado.....	61
Figura 8	Mapa de Pluviosidade do estado de Minas Gerais, considerando-se as normais climatológicas 1961-1990, com a localização dos municípios Campos Altos, Capelinha, Três Pontas, São Sebastião do Paraíso e Machado.....	62
Figura 9	Mapa de Índice de Umidade do estado de Minas Gerais, considerando-se as normais climatológicas 1961-1990, com a localização dos municípios Campos Altos, Capelinha, Três Pontas, São Sebastião do Paraíso e Machado.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Progênies de cafeeiro do Grupo Mundo Novo estudadas em cinco diferentes locais do estado de Minas Gerais. UFLA, Lavras, MG, 2011.....	38
Tabela 2	Características edafoclimáticas e detalhes experimentais dos cinco locais onde foram instalados os experimentos. UFLA, Lavras, MG, 2011.....	39
Tabela 3	Quadrados médios de progênies obtidos nas análises de variância de cada local estudado, seguidos das médias ajustadas para produtividade de café beneficiado em sacas/ha/biênio de 17 progênies de cafeeiro do Grupo Mundo Novo. UFLA, Lavras, MG, 2011.....	45
Tabela 4	Resumo da análise de variância conjunta para produtividade média de café beneficiado em sacas/ha/biênio, nos locais Campos Altos, Capelinha, Três Pontas, São Sebastião do Paraíso e Machado. UFLA, Lavras, MG, 2011.....	46
Tabela 5	Médias ajustadas da produtividade em sacas/ha/biênio de café beneficiado de 17 progênies de cafeeiro do Grupo Mundo Novo, avaliadas em cinco locais no estado de Minas Gerais. UFLA, Lavras, MG, 2011.....	47
Tabela 6	Autovalores da matriz de correlação entre os desempenhos de 17 progênies de cafeeiro em cada par de ambientes. UFLA, Lavras, MG, 2011.....	48
Tabela 7	Estratificação ambiental por meio da análise de fatores, com 17 progênies de cafeeiro do Grupo Mundo Novo, avaliadas em cinco locais no estado de Minas Gerais. UFLA, Lavras, MG, 2011.....	50
Tabela 8	Coefficientes de correlação entre as variáveis climáticas e a produtividade média em sacas/ha/biênio de progênies do Grupo Mundo Novo, nos cinco locais estudados. UFLA, Lavras, MG, 2011.....	55
Tabela 9	Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis climáticas sobre a produtividade média em sacas/ha/biênio de progênies do Grupo Mundo Novo, nos cinco locais estudados. UFLA, Lavras, MG, 2011.....	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Utilização de dados históricos de genótipos de cafeeiro	15
2.2	Fenologia e exigências climáticas do cafeeiro	17
2.3	Zoneamento do cafeeiro e Regiões Cafeeiras em Minas Gerais	23
2.4	Interação Genótipos por Ambientes e Estratificação Ambiental	26
2.5	Análise de Trilha	31
2.6	Utilização de geotecnologias	36
3	MATERIAL E MÉTODOS	37
3.1	Análises de Variância	39
3.2	Análise de Estratificação Ambiental	41
3.3	Análise de Trilha	42
3.4	Elaboração dos mapas temáticos	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
6	CONCLUSÕES	66
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

A importância do agronegócio é indiscutível na economia brasileira, sendo um dos setores de maior contribuição na composição do comércio internacional do País e sem o qual a balança comercial não teria registrado sucessivos superávits nos últimos anos. Por esta razão o setor agropecuário vem sendo forçado a buscar cada vez mais a eficiência em um ambiente de aguçada competitividade, promovendo melhor aproveitamento dos recursos produtivos. Neste contexto, a cafeicultura sempre contribuiu de forma decisiva para a pujança do agronegócio nacional, sendo que esta cadeia produtiva, inserida num ambiente altamente dinâmico, demanda cada vez mais o aprimoramento de tecnologias, e dentre estas, cultivares melhoradas. O estado de Minas Gerais é o maior produtor de café do país, sendo que a área ocupada por esta cultura no Estado é de aproximadamente um milhão de hectares, com produção superior a 50% da produção nacional, acima de 25 milhões de sacas na safra 2010 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2011).

O Programa de Melhoramento Genético do Cafeeiro em Minas Gerais teve início na década de 1970, pelo estabelecimento de uma cooperação entre a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG e as Universidades Federais de Lavras - UFLA e de Viçosa - UFV, a partir de germoplasma oriundo do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC e do Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro - CIFC, em Oeiras / Portugal. Desde então, vários ensaios foram e continuam sendo conduzidos com a finalidade de selecionar genótipos que atendam às demandas do setor produtivo cafeeiro. Durante este tempo, muito se acumulou em termos de conhecimento técnico e várias cultivares foram lançadas. Atualmente, algumas características além da produtividade, que não eram tão exploradas no início deste programa, passaram a ter importância, como por exemplo: qualidade de bebida, porte e arquitetura da

planta, tolerância a estresses abióticos, dentre outras, ressaltando o aspecto de dinamismo, implícito nos programas de melhoramento vegetal de uma maneira geral.

Devido ao grande número de progênies avaliadas em experimentos instalados nas fazendas experimentais da EPAMIG, em todo estado de Minas Gerais, e ao número de safras consecutivas de avaliação, muitos dados foram coletados, o que possibilitou a seleção de progênies e o lançamento de várias cultivares. No entanto, com o desenvolvimento de novas metodologias de análise e pela interação com outras áreas do conhecimento, estes dados podem ser utilizados para gerar outras informações estratégicas para o Programa. Neste sentido, a utilização de dados obtidos em progênies de cafeeiro, que já foram exaustivamente estudadas e inclusive plantadas comercialmente, se constitui numa ferramenta importante para se estudar, não as progênies em si, mas os locais onde as mesmas foram avaliadas.

Conhecimentos desde a fenologia, passando pelas condicionantes agrometeorológicas, até o zoneamento climático para a cultura do cafeeiro encontram-se disponíveis em várias publicações. Somado a estes, o Zoneamento Ecológico Econômico do estado de Minas Gerais - ZEE-MG, que tem como objetivo dividir o território em zonas, de acordo com as necessidades de utilização, proteção, conservação e recuperação dos recursos naturais e do desenvolvimento sustentável, compila diversas informações geradas por equipes multidisciplinares. Carvalho et al. (2008b) comentam que o ZEE-MG, concluído e disponibilizado, é uma ferramenta e, como tal, pode ser utilizada para as mais diversas finalidades, podendo se tornar muito eficiente em fornecer respostas a problemas bem definidos e específicos.

O estágio atual de conhecimentos sobre: o comportamento de progênies de várias cultivares experimentadas e utilizadas pelos cafeicultores; as exigências climáticas do cafeeiro, baseadas na sua fenologia; a caracterização

das regiões do estado de Minas Gerais, quanto aos seus aspectos geofísicos, sintetizados no ZEE-MG; considerando a disponibilidade de melhores bases de dados e por meio de uma perspectiva multidisciplinar, possibilita a realização de estudos mais detalhados, visando aperfeiçoar o conhecimento sobre o potencial das regiões produtoras de café do Estado.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar e avaliar os efeitos diretos e indiretos de variáveis climáticas (temperatura, pluviosidade e índice de umidade) e da altitude sobre a produtividade do cafeeiro em locais estratégicos para a instalação de experimentos de avaliação de progênies, fornecendo subsídios para melhor aproveitamento de espaço físico e planejamento para alocação de recursos em ensaios futuros por meio da utilização de metodologias de melhoramento vegetal e de estatística, como a estratificação ambiental e a análise de trilha, combinadas com ferramentas de geotecnologia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Assim como o dinamismo, pode-se dizer que a multidisciplinaridade também é uma característica inerente ao melhoramento do cafeeiro, independentemente dos objetivos específicos que se pretende alcançar, uma vez que as demandas atuais englobam não apenas genótipos mais produtivos, mas também com características de tolerância a estresses bióticos e abióticos e com potencial para produção de cafés de qualidade. A migração da cultura do cafeeiro para regiões não tradicionais, com restrições de chuva e temperaturas mais elevadas, demanda contínuo aprimoramento das cultivares para atender a esses novos ambientes e situações de cultivo. As informações a respeito de aquecimento global são cientificamente válidas e preocupantes, as implicações agrônômicas para as futuras lavouras de café são evidentes e outros genótipos serão necessários para fazer frente a essa nova situação (MEDINA FILHO; BORDIGNON; CARVALHO, 2008). Carvalho et al. (2011) ressaltam que aspectos climatológicos e de qualidade de bebida estão intimamente interligados. Percebe-se, portanto a importância de pesquisas para se conhecer, caracterizar e mapear as regiões produtoras de cafés no Estado, compreendendo as relações entre as variáveis edafoclimáticas com a qualidade final da bebida (ALVES et al., 2011). Acrescenta-se também a importância de se compreender as relações entre as variáveis edafoclimáticas com o comportamento diante dos estresses aos quais as lavouras são submetidas e com a produção.

Neste sentido, Medina Filho, Bordignon e Carvalho (2008) ressaltam que vários aspectos relativos ao pré-melhoramento e às interações de cultivares com o ambiente estão atualmente em estudo nas instituições de pesquisa e universidades, porém, muitos outros ainda carecem de atenção e precisam ser investigados, principalmente por equipes multidisciplinares integradas. Guimarães et al. (2011) também comentam sobre a importância de estudos

multidisciplinares com a cultura do cafeeiro, associando as áreas de nutrição e qualidade de bebida.

2.1 Utilização de dados históricos de genótipos de cafeeiro

No caso do melhoramento do cafeeiro, a utilização de dados históricos de ensaios com progênies é feita na maioria das vezes para se estudar a realização de seleção antecipada, permitindo-se inferir sobre quantas safras seriam necessárias para se efetuar seleções e recomendações com segurança, no menor tempo possível. Neste sentido, já em 1941, quando foram publicados os primeiros artigos sobre a avaliação do Programa de Melhoramento do Cafeeiro no IAC, os pesquisadores àquela época já se preocupavam com o tratamento estatístico dos dados, para assessorá-los na seleção de materiais genéticos mais produtivos e em menor espaço de tempo (ANTUNES FILHO; CARVALHO, 1957; CARVALHO et al., 1973; MENDES et al., 1941). Seguindo a mesma linha, encontram-se na literatura estudos que discutem e propõem o número de safras e o tipo de agrupamento das mesmas para se proceder as seleções e recomendação de cultivares, em menor prazo (CARVALHO, 1989; MENDES, 1994; MISTRO et al., 2008; MONCADA; CASLER; CLAYTON, 1993; SERA, 1987).

Por outro lado, as seleções dos Grupos Mundo Novo e Catuaí, cobrem aproximadamente 80% do parque cafeeiro nacional, sendo, portanto, cultivares adaptadas às várias regiões cafeeiras. Esta lógica se repete quanto à adaptação destes materiais às regiões cafeeiras do estado de Minas Gerais. Vários ensaios com progênies destes grupos de cultivares e com materiais obtidos do cruzamento entre os mesmos e também cruzamentos com materiais portadores de alelos de resistência a ferrugem, foram conduzidos por muitos anos nas fazendas experimentais da EPAMIG e como resultado, outras cultivares foram

originadas e muito conhecimento sobre o comportamento de progênies foi acumulado (BOTELHO et al., 2010b; CARVALHO et al., 2006a, 2006b, 2006c, 2010; DIAS et al., 2005; MENDES, 1994; MONTE-RASO, 2009). Portanto, trata-se de genótipos amplamente experimentados, que constituem importantes fontes de dados confiáveis.

Neste trabalho, serão utilizadas progênies do Grupo Mundo Novo, sobre o qual será feita uma abordagem sintética de sua origem e suas principais características. A denominação Mundo Novo deveu-se à primeira seleção de plantas de cafeeiros, “excepcionalmente vigorosas”, encontradas por pesquisadores do IAC, em 1943, numa lavoura no antigo município de Mundo Novo, no interior paulista. A hipótese mais aceita sobre sua origem é a de que se trata de um cruzamento natural entre as cultivares Sumatra e Bourbon Vermelho, encontrado no município paulista de Mineiros de Tietê. Com o trabalho de seleção de plantas realizado àquela época pela equipe do IAC, foram desenvolvidas cultivares do Grupo Mundo Novo, amplamente utilizadas para plantio até os dias de hoje. Detalhes sobre a origem deste material genético são descritos por Mendes et al. (2008) e Pereira et al. (2010). As cultivares do Grupo Mundo Novo são caracterizadas pela elevada capacidade produtiva, aliada ao maior vigor vegetativo e longevidade das plantas no campo. Apresentam porte alto, com 3,4 m (3,0 a 3,8 m) de altura média, com diâmetro médio da copa de 2,0 m (1,4 a 2,7 m), a 0,5 m do solo. A arquitetura varia nos materiais, apresentando conformação cilíndrica ou cônica, com abundância de ramos secundários. A cor dos brotos é verde-claro ou bronze, podendo segregar para esta característica em algumas progênies. Caracterizam-se também por apresentarem sistema radicular bem desenvolvido; maturação média e uniforme; valor da peneira média de 17,2 (16,1 a 18,1); rendimento de café beneficiado em relação ao café em coco de aproximadamente 50%; porcentagem de sementes

tipo chato em média de 84,9% (75,2 a 91,4%) e suscetibilidade à ferrugem (PEREIRA et al., 2010).

Apesar da existência destes estudos sobre o comportamento de genótipos de cafeeiro em vários anos e em vários locais no estado de Minas Gerais, não se tem estudos, para esta cultura, sobre a caracterização destes locais para fins de melhoramento.

2.2 Fenologia e exigências climáticas do cafeeiro

A fenologia de uma espécie está associada aos seus hábitos de crescimento e desenvolvimento. Diferentemente da maioria das plantas frutíferas perenes, que emitem suas inflorescências na primavera e frutificam no mesmo ano fenológico, o cafeeiro necessita de dois anos (agrícolas) para fechar seu ciclo fenológico. Meireles et al. (2009) apresentam um esquema do ciclo fenológico (Figura 1) do cafeeiro arábica, que é composto por uma sucessão de fases vegetativas e reprodutivas, que ocorrem em aproximadamente dois anos, sendo dividido em seis fases para as condições tropicais brasileiras.

O fator ambiental responsável pela indução floral no cafeeiro é o decréscimo no fotoperíodo (CAMARGO, 1985). O cafeeiro arábica é uma planta de dias curtos para indução ao florescimento e o fotoperíodo crítico está entre 13 e 14 horas. Fisiologicamente significa que o cafeeiro somente será induzido ao florescimento quando submetido a fotoperíodos inferiores ao valor crítico. As cultivares de cafeeiro arábica são classificadas, quanto à maturação dos frutos, em cultivares precoces, médias e tardias, cujo ciclo produtivo vai do florescimento à maturação, durando, aproximadamente, 210, 240 e 260 dias, respectivamente (PEREIRA; CAMARGO; CAMARGO, 2008).

Ano 1											
Período Vegetativo											
set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	Jul	ago
(1) Vegetação de formação das gemas vegetativas						(2) Indução e maturação das gemas florais					
Ano 2											
Período Reprodutivo											
set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	Jul	ago
(3) Florada, chumbinho e expansão dos frutos			(4) Granação dos frutos			(5) Maturação dos frutos			(6) Repouso, senescência dos ramos 3 ^{os} e 4 ^{os}		

Figura 1 Ciclo Fenológico do Cafeeiro
 Fonte: Adaptado de Meireles et al. (2009).

De acordo com Meireles et al. (2009), a disponibilidade hídrica, a temperatura do ar, a radiação solar, o fotoperíodo e os ventos são as condicionantes agrometeorológicas da produtividade do cafeeiro, além de eventos adversos como ocorrência de chuvas de granizo, seca fora de época e veranico, ventos intensos, geadas, chuvas excessivas ou excesso hídrico prolongado e chuvas na colheita. Pereira, Camargo e Camargo (2008) comentam que para um mesmo genótipo, desde que as condições de nutrientes e fitossanitárias sejam adequadas, a maior fonte de variabilidade na fenologia será o ambiente. De todos os fatores que caracterizam o ambiente, os mais críticos para a fenologia do cafeeiro são a temperatura, o fotoperíodo e o ritmo das chuvas.

Primeiramente, os efeitos da temperatura média sobre as condições de aptidão, em se tratando de uma cultura perene, indicam qual espécie de cafeeiro pode ser cultivada numa região (*Coffea arabica* ou *Coffea canephora*) e quais restrições são esperadas no cultivo tradicional. Focando-se apenas no cafeeiro arábica, este cresce e produz melhor em locais com temperatura média anual entre 18 e 22 °C (ASSAD et al., 2004). Acima de 23 °C, a maturação dos frutos se antecipa e pode ocorrer durante a estação chuvosa, dificultando a colheita e

prejudicando a qualidade do produto final. No outro extremo térmico, em regiões com temperatura média anual abaixo de 17 °C, as plantas não conseguem completar seu ciclo fenológico antes da próxima florada; ocorrendo simultaneamente frutos em processo de maturação com novas flores, onde a colheita danifica a nova florada. Outro indicador térmico da aptidão regional para o cultivo comercial é a temperatura média do mês mais frio. Se esta for menor que 15 °C, há grande chance de ocorrência de geadas frequentes e é indicativo de inaptidão térmica por frio excessivo. Temperaturas iguais ou superiores a 34 °C podem favorecer o abortamento floral dos cafeeiros e a formação de “estrelinhas”, diminuindo, consideravelmente, a produtividade. Temperaturas iguais ou inferiores a 2 °C implicam na formação de geadas de irradiação. Por outro lado, as encostas de face Sul e Sudoeste podem estar sob influência de ventos moderados a fortes, com temperaturas baixas, ocasionando sintomas típicos de “crestamento” foliar no período de inverno (PEREIRA; CAMARGO; CAMARGO, 2008).

Quanto ao regime hídrico, mesmo em regiões com total anual de chuvas elevado, pode e deve haver ocorrência de deficiência em fases críticas da fenologia. O sincronismo entre as condições hídricas e a fenologia do cafeeiro é fundamental para se obter boas produções com boa qualidade de bebida. Suprimento hídrico adequado significa que as chuvas devem ser ligeiramente maiores que a evapotranspiração potencial, ocorrendo deficiência hídrica quando este suprimento não é suficiente para atender à demanda transpirativa das plantas (PEREIRA; CAMARGO; CAMARGO, 2008). Regiões com precipitações anuais entre 1200 e 1800 mm, com boa distribuição das chuvas ao longo do ano, são consideradas aptas para o cultivo de café (MOURA et al., 2007). A deficiência hídrica é benéfica e desejável após a granação, quando se inicia a formação das gemas florais da próxima safra. No entanto, na fase de chumbinho, quando há a expansão de volume dos frutos, e durante a fase de

granação, a deficiência hídrica resulta em frutos menores e em frutos chochos, respectivamente, ocorrendo nestes casos, perda de produção. Considera-se que uma região tem regime hídrico adequado se o déficit hídrico (DH) anual for inferior a 150 mm; se DH for de 150 a 200 mm, a região é considerada hidricamente marginal; mas se DH for maior que 200 mm, a região será inapta quanto ao fator hídrico. Diante do exposto, mesmo em áreas tradicionais de cafeicultura sem irrigação, essa prática tem sido progressivamente utilizada para garantir safras e qualidade de bebida durante anos de escassez temporária de chuvas (veranicos). Somado a isto, na eventualidade de se concretizarem as previsões de mudanças climáticas, com significativo aumento na temperatura e na variabilidade das chuvas, a irrigação tem o potencial de se tornar uma das práticas essenciais de manejo para mitigar os efeitos negativos sobre a cafeicultura brasileira (MEIRELES et al., 2009; PEREIRA; CAMARGO; CAMARGO, 2008).

A altitude também é fator importante a ser considerado, influenciando o ciclo do cafeeiro. Segundo Laviola et al. (2007), em regiões de maior altitude, a planta de cafeeiro leva maior tempo para completar o ciclo reprodutivo e esta influência da altitude está relacionada, principalmente, às temperaturas mais amenas em maiores altitudes. Botelho et al. (2010a) citam que a faixa de altitude apta para o cafeeiro arábica é de 500 a 1300 metros, sendo a faixa ideal em torno de 1000 metros. Altitudes abaixo de 500 m, associadas a temperaturas elevadas e a longos períodos de seca, podem reduzir a produtividade da lavoura. Em regiões de altitudes elevadas, acima de 1000 m, a ocorrência de ventos frios é prejudicial às lavouras (MOURA et al., 2007).

A partir dos conceitos básicos sobre fenologia e efeitos das variáveis climáticas sobre a mesma, vários estudos são realizados na cultura do cafeeiro, principalmente relacionados com o entendimento da variação do ciclo da planta e com a previsão de safras. O conceito de graus-dia assume a existência de uma

temperatura basal abaixo da qual o crescimento vegetal pode ser desconsiderado. Cada grau acima da temperatura base corresponde a um grau-dia. Cada espécie vegetal possui uma temperatura-base para diferentes fases fenológicas ou pode se adotar um valor único para todo o ciclo da cultura. Assim, a caracterização das exigências térmicas do cafeeiro, com o uso do conceito de graus-dia pode ser uma importante ferramenta para avaliar a duração do ciclo produtivo, produtividade da cultura e os aspectos relacionados à qualidade de bebida. Outra utilização da técnica dos graus-dia para a cultura do café pode ser a identificação de cultivares com diferentes exigências térmicas em programas de melhoramento (PEZZOPANE et al., 2008). Carvalho et al. (2011) comentam que além dos graus-dia, existem outros sistemas de unidades bioclimáticas, que são pouco utilizados na cafeicultura e neste sentido, realizaram um estudo com o objetivo de avaliar o desempenho de quatro índices bioclimáticos (índice térmico, acúmulo da radiação fotossinteticamente ativa, índice heliotérmico de Geslin e acúmulo de evapotranspiração de referência) no cafeeiro para a estimativa da duração de subperíodos do florescimento e maturação do fruto.

Petek, Sera e Fonseca (2009) comentam que o conhecimento das interações dos estádios fenológicos com variáveis climáticas e as exigências térmicas para a maturação dos frutos nas cultivares de café levará à maior eficiência na organização de tratamentos culturais e de colheita, e ao menor risco com a atividade devido à melhor localização das cultivares regionalmente e na propriedade. Na regionalização das cultivares, de acordo com os grupos de maturação, as precoces são indicadas para regiões mais frias, onde a ocorrência de geadas é mais frequente, evitando-se os danos em frutos verdes. Já as mais tardias são preferidas em regiões mais quentes, devido à aceleração que temperaturas altas provocam no desenvolvimento dos frutos, podendo formar frutos mal granados e de peneira baixa.

Modelos agrometeorológicos, relacionando as condições ambientais com fenologia, bienalidade e produtividade, têm sido desenvolvidos para as regiões cafeeiras do país. Estes modelos consideram que cada fator climático exerce um controle na produtividade da cultura, por influenciar determinados períodos críticos, como a indução floral, a floração, a formação e a maturação dos frutos de café. Além de fornecer dados para alimentar os sistemas de previsão de safras agrícolas, permitem identificar estresse hídrico ao longo do ciclo da cultura, cujos impactos na produtividade podem ser detectados e avaliados. Todavia, a parametrização de um modelo agrometeorológico para a cultura do café não é tarefa fácil, pois existem diversos fatores que influenciam a produtividade do café, tais como: cultivares, sistema de plantio (adensado e não adensado), idade da lavoura, tipo e fertilidade do solo e sistema de manejo. Além disso, a característica de bienalidade de produção do cafeeiro e a falta de um mapa temático com a distribuição espacial da área cultivada aumentam ainda mais a complexidade da estimativa da produtividade do café em grandes áreas territoriais por meio desses modelos (ROSA et al., 2010). No entanto, atualmente são propostos modelos agrometeorológicos para a estimativa da produtividade do cafeeiro, com a finalidade de refinar os modelos clássicos existentes para a cultura, por meio da utilização de metodologias mais recentes (CARVALHO et al., 2004; ROSA et al., 2010).

Pereira, Camargo e Camargo (2008) comentam que o melhoramento genético, que procura adaptar a espécie a alguma condição desfavorável do ambiente (clima e solo) gerando novas cultivares, pode alterar as exigências climáticas. Para o cultivo econômico é imperativo que se conheça detalhadamente as possíveis respostas da espécie (e suas cultivares) aos estímulos do ambiente; assim, é possível escolher áreas climaticamente mais adequadas, cultivares mais apropriadas ao ambiente, e os manejos necessários para minimizar as adversidades naturais mais frequentes da região.

2.3 Zoneamento do cafeeiro e Regiões Cafeeiras em Minas Gerais

Inicialmente, a cafeicultura se desenvolveu em regiões consideradas aptas à cultura, no que diz respeito às necessidades térmicas e hídricas, mas com a introdução da cultura em regiões consideradas marginais em termos de condições térmicas e disponibilidade hídrica, tornou-se necessária a adoção de novas tecnologias (NUNES et al., 2007). Segundo Assad et al. (2004), devido às mudanças climáticas que estão ocorrendo no planeta, a área para o cultivo do cafeeiro deverá sofrer alterações. No estado de Minas Gerais, de acordo com simulações realizadas, estes autores constataram que a área apta para a cafeicultura deverá diminuir, além de que áreas produtoras tradicionais passarão a exigir irrigação para o cultivo. O zoneamento agroclimático delimita as áreas com potencial adequado de clima e solo para as culturas, sendo ferramenta fundamental para a implantação de qualquer atividade agrícola, necessitando sempre ser atualizado à medida que novas tecnologias de aprimoramento estejam surgindo, como é o caso da incorporação de séries climatológicas mais longas e do uso de geotecnologias, aliadas a modernos sistemas computacionais (ALVES et al., 2011).

De acordo com o zoneamento agroclimático realizado para o cafeeiro no estado de Minas Gerais por Sedyama et al. (2001), as áreas consideradas aptas para o desenvolvimento do café arábica correspondem a 48,7% da área total do estado de Minas Gerais, abrangendo praticamente todas as regiões do Estado. Neste mesmo trabalho, os autores ressaltam a importância do zoneamento climático do cafeeiro, tanto na implantação quanto no planejamento de atividades agrícolas, porque a delimitação das regiões, climaticamente homogêneas significa, não só estabelecer os indicadores do potencial do meio físico e biológico para a região em estudo, mas também registrar e delimitar as áreas de padrões homogêneos de atividades agrícolas e dos recursos naturais

nelas existentes. Nunes et al. (2007) também elaboraram um zoneamento agroclimático para a cultura do cafeeiro para a região da Bacia do Rio Doce, identificando regiões aptas, restritas e inaptas ao cultivo do café. Por meio de ferramentas de geoespacialização, utilizaram dados de temperatura e déficit hídrico de 50 estações meteorológicas instaladas na bacia e em bacias limítrofes.

Caramori et al. (2001) realizaram um zoneamento para a cultura do cafeeiro arábica no estado do Paraná, englobando geadas, deficiência hídrica e temperaturas elevadas, revelando que as geadas constituem o único elemento climático limitante ao cultivo desta cultura no Paraná. Assim, foi realizado um estudo detalhado do risco de geadas em todo o Estado, com base em séries históricas de dados de temperatura mínima, indicando regiões aptas, de transição e inaptas para o cultivo do cafeeiro. Os autores ressaltam que este trabalho é particularmente importante devido ao fato de que a cafeicultura do Paraná passa por um processo de revolução tecnológica, por meio do sistema de cultivo adensado. Mendes et al. (2001) desenvolveram, para o estado de Rondônia, com base em levantamento de solos, dados de clima, informações da exigência da cultura, um zoneamento pedoclimático da cultura do café robusta para este Estado, tornando-se importante instrumento para planejamento e elaboração de políticas públicas. Estudo parecido foi elaborado por Carvalho et al. (2008a), utilizando informações disponibilizadas pelo ZEE-MG, para as culturas do eucalipto e cana-de-açúcar em Minas Gerais, onde mapas de aptidão para estas culturas foram estabelecidos a partir de aspectos climáticos e aspectos relacionados a solos.

A portaria N° 80/2011 (BRASIL, 2011a) é o instrumento que regulamenta o Zoneamento Agrícola para a cultura do cafeeiro no estado de Minas Gerais, com o objetivo de indicar as áreas aptas e os períodos de plantio com menor risco climático para o cultivo do cafeeiro no Estado. De acordo com a Nota Técnica em seu Anexo único, as condições hídricas e de temperatura são

os principais fatores climáticos que influenciam a produção cafeeira. Especifica os critérios de aptidão hídrica e térmica para o cafeeiro arábica e robusta no Estado e considera aptos para a implantação da cafeicultura os municípios que apresentaram em, no mínimo, 20% de seu território, condições climáticas dentro dos critérios adotados, estabelecendo-se também os períodos de plantio para os cultivos de sequeiro e irrigado.

Faz-se necessário uma descrição sobre as regiões cafeeiras do estado de Minas Gerais, uma vez que o programa de melhoramento instalado no Estado visa o desenvolvimento de cultivares adaptadas a estas regiões e que, principalmente em função da dimensão territorial, são muito divergentes sob vários aspectos. Esta divergência não se dá somente no aspecto climatológico, que é o que será abordado neste estudo, mas também em relação aos aspectos tecnológicos, econômicos e sócio-culturais.

Minas Gerais situa-se na Região Sudeste do Brasil, entre os paralelos 14°13'57" e 22°55'47" de latitude sul e entre os meridianos 39°51'24" e 51°02'56" de longitude oeste, com uma extensão territorial de 582.586 km², que representa 6,9% da área total do Brasil, inteiramente contida na zona intertropical (CUPOLILLO, 1997 citado por ALVES et al., 2011). O Estado destaca-se por apresentar grande diversidade de climas, em razão de ser uma região tropical de transição climática, que advém das células de circulação atmosférica tropical, dos sistemas frontais (fatores dinâmicos) e de suas interações com a continentalidade tropical e a topografia regional (fatores estáticos), bastante acidentada (CUPOLILLO, 2008 citado por ALVES et al., 2011). O macro clima caracteriza-se por uma sazonalidade bem definida, com duas estações claramente distintas, um verão úmido e quente e um inverno seco e ameno, e outras duas de transição, o outono e a primavera (VIANELLO et al., 2006 citado por ALVES et al., 2011).

As Portarias N°401/2000 (MINAS GERAIS, 2000) N°437/2001 (MINAS GERAIS, 2001) e N°780/2006 (MINAS GERAIS, 2006), publicadas pelo Instituto Mineiro de Agropecuária - IMA, regulamentam as denominações e as delimitações atualizadas das regiões produtoras de café do estado de Minas Gerais, a saber: Região Sul de Minas, Região do Café do Cerrado, Região das Matas de Minas e Região da Chapada de Minas. No anexo da legislação encontram-se especificações das regiões quanto às características climáticas, biomas a que pertencem e os municípios que participam de cada uma delas.

2.4 Interação Genótipos por Ambientes e Estratificação Ambiental

A cafeicultura se encontra distribuída em praticamente todas as regiões do estado de Minas Gerais, que, como citado anteriormente, são bastante distintas quanto às características climáticas e também quanto ao aspecto de nível de tecnologia empregado nas lavouras. Dentro deste contexto, o efeito da interação genótipos por ambientes (GxE) é decorrente do comportamento diferencial dos diferentes genótipos nos diferentes ambientes e pode indicar que os melhores indivíduos em um ambiente podem não sê-lo em outros ambientes, tornando-se um complicador na seleção, se não for considerado adequadamente. Por isso, a capacidade dos materiais genéticos se comportarem bem numa grande amplitude de condições ambientais pode ser fator essencial em um programa de melhoramento genético, sendo, portanto relevante o estudo da estabilidade dos mesmos (RESENDE, 2002). Allard e Bradshaw (1964) definiram a resposta relativa dos genótipos em relação à variação dos ambientes em dois tipos: previsível e imprevisível. A primeira categoria inclui todos os fatores permanentes do ambiente, como as características do clima e tipo de solo e também os aspectos determinados pelo manejo da cultura, como data de plantio, densidade, método de preparo do solo e colheita, entre outros. A

segunda categoria inclui as flutuações variáveis do ambiente, como a quantidade e distribuição das chuvas e variações na temperatura.

Em se tratando de condições tropicais, onde a diversidade, de clima e de tecnologias, adotada pelos agricultores é maior, o principal desafio para o trabalho dos melhoristas seria o de manejar os efeitos da interação (GxE). Portanto, os genótipos devem ser bem adaptados e mais estáveis, sendo imprescindível sua avaliação no maior número de ambientes possível, com o propósito de verificar o comportamento dos mesmos, em resposta às variações sistemáticas e causais do ambiente. Enfatiza-se que esta fase de avaliação é a fase mais difícil e cara no desenvolvimento de novas cultivares (CRUZ, 2006a; RAMALHO; SILVA; DIAS, 2009).

Sobre medidas que controlem ou amenizem os efeitos da interação (GxE), têm sido citados dois tipos de abordagens biométricas: a primeira diz respeito aos estudos de estabilidade e adaptabilidade, em que se procura particularizar as respostas de cada genótipo diante das variações ambientais, procurando identificar aqueles de adaptabilidade ampla ou específica e, ainda, aqueles de comportamento previsível (CRUZ; REGAZZI, 2001). Outra abordagem seria a estratificação de ambientes, ou seja, o estabelecimento de subgrupos homogêneos de ambientes, em que a interação (GxE) seja não-significativa ou predominantemente simples, procurando-se identificar, entre os ambientes estudados, padrões de similaridade de resposta de genótipos. Desse modo, procede-se a avaliação da representatividade dos experimentos na faixa de adaptação da cultura, permitindo-se tomar decisões quanto à exclusão de ambientes por problemas técnicos ou escassez de recurso (CRUZ, 2006b). Entende-se por interação (GxE) simples ou não significativa quando a diferença de comportamento dos genótipos nos vários ambientes não altera a posição relativa dos mesmos, não acarretando problemas ao melhorista, uma vez que os melhores genótipos em um ambiente também o são em outros; e por interação

(GxE) complexa entende-se quando há falta de correlação entre os desempenhos dos genótipos, de modo que estes apresentam diferentes respostas às variações ambientais (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Nesta revisão serão discutidos aspectos sobre a estratificação ambiental, uma vez que se propõem, por meio desta abordagem, meios para melhor se caracterizar os ambientes para fins de melhoramento com o cafeeiro em Minas Gerais. Duarte e Zimmermann (1991) ponderam que em estudos para a determinação de locais-chaves para realização de experimentos com genótipos, deve-se levar em consideração que os mesmos devem ser realizados em vários anos ou safras, devido às variações ambientais não previstas que influenciam a interação de genótipos com anos e com locais e anos. Vários métodos de estratificação ambiental têm sido utilizados e propostos, como a metodologia proposta por Lin (1982), apresentada por Cruz e Regazzi (2001), baseada na interação (GxE) não significativa ou simples entre os ambientes.

Empregam-se também análises de agrupamento com diferentes medidas de dissimilaridade entre pares de ambientes (CRUZ; CARNEIRO, 2006). Dentre estes estudos estão a análise de agrupamento associada ao método BLUP realizada com 10 genótipos de feijão em 9 locais, com o objetivo de sugerir uma divisão do estado de Santa Catarina em macro-ambientes para a experimentação e produção de feijão (BERTOLDO et al., 2009). Silva, Pinto e Biase (2004), apresentam uma metodologia semelhante à apresentada por Cruz e Regazzi (2001), porém, utilizando a análise de agrupamento, com critério de ligação WPGMA (média ponderada de pares de grupos), tendo como medida de dissimilaridade entre dois locais o inverso do p-valor para o teste F, aplicado na hipótese de nulidade da interação (GxE) na análise de variância. Utilizando dados de 36 híbridos de milho em 23 locais, a metodologia se mostrou eficiente para o agrupamento de ambientes com interações não significativas, além de permitir a visualização gráfica do agrupamento e da possibilidade de definir o

nível de significância adotado. Outro estudo trata-se também de uma proposta de metodologia (MURAKAMI; CRUZ, 2002) para avaliação da representatividade de ambientes por meio do desempenho genotípico com a utilização do coeficiente de determinação (R^2) como referencial. Esta metodologia baseia-se na adoção de procedimentos análogos aos adotados em análise dialélica, e foi utilizada com eficiência em genótipos de milho, avaliados por três safras em vários experimentos no estado de Mato Grosso. Coimbra et al. (2006a), utilizando metodologia de dissimilaridade de ambientes associada à análise de componentes principais no estudo de 26 ambientes e 49 cultivares de milho, identificaram os ambientes mais representativos para a condução de ensaios para recomendação de cultivares, ressaltando no entanto a necessidade de considerar as informações obtidas de vários anos para a realização da análise de representatividade.

No entanto, Cruz e Carneiro (2006) ponderam que os estudos de estabilidade e adaptabilidade e de estratificação ambiental, apesar de terem sua importância reconhecida, têm sido realizados de forma desassociada, sendo, portanto de pouco proveito para o melhoramento genético e, devido a este aspecto, recomendam uma metodologia que contemple, simultaneamente, a análise de adaptabilidade e de estratificação de ambientes por meio do princípio da similaridade do desempenho genotípico, baseada na técnica multivariada de análise de fatores. Esta metodologia foi proposta por Murakami e Cruz (2004), a partir de um estudo sobre a produtividade de grãos de híbridos de milho em diferentes ambientes. Subgrupos de ambientes foram estabelecidos, com altas correlações dentro e baixa ou nenhuma entre subgrupos, obtendo também, com os escores dos genótipos, uma análise gráfica da adaptabilidade dos híbridos. Outros autores utilizaram esta metodologia com o objetivo de se realizar a estratificação ambiental e obter informações sobre o desempenho de genótipos de soja e milho, obtendo resultados satisfatórios (COIMBRA et al., 2006b;

GARBUGLIO et al., 2007; MENDONÇA et al., 2007). Garbuglio (2010) realizou um trabalho com genótipos de soja, aprofundando esta metodologia, utilizando a análise de fatores associada aos efeitos genotípicos e da interação genótipos por ambientes.

Outras metodologias baseadas em estatística multivariada também abordam simultaneamente a estratificação ambiental e a adaptabilidade de genótipos. Uma delas seria a metodologia dos genótipos vencedores associada à análise AMMI, utilizada por Pacheco et al. (2009) em genótipos de soja, de três ciclos de maturação, em 18 locais na região Central do Brasil, e tiveram como objetivo identificar locais-chaves para o estabelecimento de programas de melhoramento genético de soja nesta região. Felipe, Duarte e Camarano (2010) também realizaram trabalho semelhante utilizando 47 ensaios do programa de avaliação de variedades de milho do estado de Goiás, com o objetivo de identificar estratos ambientais para a recomendação de variedades de milho e locais-chaves para a condução destes ensaios em Goiás.

Outra metodologia seria a GGE biplot, que tem por princípio o processo de regressão por sítios a partir dos efeitos genotípicos associados aos efeitos da interação genótipos por ambientes (GARBUGLIO, 2010). Esta metodologia foi utilizada por Fritsche-Neto et al. (2010), comparando-a com a metodologia de análise de fatores em 49 genótipos de milho em 9 ambientes. Concluíram que a estratificação ambiental pela análise de fatores mostrou-se mais seletiva em reunir ambientes pela similaridade de desempenho das cultivares, mas não evidenciou as interações (GxE) específicas, o que foi possível pela análise GGE biplot. Miranda et al. (2009) compararam os métodos AMMI e GGE biplot utilizando genótipo de milho-pipoca e observaram que a análise gráfica do método AMMI é simples e permite tirar conclusões sobre estabilidade, desempenho genotípico, divergência genética e sobre os ambientes que otimizam o desempenho das cultivares; a análise gráfica do método GGE biplot

acrescentou informações de estratificação ambiental ao AMMI e definiu mega-ambientes e por isso recomendam a utilização simultânea destes métodos, promovendo melhor interpretação da interação (GxE).

Silva, Pinto e Biase (2004) comentam que a determinação dos locais é uma tarefa difícil e que a escolha dos mesmos para se fazer estas avaliações deve ser realizada de modo a permitir o uso eficiente dos recursos e maximizar as diferenças entre as cultivares. Sem o conhecimento prévio da natureza da interação GxE, os melhoristas devem selecionar os locais de teste com base em seus conhecimentos a respeito do germoplasma, dos fatores edafoclimáticos e das condicionantes gerenciais. Uma vez que informações a respeito da interação GxE estejam disponíveis, essas podem ser utilizadas para adição ou eliminação de locais, por meio de metodologias de estratificação e de agrupamento de ambientes similares.

Segundo Maranha (2005), a estratificação ambiental é importante pelo fato de atenuar a interação GxE e também por promover o direcionamento da alocação de recursos, pois auxilia o melhorista na eliminação de locais muito semelhantes, que podem ser redundantes para o programa de melhoramento genético. Assim, a escolha de apenas um desses locais para avaliação de genótipos, aumentaria a eficiência do programa (PACHECO et al., 2009).

2.5 Análise de Trilha

Bernardo (2002) comenta que os estudos da interação (GxE) limitam-se a uma definição estatística do efeito de um ambiente, ou seja, aquele efeito a partir do desempenho de genótipos avaliados no mesmo. No entanto, pondera que uma análise de variáveis externas, que afetam o desempenho de um genótipo, poderia permitir uma melhor caracterização de ambientes e uma melhor compreensão da biologia em que se baseia a interação (GxE). Comenta

também que talvez a limitação na análise de variáveis externas não seja a disponibilidade de métodos adequados de análise, mas sim a disponibilidade de informações detalhadas sobre essas variáveis, como dados sobre precipitação, temperatura, tipos de solo, dosagens de fertilizantes, práticas culturais, populações de pragas de insetos etc.

Uma das alternativas para se proceder a análise sobre a influência de variáveis externas sobre genótipos seria a análise de trilha, baseada no estudo das correlações entre variáveis e na regressão linear múltipla. A análise de trilha é uma metodologia, utilizada no melhoramento genético de plantas, que fornece quantidades, chamadas coeficientes de trilha, que medem a influência direta de uma variável sobre a outra, independentemente das demais, no contexto das relações de causa e efeito, permitindo também desdobrar coeficientes de correlação simples em seus efeitos diretos e indiretos (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Esta análise consiste no estudo dos efeitos diretos e indiretos de variáveis explicativas sobre uma variável básica, cujas estimativas são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

O emprego desta análise é muito comum quando se estuda a influência de vários caracteres sobre a produtividade das culturas ou sobre outra característica de interesse. Este tipo de aplicação é interessante quando se trata de uma cultura perene, uma vez que a seleção poderá ser efetuada a partir de informações de caracteres que são avaliados ainda na planta jovem, sendo, portanto a análise de trilha, uma das metodologias utilizadas para se realizar seleção precoce.

Severino et al. (2002) realizaram análise de trilha com 23 linhagens de “Catimor” para averiguar os efeitos diretos e indiretos de características ligadas à morfologia e fisiologia da copa de cafeeiro arábica sobre a produtividade de café beneficiado, verificando que apesar da alta correlação entre produtividade

de café beneficiado e época de maturação, estas não apresentaram relação causa-efeito e que o maior efeito direto sobre a produtividade de café beneficiado foi do vigor vegetativo seguido da seca de ponteiros, sendo considerados bons critérios de avaliação do potencial produtivo de linhagens de café arábica “Catimor”. Petek et al. (2007) realizaram estudo de correlações e análise de trilha com o objetivo de identificar a existência de variabilidade genética e demonstrar a influência de outras variáveis para a reação à cercosporiose, buscando variáveis para seleção indireta. Verificaram que as variáveis vigor vegetativo e produção devem ser consideradas na seleção de materiais genéticos mais resistentes à cercosporiose e que a nutrição equilibrada pode levar à resistência induzida à doença. Relatam também que os genótipos dos germoplasmas Catuaí Sh3 e Icatu x Catuaí podem ser importantes fontes de resistência ou tolerância à cercosporiose.

No entanto, em outras áreas esta metodologia também é utilizada com eficiência como em ciência dos solos, meteorologia agrícola, fitopatologia e entomologia, dentre outras. Silva-Acuña et al. (1998) realizaram um estudo epidemiológico da ferrugem do cafeeiro utilizando a análise de trilha, averiguando a influência de variáveis climáticas (temperatura, umidade relativa, molhamento foliar diurno e noturno e precipitação) sobre a taxa de infecção da ferrugem do cafeeiro em Patrocínio, no estado de Minas Gerais, e verificaram que tais variáveis foram de importância fundamental no processo e a partir desse conhecimento desenvolveram um modelo de previsão da doença, auxiliando no estabelecimento de programas de controle. Fernandes et al. (2009) utilizaram a análise de trilha para verificar o efeito de variáveis climáticas, lâminas de irrigação e predação por vespas na densidade populacional do bicho mineiro do cafeeiro e observaram que o aumento da precipitação, da radiação solar e lâminas de irrigação reduzem a densidade populacional do bicho-mineiro, que por sua vez controla a densidade das vespas predadoras. Concluíram que a

combinação de lâminas adequadas de irrigação com a manutenção dos ninhos de vespas predadoras pode auxiliar no manejo dessa praga de forma a mantê-la abaixo no nível de dano econômico. Botero (2007) estudou por meio de análise de trilha o efeito da distância e do número de indivíduos arbóreos de duas espécies nativas da Mata Atlântica, *Schizolobium parahyba* (guapuruvu) e *Senna macranthera* (fedegoso) sobre a produção de cafeeiros e sobre as condições ambientais em um sistema agroflorestal, detectando que o número de indivíduos de fedegoso até 7 metros afetou negativamente a produção de cafeeiros, ao passo que a presença de guapuruvu entre 3 e 5 m beneficiou a produção dos cafeeiros, aumentando a umidade do solos por meio do sombreamento. Correia et al. (1996), aplicando a análise de trilha, desenvolveram um trabalho com eucalipto com o intuito de estabelecer os efeitos de características (físicas e químicas) de diferentes camadas do solo sobre a produtividade do eucalipto. A análise de trilha se mostrou eficiente e constatou que as características físicas do solo foram mais importantes na determinação da produtividade do que as químicas, observando-se que à medida que a textura passou a ser mais grosseira, nas maiores profundidades do perfil, menores foram as produtividades do eucalipto. Souza Júnior et al. (1999a, 1999b) realizaram estudos semelhantes aplicando a análise de trilha em cacaueteiro, avaliando o efeito de características físicas e químicas do solo sobre a produtividade, em anos de maior e menor quantidade de chuvas. Concluíram, quanto ao efeito das características químicas, que em anos mais secos, os talhões menos produtivos estavam sobre solos mais férteis, com menor capacidade tampão e com menor teor de matéria orgânica e que, independente da quantidade de chuva, dentre os talhões com solos argilosos os mais produtivos tinham maior capacidade tampão de fósforo. Quanto às características físicas, estas explicaram melhor a produtividade dos anos mais secos. Na cultura de cana-de-açúcar, por meio da aplicação da análise de trilha, estudou-se o efeito de atributos físicos do solo sobre a compactação do solo,

concluindo que o cultivo com cana-de-açúcar diminuiu o teor de matéria orgânica e a estabilidade de agregados, por meio do aumento da densidade do solo e do grau de compactação (PACHECO; CANTALICE, 2011).

Encontram-se na literatura alguns trabalhos que utilizaram informações climáticas para estabelecer a influência das mesmas sobre uma variável de interesse. Saeed e Francis (1984) determinaram os efeitos de variáveis meteorológicas sobre o rendimento de genótipos de sorgo, através de análise de regressão múltipla. Para esses autores, informações sobre a contribuição dos fatores físicos na interação (GxE) são úteis para entender a natureza dessas interações e estabelecer procedimentos de seleção de genótipos mais tolerantes às variações ambientais. Jobim et al. (2000) e Jobim, Westphalen e Federizzi (1999) realizaram trabalhos semelhantes com feijoeiro, avaliando a contribuição de variáveis ambientais para a interação (GxE). Dias (2004) realizou estudo, utilizando a análise de trilha, para verificar os efeitos de variáveis meteorológicas sobre a incidência de vassoura-de-bruxa no cacaueteiro, baseando-se no ciclo fenológico da cultura. Thomas et al. (2009), avaliando o desempenho vegetativo de cultivares de trigo, utilizaram a análise de trilha, para estabelecer as influências de variáveis climáticas e de adubações nitrogenadas. Souza Júnior (1997) avaliou a influência de fatores climáticos, edáficos, nutricionais e de manejo na produtividade do cacaueteiro, aplicando análises de regressão e de trilha, obtendo eficiência na utilização das mesmas, conseguindo quantificar as interferências destes fatores e prever a produtividade do cacaueteiro em função da pluviosidade e temperatura.

Esta série de estudos apresentados, com a aplicação da análise de trilha, procurando-se verificar os efeitos diretos e indiretos de variáveis explicativas sobre variáveis básicas, mostra a efetiva contribuição desta metodologia. A aplicabilidade deste tipo de análise torna-se interessante, principalmente em ciências agrárias, onde frequentemente os pesquisadores se deparam com

questões que podem ser explicadas por meio da relação causa-efeito, podendo ser feitas diretamente, uma vez que a padronização dos dados é inerente à metodologia.

2.6 Utilização de geotecnologias

Para melhor explicação e visualização dos efeitos das variáveis climáticas sobre as culturas, a utilização de geotecnologias pode ser muito útil. Os sistemas de informações geográficas - SIG podem ser considerados instrumentos para mapear e indicar respostas às várias questões sobre o planejamento urbano, regional, rural e levantamento dos recursos renováveis; têm caráter multidisciplinar e estão relacionados às várias áreas do conhecimento que manipulam dados referenciados espacialmente (EVANGELISTA; CARVALHO; SEDIYAMA, 2002). Dentre várias aplicações, torna-se possível a espacialização de elementos climáticos, contribuindo sobremaneira para o planejamento agrícola, possibilitando uma análise da abrangência geográfica de campos homogêneos (BORGES et al., 2009).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram considerados para a realização deste trabalho dados obtidos de experimentos instalados pela EPAMIG, sendo avaliadas 17 progênies de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) do Grupo Mundo Novo, desenvolvidas pelo IAC. Estes genótipos foram escolhidos devido ao fato de já terem sido amplamente estudados. Os experimentos foram implantados nos seguintes locais (Figura 2): na Fazenda Ouro Verde, situada em Campos Altos (ambiente 1), na Fazenda Resplendor, em Capelinha (ambiente 2) e nas Fazendas Experimentais da EPAMIG em Três Pontas (ambiente 3), São Sebastião do Paraíso (ambiente 4), Machado (ambiente 5). De acordo com a delimitação das regiões produtoras de café do estado de Minas Gerais, os municípios de Três Pontas, Machado e São Sebastião do Paraíso fazem parte da região Sul de Minas, o município de Campos Altos faz parte da região do Café do Cerrado e o município de Capelinha faz parte da região da Chapada de Minas.

A instalação e condução dos experimentos foram feitas de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do cafeeiro e as adubações de acordo com as exigências da cultura. Os tratos fitossanitários foram realizados a partir da sazonalidade da ocorrência de pragas e doenças. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com quatro repetições nos ambientes 1, 2, 3 e 4 e três repetições no ambiente 5.

A característica avaliada foi produção de grãos, em quilogramas de café cereja (“café da roça”) por parcela, sendo a colheita realizada entre os meses de maio e julho de cada ano considerado. Procedeu-se a conversão para a produtividade em sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare (sacas/ha), utilizando-se a fórmula: $(\text{Produtividade} = [(\text{kg/planta} \times 0,2) \times \text{n}^\circ \text{plantas/ha}] / 60 \text{ kg})$, considerando-se portanto um rendimento de 20%, entre o café beneficiado e o café da roça. A relação das progênies encontra-se na Tabela 1; e as

características edafoclimáticas, bem como os detalhes experimentais dos locais estudados encontram-se na Tabela 2.

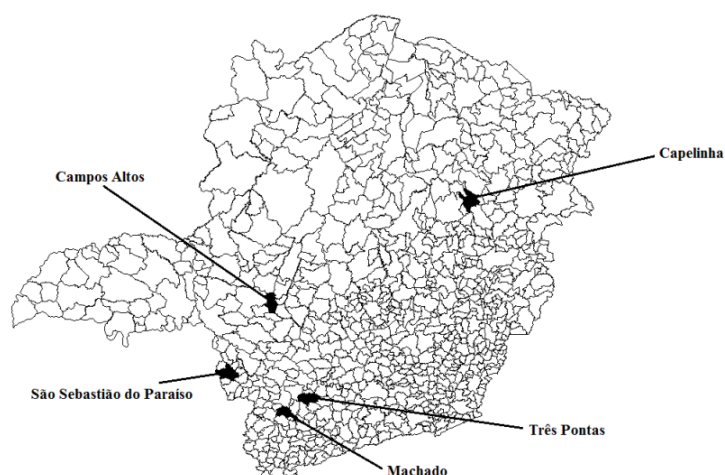


Figura 2 Localização dos municípios estudados. Fonte: Brasil (2011b)

Tabela 1 Progênies de cafeeiro do Grupo Mundo Novo estudadas em cinco diferentes locais do estado de Minas Gerais. UFLA, Lavras, MG, 2011

Número de ordem	Progênies
1	IAC 376-4-26 C 807
2	IAC 388-6-16-2 C 499 EP 108
3	IAC 464-1 C 12
4	IAC 500-15 C 725
5	IAC 500-11 Planta 1-I
6	IAC 388-6-14
7	IAC 388-6-16 C 498
8	IAC 379-19-2 SSP
9	IAC 464-2
10	IAC 502-9 Planta 13 - IV
11	IAC 379-19 Planta 19 - I
12	IAC 388-6-13 C 1138
13	IAC 502-11
14	IAC 376-4-36
15	IAC 471-11 Planta 3 - II
16	IAC 501-5-801
17	IAC 475-20

Tabela 2 Características edafoclimáticas e detalhes experimentais dos cinco locais onde foram instalados os experimentos. UFLA, Lavras, MG, 2011

	Locais				
	Campos Altos	Capelinha	Três Pontas	São Sebastião do Paraíso	Machado
Tipo de solo	Latossolo Vermelho-Amarelo	Latossolo Vermelho-Amarelo húmico	Latossolo Vermelho-Escuro	Latossolo Roxo	Argissolo Vermelho distrófico
Textura	Argilosa	Argilosa	Argilosa	Argilosa	Argilosa
Altitude	1230 m	932 m	935 m	890 m	980 m
Relevo	Plano	Ondulado	Ondulado	Suave ondulado	Forte ondulado
Latitude (S)	-19,68°	-17,70°	-21,33°	-20,92°	-21,67°
Longitude (W)	-46,17°	-42,39°	-45,48°	-47,12°	-45,93°
Pluviosidade média anual*	1464,10 mm	1057,06 mm	1564,45 mm	1590,15 mm	1614,21 mm
Temperatura média anual*	18,89 °C	20,84 °C	18,64 °C	19,20 °C	18,57 °C
Índice de umidade (Iu)*	49,70%	6,69%	59,80%	61,95%	58,65%
Plantas/parcela	6	6	6	6	9
Espaçamento (m)	3,5 x 0,8	3,5 x 0,8	3,5 x 0,8	3,5 x 0,8	3,0 x 1,0
Ano de plantio	2000	2000	2000	2001	1990

*Médias calculadas a partir das Normais Climatológicas 1961-1990 (BRASIL, 1992)

3.1 Análises de Variância

Os dados foram agrupados em biênios, sendo considerados para este estudo dois biênios. Realizaram-se as análises de variância individuais para cada local, bem como o teste de homogeneidade de variâncias baseado em Pimentel-Gomes (2009), de acordo com o modelo:

$$Y_{ijl} : \mu + p_i + r_j + pr_{ij} + c_l + cr_{lj} + pc_{il} + e_{ijl}$$

onde:

Y_{ijl} : valor médio observado na parcela que recebeu a progênie i, do bloco j, do biênio l;

μ : média geral;

p_i : efeito da progênie i, sendo $i= 1,2,\dots, I$;

r_j : efeito da repetição j, sendo $j= 1,2,\dots, J$;

pr_{ij} : efeito da interação da progênie i com a repetição j;

c_l : efeito do biênio l, sendo $l= 1,2,\dots, L$;

cr_{lj} : efeito da interação do biênio l com a repetição j;

pc_{il} : efeito da interação da progênie i com o biênio l;

e_{ijl} : erro experimental.

A análise conjunta foi realizada considerando-se o modelo hierárquico, uma vez que os biênios de produção não ocorreram nos mesmos anos agrícolas para todos os locais, de acordo com o modelo:

$$Y_{ijkl} : \mu + a_k + p_i + pa_{ik} + r_{j(k)} + pr_{ij(k)} + c_{l(k)} + cr_{lj(k)} + pc_{il(k)} + e_{ijkl}$$

onde:

Y_{ijkl} : valor médio observado na parcela que recebeu a progênie i, do bloco j, do local k, do biênio l;

μ : média geral;

a_k : efeito do local k, sendo $k= 1,2,\dots, K$;

p_i : efeito da progênie i, sendo $i= 1,2,\dots, I$;

pa_{ik} :efeito da interação da progênie i com o local k;

$r_{j(k)}$: efeito da repetição j, dentro do local k, sendo $j= 1,2,\dots, J$;

$\mu_{ij(k)}$: efeito da interação da progênie i com a repetição j , dentro do local k ;

$c_{l(k)}$: efeito do biênio l , dentro do local k , sendo $l = 1, 2, \dots, L$;

$cr_{lj(k)}$: efeito da interação do biênio l com a repetição j , dentro do local k ;

$pc_{il(k)}$: efeito da interação da progênie i com o biênio l , dentro do local k ;

e_{ijkl} : erro experimental.

3.2 Análise de Estratificação Ambiental

A análise de estratificação ambiental foi realizada a partir das médias ajustadas da produtividade em sacas/ ha (média dos dois biênios) para cada progênie nos cinco locais. Utilizou-se a metodologia de Murakami e Cruz (2004) que contempla, simultaneamente, as análises de adaptabilidade e de estratificação de ambientes. Todos os procedimentos para o processamento dos dados foram feitos a partir das recomendações de Cruz (2006a).

Trata-se de uma metodologia multivariada pela qual a análise de adaptabilidade genotípica é realizada graficamente através dos escores dos genótipos em relação aos fatores, separando-os em quadrantes de adaptabilidade. Para isso, são traçados eixos paralelos, tomando-se a média dos escores, de modo a estabelecer quatro quadrantes. Nos quadrantes II e IV ficam situados aqueles genótipos com adaptabilidade específica à região determinada pelo fator; no quadrante I aqueles genótipos de adaptabilidade ampla e, no quadrante III, os genótipos de baixo desempenho. Na análise de estratificação ambiental, a extração das cargas fatoriais é feita pelo método dos componentes principais e os fatores são estabelecidos pelo método de rotação varimax, com máximo de 50 rotações (CRUZ, 2006a).

Postula-se que a análise de fatores seja capaz de estabelecer subgrupos de ambientes de modo a haver altas correlações na característica de interesse

dentro de subgrupos e baixa, ou nenhuma, entre subgrupos (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

3.3 Análise de Trilha

Posteriormente foram obtidas as correlações entre a produtividade em sacas/ ha (média dos dois biênios) para cada progênie com as variáveis climáticas de cada local, através da correlação de Pearson. As variáveis climáticas utilizadas para caracterizar o ambiente dos municípios estudados (variáveis explicativas) foram as Normais Climatológicas do período 1961/1990, de temperatura média anual (em °C), pluviosidade média anual (em milímetros) e índice de umidade médio anual (em porcentagem) obtidas do ZEE-MG (CARVALHO et al., 2008c) e também as altitudes (em metros) de cada local. As Normais Climatológicas (BRASIL, 1992) se referem aos dados médios de 30 anos. Para maior padronização das informações, a Organização Meteorológica Mundial - OMM estabeleceu que as primeiras normais climatológicas se referissem aos dados médios de 1901 a 1930, a segunda de 1931 a 1960, a terceira e mais atual, de 1961 a 1990, e assim por diante (CARVALHO et al., 2008a). Baseado em Cruz e Carneiro (2006), antes de submeter estes dados à análise de trilha, a partir das estimativas das correlações, realizou-se o diagnóstico de multicolinearidade, de forma a determinar a existência de redundância entre as variáveis utilizadas. Estabeleceu-se o grau de multicolinearidade da matriz singular $X'X$ através do número de condição (NC), que é a relação entre o maior e o menor autovalor da matriz. Segundo Montgomery e Peck (1981), se $NC < 100$, a multicolinearidade é denominada fraca e não constitui problema para a análise; se $100 < NC < 1000$, a multicolinearidade é considerada de moderada a forte; e se $NC > 1000$, é considerada severa. Desta forma realizou-se a análise de trilha para se averiguar

as contribuições diretas e indiretas das variáveis climáticas na produtividade do cafeeiro nos locais estudados. Para melhor interpretação da análise de trilha foi construído um diagrama causal ilustrativo mostrando as relações entre a variável dependente e as variáveis explicativas e suas inter-relações, bem como o efeito da variável residual.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o PROC GLM do SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 1999) e o programa GENES (CRUZ, 2006a, 2006b).

3.4 Elaboração dos mapas temáticos

A partir das coordenadas geográficas (latitude e longitude) dos locais estudados (Campos Altos, Capelinha, Três Pontas, São Sebastião do Paraíso e Machado) foram feitas plotagens em mapas temáticos elaborados por Barbosa (2009). Esses mapas foram baseados numa classificação das Normais Climatológicas do período 1961/1990, de temperatura média anual (em °C), pluviosidade média anual (em milímetros) e índice de umidade médio anual (em porcentagem) obtidas do ZEE-MG (CARVALHO et al., 2008a), onde foram utilizados critérios de exigências climáticas do cafeeiro na elaboração dos mesmos.

O Índice de umidade (Iu) é uma variável, a partir da qual se estabelece a classificação quanto ao tipo de clima de cada local, por uma classificação climática denominada Thornthwaite. O Iu é calculado pela fórmula ($Iu = Ih - Ia$), onde Ih é o índice hídrico e Ia é o índice de aridez, que são calculados em função do excesso hídrico e da deficiência hídrica, respectivamente, e da evapotranspiração potencial, sendo que maiores detalhes sobre esta classificação podem ser vistos em Carvalho et al. (2008a).

Os mapas foram obtidos a partir do software Arc Gis 9.1, que permite gerar zonas homogêneas para as camadas de informações. Estes mapas foram elaborados no Laboratório de Geoprocessamento (GeoSolos), localizado no Centro Tecnológico do Sul de Minas da EPAMIG, em Lavras, Minas Gerais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de variância para cada local e a análise conjunta, realizada após detecção da homogeneidade de variâncias dos cinco locais estudados, foram realizadas a partir dos dados de produtividade em sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare (sacas/ha), mediante o agrupamento em biênios, sendo utilizados os dados das quatro primeiras colheitas (dois biênios). Observa-se, por meio da Tabela 3, que apesar do efeito de progênies não ter sido significativo pelo teste de F, em Campos Altos, de acordo com as médias ajustadas e com o teste de Tukey-Kramer realizado, neste local obteve-se a maior média das progênies. Os coeficientes de variação (CV) são de média magnitude, compatíveis com análises similares em cafeeiros.

Tabela 3 Quadrados médios de progênies obtidos nas análises de variância de cada local estudado, seguidos das médias ajustadas para produtividade de café beneficiado em sacas/ha/biênio de 17 progênies de cafeeiro do Grupo Mundo Novo. UFLA, Lavras, MG, 2011

Locais	QM Progênies	CV (%)	Médias ¹
Campos Altos	291,817 NS	19,07	71,43 a
Capelinha	432,508**	24,67	43,63 c
Três Pontas	484,036**	21,68	49,18 b
São Sebastião do Paraíso	307,192**	33,23	29,83 d
Machado	302,787**	11,31	52,50 b

NS: Não significativo; ** Significativo no nível de 1% pelo teste F. ¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si no nível de 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey-Kramer

De acordo com a análise de variância conjunta (Tabela 4), constatou-se que o efeito da interação Progênies X Biênios / (Local) foi significativo pelo teste F. Desse modo, pode-se afirmar que houve diferenças entre os locais, entre

as progênies avaliadas e que as progênies não apresentaram o mesmo padrão de comportamento nos locais avaliados. Este resultado justificou, portanto a utilização de metodologias adequadas para o estudo da interação (GxE). O CV também foi condizente com outras análises desta natureza.

Tabela 4 Resumo da análise de variância conjunta para produtividade média de café beneficiado em sacas/ha/biênio, nos locais Campos Altos, Capelinha, Três Pontas, São Sebastião do Paraíso e Machado. UFLA, Lavras, MG, 2011

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Pr > F
Locais	4	30883,7528	< 0,0001
Progênies	16	430,3716	< 0,0001
Progênies X Locais	64	346,1695	0,0880
Blocos / (Local)	14	207,5928	0,0390
Progênies X Blocos / (Local)	224	267,3604	< 0,0001
Biênios / (Local)	5	27642,2348	< 0,0001
Biênios X Blocos / (Local)	14	199,2838	0,0506
Progênies X Biênios / (Local)	80	238,7212	< 0,0001
Erro	224	115,0069	
Total	645		
Coeficiente de Variação (CV) =		21,82%	
Média = 49,15 sacas / ha / biênio			

Foram obtidas, a partir da análise de variância conjunta, as médias ajustadas da produtividade de cada progênie para cada local em sacas/ha/biênio de café beneficiado (Tabela 5), que foram posteriormente utilizadas na análise de Estratificação Ambiental e de Adaptabilidade. É válido lembrar que neste estudo não foi dada ênfase ao comportamento das progênies em si, por se tratar de materiais já conhecidos e experimentados e esta foi a razão pela qual foram escolhidos.

Tabela 5 Médias ajustadas da produtividade em sacas/ha/biênio de café beneficiado de 17 progênes de cafeeiro do Grupo Mundo Novo, avaliadas em cinco locais no estado de Minas Gerais. UFLA, Lavras, MG, 2011

Progênes	Locais					Média
	CA	CAP	TP	SSP	MAC	
1	75,99 a	38,24 b	41,65 b	27,85 b	46,52 b	46,05 a
2	74,68 a	37,06 b	48,02 b	21,65 b	42,57 b	44,80 a
3	70,59 a	41,17 b	53,76 a	22,49 b	41,82 b	45,97 a
4	73,90 a	55,13 a	40,81 b	33,70 a	60,80 a	52,87 a
5	67,54 a	38,01 b	37,90 b	35,63 a	47,50 b	45,31 a
6	67,69 a	39,31 b	51,49 a	26,75 b	54,30 a	47,91 a
7	72,20 a	52,49 a	46,98 b	26,75 b	44,15 b	48,51 a
8	75,93 a	43,80 b	54,43 a	29,84 b	51,77 b	51,15 a
9	65,60 a	38,61 b	43,24 b	44,24 a	46,07 b	47,55 a
10	87,82 a	58,54 a	51,93 a	38,85 a	48,47 b	57,12 a
11	78,00 a	49,14 a	50,88 a	28,45 b	59,63 a	53,22 a
12	66,31 a	47,21 a	58,01 a	20,85 b	57,27 a	49,93 a
13	71,77 a	50,99 a	38,38 b	29,35 b	60,10 a	50,11 a
14	68,28 a	38,45 b	49,03 b	34,69 a	54,48 a	48,99 a
15	67,98 a	43,80 b	57,26 a	24,85 b	53,97 a	49,57 a
16	68,15 a	34,85 b	67,35 a	30,06 b	65,63 a	53,21 a
17	61,90 a	34,85 b	44,93 b	31,23 b	57,38 a	46,06 a

CA: Campos Altos; CAP: Capelinha; TP: Três Pontas; SSP: São Sebastião do Paraíso; MAC: Machado; Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si no nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

De posse das médias ajustadas, foi realizada a análise de Estratificação Ambiental, na tentativa de obter subgrupos de ambientes homogêneos. Este é o princípio básico deste tipo de análise, permitindo-se inferir sobre uma provável

redundância de locais, nos quais os experimentos não precisariam ser repetidos e também quanto a padrões de similaridade de respostas dos genótipos para fins de recomendação (CRUZ; REGAZZI, 2001).

A análise foi inicialmente processada com o número de fatores finais igual ao número de ambientes, estabelecendo-se como critério para se determinar o número apropriado de fatores finais o número de autovalores maiores que a unidade, que para este estudo foi de três fatores, que explicaram 83,08% da variação total (Tabela 6).

Tabela 6 Autovalores da matriz de correlação entre os desempenhos de 17 progênies de cafeeiro em cada par de ambientes. UFLA, Lavras, MG, 2011

Autovalor (λ)	Valor Percentual	Porcentagem acumulada
1,7339	34,68	34,68
1,3533	27,06	61,74
1,0666	21,34	83,08
0,5962	11,92	95,00
0,2499	5,00	100

Para que sejam feitas inferências adequadas a partir das informações geradas pela análise de fatores, os valores das comunalidades devem ser observados. A comunalidade representa a proporção da variável padronizada devida aos fatores comuns, ou seja, é a medida da eficiência da representação da variável X_j por uma parte comum (CRUZ; CARNEIRO, 2006), esclarecendo-se que o “X” representa uma única característica (produtividade), avaliada em cada um dos “j” ambientes (5 locais). São considerados razoáveis valores de comunalidades superiores a 0,64. Neste estudo, o menor valor de comunalidade

foi de 0,7451, concluindo-se que a descrição do desempenho das progênies pela produtividade média em sacas/ha/biênio nos cinco locais, é adequada.

Com isto, os resultados obtidos na análise de estratificação puderam ser apreciados, e se encontram na Tabela 7. Na estratificação dos ambientes pela análise de fatores, deve-se interpretar o significado de cada fator. O agrupamento dos ambientes é realizado a partir das informações sobre a magnitude das cargas fatoriais finais. Cargas fatoriais maiores ou iguais a 0,70, em valor absoluto, indicam ambientes com altas correlações e são agrupados dentro de cada fator; cargas fatoriais menores que 0,50 indicam que o respectivo ambiente não deve pertencer ao grupo; e cargas fatoriais intermediárias não garantem nenhuma definição de agrupamento. Houve, para este estudo, a formação de três grupos de ambientes (R1, R2 e R3): o primeiro formado pelos locais Campos Altos e Capelinha (R1); o segundo formado pelos locais Três Pontas e São Sebastião do Paraíso (R2); e o terceiro pelo local Machado (R3). Esse resultado evidencia que é possível reduzir o número de locais para experimentação com progênies de cafeeiro a partir dessa regionalização. Este aspecto se torna importante, quando na elaboração de projetos para o desenvolvimento de novas progênies, uma vez que o recurso disponível para implantação e avaliação destes experimentos multiplicados em cinco locais poderá ser remanejado para a avaliação de maior número de progênies. Considerando-se que a fase de avaliação de progênies é a mais cara e indispensável nas etapas finais dos programas de melhoramento genético (RAMALHO; SILVA; DIAS, 2009), para o cafeeiro deve-se adicionar o fato de tratar-se de uma espécie perene, com características como a bienalidade de produção, que exigem que estes experimentos sejam avaliados por maior número de anos.

Tabela 7 Estratificação ambiental por meio da análise de fatores, com 17 progênies de cafeeiro do Grupo Mundo Novo, avaliadas em cinco locais no estado de Minas Gerais. UFLA, Lavras, MG, 2011

Cargas fatoriais após rotação				
Locais	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidades
Campos Altos	0,9045	0,0132	-0,1842	0,8523
Capelinha	0,9017	-0,1021	0,1375	0,8424
Três Pontas	-0,0184	0,7783	0,3728	0,7451
S. S. do Paraíso	0,0661	-0,8635	0,1785	0,7820
Machado	-0,0291	0,0419	0,9640	0,9320

A análise de adaptabilidade foi feita por meio da dispersão dos escores fatoriais das progênies em gráficos, em que os eixos são representados pelos fatores comuns e cada fator passa a representar um estrato. De acordo com as Figuras 3,4 e 5, observa-se, para todas as combinações de estratos, a tendência de concentração das progênies nos quadrantes I, II e IV, que revelam progênies de adaptabilidade ampla (quadrante I) e de adaptabilidade específica (quadrantes II e IV) aos locais estudados, uma vez que já sofreram seleção anteriormente.

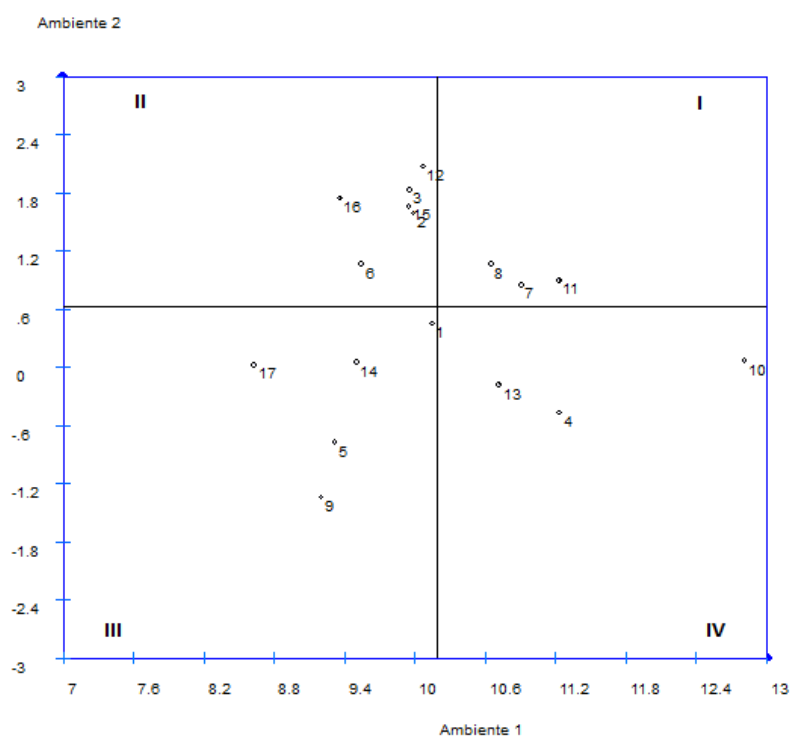


Figura 3 Dispersão das progênies de café em relação aos eixos dos estratos ambientais R1 (Campos Altos e Capelinha) e R2 (Três Pontas e São Sebastião do Paraíso)

Pelo fato destas progênies serem conhecidas e serem também produtos de seleções prévias, houve pouca concentração de progênies no quadrante III, as quais são passíveis de serem descartadas ou não recomendadas para cultivo. Das progênies que se localizaram no Quadrante III nos três gráficos, percebe-se que as progênies 1, 5 e 9 estiveram sempre presentes, revelando-se como progênies de baixo desempenho; ao passo que no Quadrante I, a progênie 11 esteve presente nos três gráficos, comprovando a adaptação de uma das seleções mais conhecidas do Grupo Mundo Novo, que é a IAC 379/19 Planta 19 – I. Percebe-se, de acordo com a Tabela 5, que a dispersão das progênies nos quadrantes de

adaptabilidade foi coerente com as médias de produtividade das progênies em cada local avaliado. A progênie 10, de acordo com as Figuras 1 e 2, localizou-se no quadrante IV, ou seja, é uma progênie adaptada ao estrato R1; ao passo que de acordo com a Figura 3, esta progênie localizou-se no quadrante III, sendo portanto não adaptada aos estratos R2 e R3. Esses resultados são corroborados por estudos realizados com progênies do Grupo Mundo Novo por Carvalho et al. (2006b) e Monte-Raso (2009).

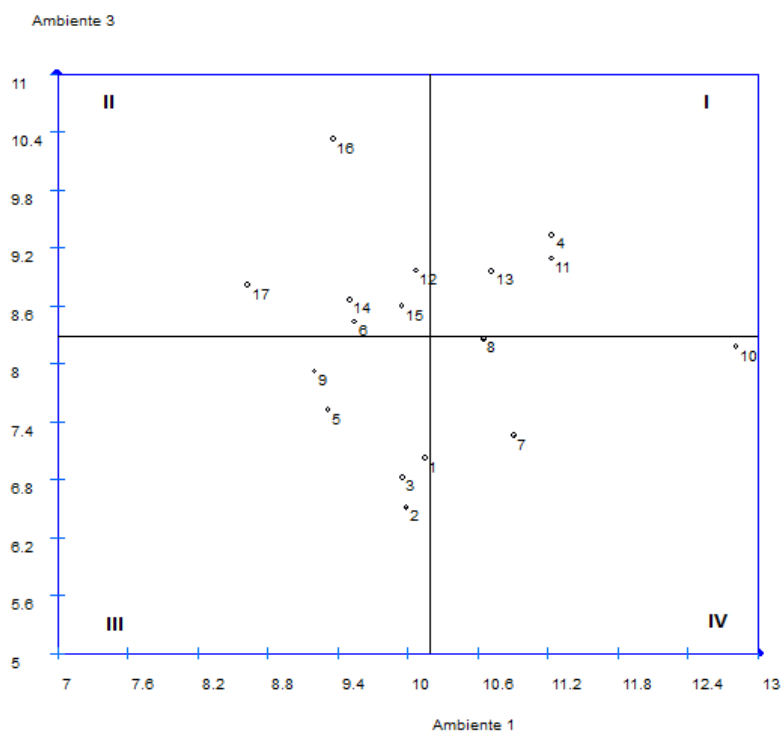


Figura 4 Dispersão das progênies de café em relação aos eixos dos estratos ambientais R1 (Campos Altos e Capelinha) e R3 (Machado)

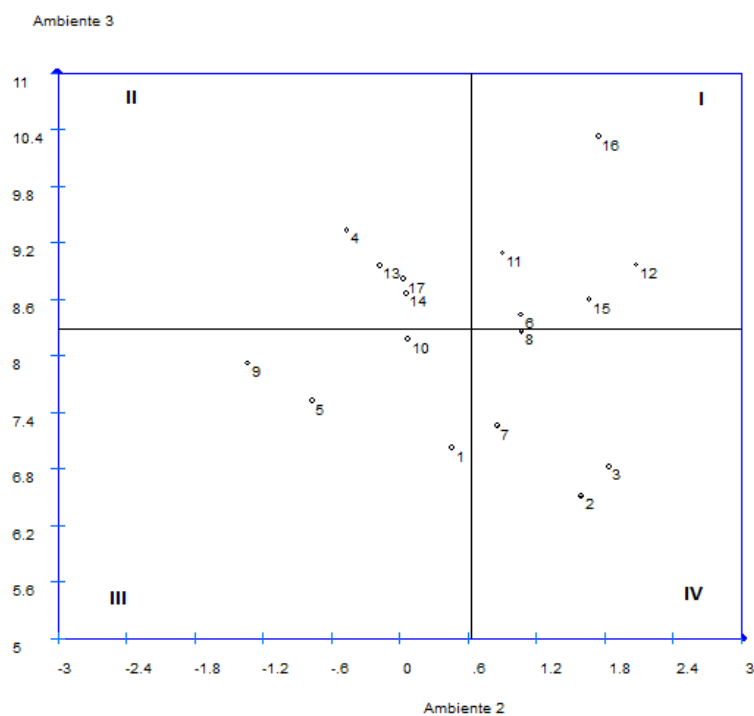


Figura 5 Dispersão das progênies de cafeeiro em relação aos eixos dos estratos ambientais R2 (Três Pontas e São Sebastião do Paraíso) e R3 (Machado)

Bertoldo et al. (2009) realizaram estudo parecido no estado de Santa Catarina, formando quatro micro-ambientes para experimentação e recomendação de cultivares de feijão a partir de nove locais avaliados. Os autores ressaltam que este resultado é o primeiro passo para uma melhor exploração das condições ambientais do estado de Santa Catarina e da disponibilidade de genótipos adaptados a essas condições, e que mais estudos são necessários no futuro para sua validação.

Diante da formação dos três estratos e, para dar continuidade a este estudo, outro aspecto importante para subsidiar a seleção de novas progênies,

seria a caracterização climática dos locais. Como discutido no referencial teórico, as variáveis climáticas exercem influência em todo o ciclo fenológico do cafeeiro, e conseguir manejá-las, através do conhecimento de sua interferência no desenvolvimento de progênies, pode ser estratégico para o melhoramento da cultura, não somente quanto ao aspecto produtivo, mas também quanto à tolerância a estresses abióticos e quanto ao potencial para a produção de cafés especiais. Neste sentido, foi utilizada a análise de trilha para avaliar o relacionamento e os efeitos diretos e indiretos das variáveis climáticas (temperatura, pluviosidade, índice de umidade) e altitude, ditas variáveis explicativas, sobre a produtividade das progênies de cafeeiro, considerada a variável resposta, nos cinco locais estudados.

Para se proceder a análise de trilha, faz-se necessário sempre realizar o diagnóstico de multicolinearidade dos dados antes do seu processamento (CRUZ; CARNEIRO, 2006). Quando duas variáveis são altamente correlacionadas, ambas convergem para a mesma informação, e são, portanto colineares e os resultados mostram multicolinearidade, cujas estimativas são pouco confiáveis, podendo assumir valores sem nenhuma coerência com o fenômeno biológico estudado (DIAS, 2004). Segundo Carvalho (1995), a multicolinearidade pode afetar, na análise de trilha, as variâncias dos estimadores dos coeficientes de trilha e também o coeficiente de determinação (R^2). Sendo assim, foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade envolvendo apenas as variáveis explicativas, a partir do qual se concluiu sobre a existência de multicolinearidade entre as variáveis estudadas, devido ao número de condição (NC) ter sido de 580,75, sendo a multicolinearidade considerada moderada a forte, segundo Montgomery e Peck (1981). Houve indicações de que as variáveis pluviosidade e Índice de umidade (Iu) foram as causadoras da multicolinearidade, optando-se por eliminar a variável Índice de Umidade (Iu) da análise de trilha. Após a retirada desta variável, o NC passou a ser de 74,18,

considerado adequado para a análise. As estimativas das correlações entre as variáveis estudadas, necessárias para a realização do diagnóstico de multicolinearidade e para o cálculo dos coeficientes de trilha são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 Coeficientes de correlação entre as variáveis climáticas e a produtividade média em sacas/ha/biênio de progênies do Grupo Mundo Novo, nos cinco locais estudados. UFPA, Lavras, MG, 2011

Variáveis	PROD	ALT	TEMP	PLUV	IU
PROD	1,0000	0,8242	-0,2875	0,0208	0,0212
ALT		1,0000	-0,2614	0,0325	0,0526
TEMP			1,0000	-0,9456	-0,9396
PLUV				1,0000	0,9937
IU					1,0000

PROD: produtividade média; ALT: altitude; TEMP: temperatura média; PLUV: pluviosidade média; IU: índice de umidade.

Vencovsky e Barriga (1992) alegam que para a interpretação de uma análise de trilha alguns pontos essenciais devem ser levados em consideração. Se o coeficiente de correlação entre uma variável explicativa e a variável resposta for igual ou semelhante ao seu efeito direto, em magnitude e sinal, esta correlação explica a verdadeira associação existente. Se o coeficiente de correlação for positivo, mas o efeito direto negativo ou desprezível, a dita correlação será causada pelos efeitos indiretos. Quando o coeficiente de correlação, por sua vez, for desprezível, mas o efeito direto se apresentar positivo e alto, os efeitos indiretos é que são os responsáveis pela falta de correlação. Pode ainda ocorrer que a correlação entre uma variável explicativa e a variável resposta seja pronunciadamente negativa, mas que o efeito direto seja positivo e alto. Neste caso, podem-se manejar os efeitos indiretos para aproveitar o efeito direto, caso seja interessante.

Para melhor interpretação da análise de trilha, foi construído o diagrama causal (Figura 6), mostrando as relações entre a variável resposta (produtividade de progênies de cafeeiro) e as variáveis explicativas (altitude, temperatura e pluviosidade) e suas interrelações.

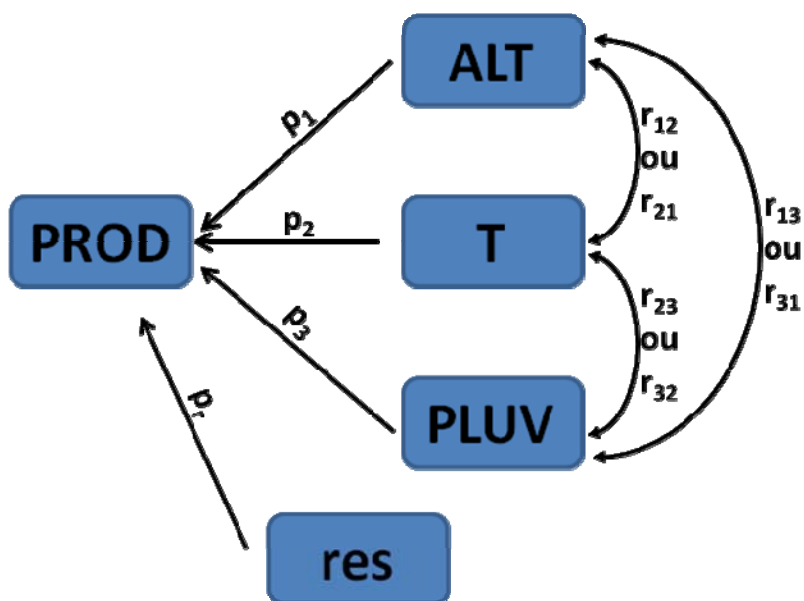


Figura 6 Diagrama Causal ilustrativo dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas ALT (altitude), T (temperatura), PLUV (pluviosidade) e res (variável residual) sobre a variável resposta PROD (produtividade)

No diagrama, as setas unidirecionais indicam os efeitos diretos de cada variável explicativa sobre a produtividade, enquanto as bidirecionais representam a interdependência entre as variáveis explicativas. O diagrama representa ainda a interdependência das variáveis explicativas, permitindo também verificar se cada uma das variáveis apresenta efeitos diretos ou indiretos

sobre a produtividade. Os efeitos das variáveis não incluídas no diagrama (variável residual) são representados por p_r .

De acordo com os resultados da análise de trilha (Tabela 9), a altitude se mostrou como a variável que mais influenciou a produtividade das progênes estudadas. A correlação entre estas variáveis se mostrou de magnitude alta e positiva (0,8242), sendo observado efeito direto alto da altitude sobre a produtividade (0,4831). Grande parte do efeito indireto da altitude sobre a produtividade foi devido à temperatura (0,3863), apesar da correlação da temperatura com a produtividade não ter se mostrado muito pronunciado, sendo mediana e negativa (-0,2875). No entanto, o efeito indireto da temperatura foi negativo e alto (-1,4780), sendo que o efeito indireto da pluviosidade, alto e positivo (1,3168), foi o fator que mais influenciou indiretamente o efeito da temperatura sobre a produtividade. Mesmo com baixa correlação da pluviosidade com a produtividade, pode-se observar que a magnitude de seu efeito direto é alta e negativa (-1,3925), sendo que o efeito indireto da temperatura foi muito expressivo no sentido de abaixar a correlação entre pluviosidade e produtividade (1,3976).

De acordo com os resultados da análise de trilha, percebeu-se que a maior média de produtividade (71,43 sacas/ha/biênio) ocorreu em Campos Altos, que apresenta a maior altitude (1230 m) dos locais estudados. A pronunciada interferência da altitude na produtividade do cafeeiro, de acordo com a análise de trilha, pode ser explicada por relatos existentes na literatura. Segundo Camargo e Camargo (2001), as fases fenológicas do cafeeiro são bem definidas, porém, elas podem adiantar ou atrasar, dependendo do clima e da região, além da altitude.

Tabela 9 Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis climáticas sobre a produtividade média em sacas/ha/biênio de progênies do Grupo Mundo Novo, nos cinco locais estudados. UFLA, Lavras, MG, 2011

Variáveis	ct	Estimativa
ALT		
	p ₁	Efeito direto sobre PROD 0,4831
	r ₁₂	Efeito indireto via TEMP 0,3863
	r ₁₃	Efeito indireto via PLUV -0,0452
	TOTAL 0,8242	
TEMP		
	p ₂	Efeito direto sobre PROD -1,4780
	r ₂₁	Efeito indireto via ALT -0,1263
	r ₂₃	Efeito indireto via PLUV 1,3168
	TOTAL -0,2875	
PLUV		
	p ₃	Efeito direto sobre PROD -1,3925
	r ₃₁	Efeito indireto via ALT 0,0157
	r ₃₂	Efeito indireto via TEMP 1,3976
	TOTAL 0,0208	
Coefficiente de determinação (R ²)		0,7941
Efeito da variável residual (p _r)		0,4537

ct: coeficientes de trilha; PROD: produtividade média (dois biênios); ALT: altitude; TEMP: temperatura média; PLUV: pluviosidade.

Carvalho et al. (2011) comentam que a altitude constitui importante fator para a diferenciação de regiões cafeeiras, pois influencia diretamente a temperatura e a distribuição de chuvas e que em regiões de clima mais quente e/ou úmido no período da colheita, o ciclo de maturação é mais curto, e que os frutos passam rapidamente do estágio de cereja para passa, ocasionando problemas na qualidade de bebida obtida ao final. Solares (2000), estudando a influência da altitude sobre três variedades de cafeeiro arábica (Bourbon, Caturra e Catuaí), cultivadas em três níveis de altitude, observou influência da mesma sobre a qualidade de bebida final.

A influência da altitude sobre a produtividade talvez possa ser explicada pelo fato de que em maiores altitudes ocorrem menores temperaturas e em consequência o aumento do ciclo do cafeeiro. Isto foi observado por Laviola et al. (2007) que estudaram o acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo e constataram que temperaturas altas associadas a menores altitudes encurtam o ciclo de maturação e conseqüentemente o peso dos frutos, pelo menor acúmulo de matéria seca, Estes autores concluíram que o aumento da altitude influenciou o ciclo reprodutivo do cafeeiro, pois houve demanda de maior tempo para formação dos frutos. Detectaram ainda que no estágio de expansão dos frutos (Figura 1), a porcentagem de acúmulo de matéria seca e de nutrientes foi maior em menores altitudes, além de observarem que a taxa máxima de acúmulo diário de matéria seca e nutrientes nos estádios de granação e maturação foi mais tardia com a elevação da altitude e que o efeito da altitude no acúmulo de matéria seca e de nutrientes esteve relacionado, sobretudo, à ocorrência de menores temperaturas máximas nas maiores altitudes. Além disso, verificaram que o consumo de nutrientes pelos frutos, assim como o enchimento de grãos, foi mais crítico em condições de menor altitude, uma vez que estes processos tinham que se completar em menor espaço de tempo. Como aplicação, ressaltaram que é possível que o pico de exigência nutricional em cafeeiros plantados em regiões de altitude mais elevada seja mais tardio que em regiões de baixas altitudes. Dessa forma, as épocas e os intervalos entre as práticas de adubação devem ser diferenciados, levando-se em conta o período de maior exigência da planta de cafeeiro em cada região.

Diante disso, a análise de trilha utilizada neste estudo foi eficiente e esclarecedora no sentido de determinar, em termos de valores (coeficientes de trilha), a influência das variáveis explicativas sobre a produtividade das progênies de cafeeiro estudadas, com efeito pronunciado da altitude.

Para melhor entendimento dos efeitos das variáveis climáticas sobre a produtividade do cafeeiro, as geotecnologias podem oferecer subsídios interessantes, permitindo a visualização, através da espacialização de variáveis em regiões homogêneas. Vieira et al. (2007), utilizando geotecnologias para avaliar mudanças, no tempo e no espaço, de áreas ocupadas pela cafeicultura em Minas Gerais, ressaltaram que o planejamento agrícola requer metodologias eficientes para mapeamento e monitoramento do uso das terras, que possibilitem, mais facilmente, a atualização periódica da informação, comentando ainda que, embora a utilização de geotecnologias para o mapeamento de café em escala regional ainda tenha muitos desafios teóricos e práticos para serem superados, é uma ferramenta eficiente neste sentido. Barros (2007) também utilizou de ferramentas de geotecnologia para o estudo do agroecossistema cafeeiro do estado de Minas Gerais, apontando, através do mapeamento das lavouras em uma região piloto, áreas mais ou menos favoráveis à cafeicultura, bem como a situação das lavouras mapeadas.

Alves et al. (2011) destacam que, por sua grande extensão territorial, o estado de Minas Gerais compreende diversas faixas latitudinais, que vão do extremo sul, com temperaturas mais amenas, ao extremo norte, com temperaturas mais quentes e também no que se refere ao clima, altas altitudes são sinônimo de baixas temperaturas. Desta forma, em relação à temperatura, as diversas regiões produtoras de café sofrem a influência das interações entre latitude e altitude. De acordo com a Figura 7, os locais estudados localizam-se em faixas de temperatura média até 21°, consideradas aptas ao desenvolvimento da cafeicultura.

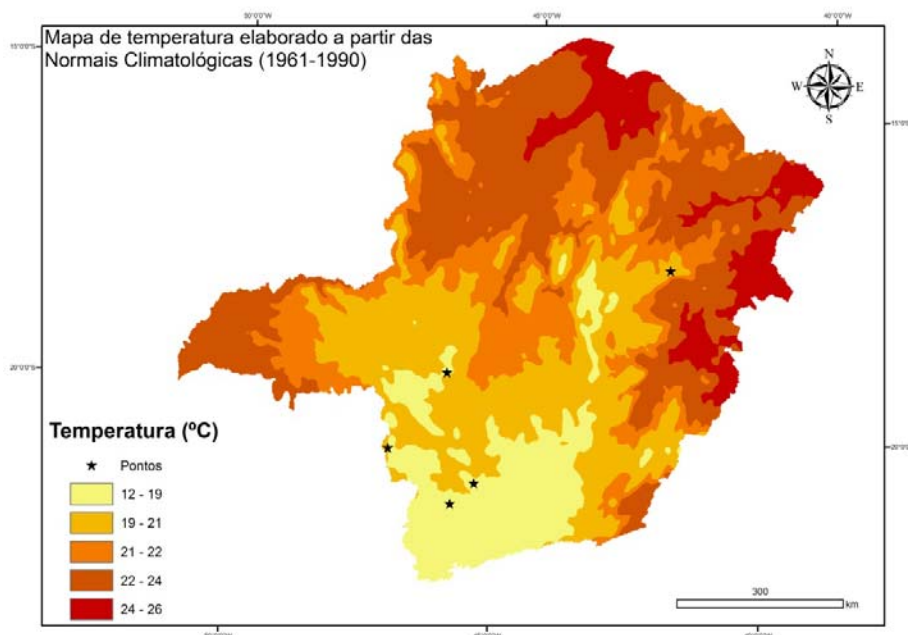


Figura 7 Mapa de temperatura do estado de Minas Gerais, considerando-se as normais climatológicas 1961-1990, com a localização dos municípios Campos Altos, Capelinha, Três Pontas, São Sebastião do Paraíso e Machado. Fonte: Adaptada de Barbosa (2009)

Com relação à pluviosidade (Figura 8), todos os locais se encontram em faixas ótimas de pluviosidade para a cafeicultura, com exceção de Capelinha, que tem sua pluviosidade média abaixo dos 1200 mm, considerado o limite inferior da faixa desejável. Rena e Maestri (1987) relatam que o cafeeiro cresce e produz bem em locais com pluviosidade média anual de 800 a 2000 mm. No entanto, medidas preventivas quanto ao manejo do estresse hídrico na cafeicultura devem ser consideradas em regiões com este tipo de comportamento pluviométrico (CARVALHO et al., 2008a).

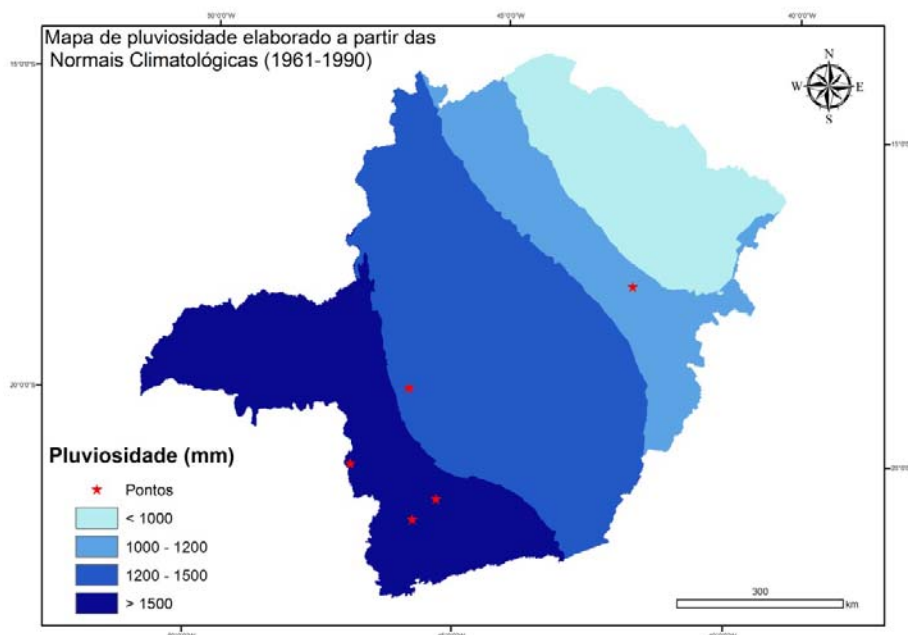


Figura 8 Mapa de Pluviosidade do estado de Minas Gerais, considerando-se as normais climatológicas 1961-1990, com a localização dos municípios Campos Altos, Capelinha, Três Pontas, São Sebastião do Paraíso e Machado. Fonte: Adaptada de Barbosa (2009)

Pela classificação climática de Thornthwaite, baseada no Índice de umidade, dos cinco locais estudados, Capelinha se classifica como tipo de clima C_2 , denominado Subúmido; São Sebastião do Paraíso se classifica como tipo de clima B_3 e os demais ambientes como tipo de clima B_2 , ambos classificados como tipo de clima Úmido. No mapa (Figura 9), a cor vermelha representa áreas com maior déficit hídrico e a cor azul intenso, áreas com alta umidade. De acordo com Carvalho et al. (2008a), regiões onde ocorre o tipo de clima Subúmido são transitórias entre os climas mais secos e os úmidos, sendo que precauções devem ser tomadas nestas regiões sobre a disponibilidade dos recursos hídricos, principalmente quando se trata da atividade agropecuária. As regiões, onde é verificado o tipo de clima Úmido, possuem características

marcantes de desenvolvimento socioeconômico, e as características climáticas fornecem, de maneira geral, condições favoráveis a diversos empreendimentos. Barbosa (2009) comenta que para a cafeicultura, os dados de índice de umidade, podem representar uma boa ferramenta para a espacialização da cultura e melhoria dos modelos de zoneamento, propiciando resultados mais precisos.

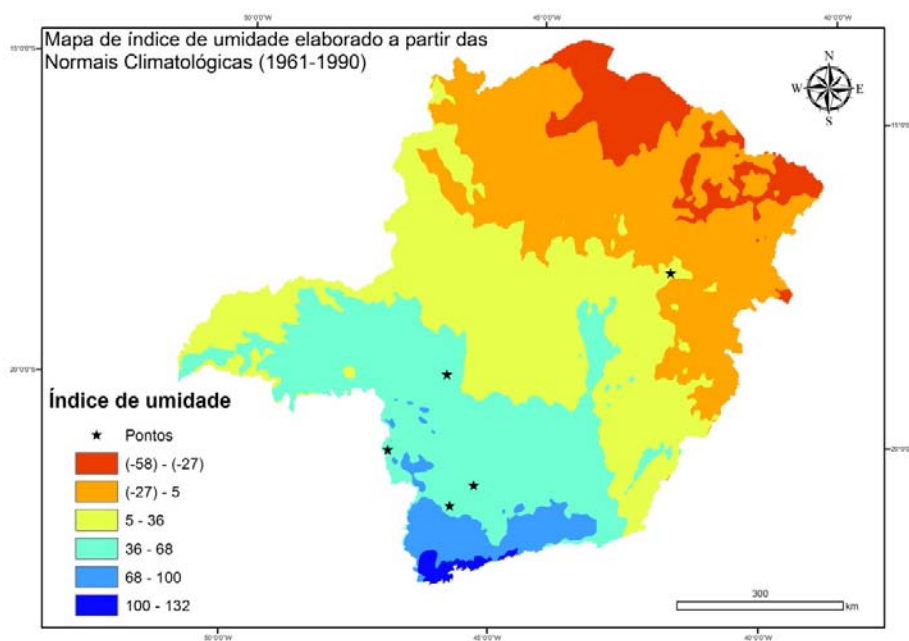


Figura 9 Mapa de Índice de Umidade do estado de Minas Gerais, considerando-se as normais climatológicas 1961-1990, com a localização dos municípios Campos Altos, Capelinha, Três Pontas, São Sebastião do Paraíso e Machado. Fonte: Adaptada de Barbosa (2009)

Embasados nos cenários preconizados de aumento de temperatura global, Assad et al. (2004) estudaram, através de simulação, os prováveis efeitos destas mudanças de temperatura no cultivo do cafeeiro arábica, caso estes cenários se concretizem. Os resultados indicaram uma redução drástica na área apta à cafeicultura nos principais estados produtores e os autores ressaltaram que

estes resultados são válidos se mantidas as atuais características genéticas e fisiológicas das cultivares de cafeeiro arábica utilizadas no país.

Neste sentido e de acordo com uma revisão sobre o Melhoramento Genético de Plantas e as Mudanças Climáticas, publicada por Ramalho, Silva e Dias (2009), estas mudanças deverão intensificar os danos causados pelos estresses bióticos e abióticos, porém espera-se que os efeitos dos estresses abióticos sejam maiores, pelo aumento da temperatura e a redução das chuvas, devido ao estresse hídrico. Os autores comentam também que há pouca evidência de que o potencial genético das principais culturas tenha sido alterado por meio de melhoramento genético nas últimas décadas e que estes avanços obtidos nos programas de melhoramento genético vegetal resultaram do aumento da tolerância a estresses abióticos e bióticos. Ressaltam ainda que a experiência tem mostrado que os estresses bióticos e abióticos ocorrem juntos, ou seja, normalmente, quando por exemplo, as temperaturas são elevadas, a incidência de determinadas pragas aumenta, entre outros estresses. Assim, a alternativa para identificar cultivares mais tolerantes a todos esses fatores, com eficiência comprovada, seria proceder à avaliação nas condições em que as plantas serão cultivadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A combinação das metodologias de estratificação ambiental e análise de trilha com a caracterização climática dos locais, a partir de geotecnologias, permitiu a geração de informações básicas para melhor aproveitamento de espaço físico e para alocação de recursos em ensaios futuros com progênies de cafeeiro, justificando-se a utilização desta combinação de metodologias para outros grupos de cultivares.

Por meio da análise de trilha observou-se alta influência da altitude sobre a produtividade das progênies de cafeeiro estudadas, justificando-se a avaliação de progênies em diferentes altitudes num mesmo local, além da avaliação em vários locais que já é feita comumente.

Desse modo, a caracterização climática das regiões onde serão selecionados e cultivados os genótipos torna-se uma medida estratégica, porque estas informações poderão embasar decisões quanto ao direcionamento das progênies a serem avaliadas em cada local, com objetivos de avaliar a adaptação das mesmas aos estresses submetidos.

6 CONCLUSÕES

A análise de estratificação ambiental permite a formação de três subgrupos de ambientes, o primeiro formado pelos locais Campos Altos e Capelinha (R1); o segundo por Três Pontas e São Sebastião do Paraíso (R2); e o terceiro por Machado (R3), evidenciando que é possível reduzir o número de locais para experimentação com progênies de cafeeiro a partir dessa regionalização.

Ocorre a validação da estratificação ambiental pelo comportamento das progênies utilizadas. Progênies de baixo desempenho (IAC 376-4-26 C 807; IAC 500-11 Planta 1-I e IAC 464-2) se localizaram no quadrante III dos três gráficos de dispersão (progênies passíveis de descarte), ao passo que a progênie IAC 379/19 Planta-I, uma das mais conhecidas seleções do Grupo Mundo Novo se mostrou adaptada em todos os estratos e a progênie IAC 502-9 Planta 19-I, foi uma das progênies mais produtivas, mas com adaptação específica ao estrato R1.

A análise de trilha mostra-se eficiente, determinando a interferência dos fatores climáticos e da altitude, por meio dos coeficientes de trilha, sobre a produtividade das progênies de cafeeiro estudadas, sendo observada alta influência da altitude.

REFERÊNCIAS

ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, p. 503-508, 1964.

ALVES, H. M. R. et al. Características ambientais e qualidade da bebida dos cafés do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 18-29, mar./abr. 2011.

ANTUNES FILHO, H.; CARVALHO, A. Melhoramento de cafeeiro: análise da produção de progênies e híbridos de Bourbon Vermelho. **Bragantia**, Campinas, v. 16, n. 13, p. 175-195, nov. 1957.

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.

BARBOSA, J. N. **Distribuição espacial de cafés do Estado de Minas Gerais e sua relação com a qualidade**. 2009. 90 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

BARROS, M. A. **Geotecnologias como contribuição ao estudo do agroecossistema cafeeiro de Minas Gerais em nível municipal**. 2007. 157 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Minnesota: Woodbury, 2002. 368 p.

BERTOLDO, J. G. et al. Stratification of the state of Santa Catarina in macroenvironments for bean cultivation. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 9, n. 4, p. 335-343, Dec. 2009.

BORGES, L. A. et al. Contribuição da geoestatística no mapeamento das variáveis climáticas do cafeeiro, do Estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 18., 2009, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2009. 1 CD-ROM.

BOTELHO, C. E. et al. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de café arábica em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 12, p. 1404-1411, dez. 2010a.

BOTELHO, C. E. et al. Preparo do solo e plantio: instalação do cafezal. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. da (Ed.). **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010b. p. 283-341.

BOTERO, C. J. **Resposta de cafeeiros ao sombreamento e à dinâmica de serrapilheira em condições de sistema agroflorestal**. 2007. 72 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

BRASIL. Portaria n. 80, de 25 de fevereiro de 2011. Aprova o Zoneamento Agrícola para a cultura de café no Estado de Minas Gerais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, n. 41, p. 13-14, 28 fev. 2011a. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas: 1961-1990**. Brasília, 1992. 84 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS. **Programa TabWin versão 3.6**. Disponível em: <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=040805>>. Acesso em: 12 abr. 2011b.

CAMARGO, A. P. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 13-26, 1985.

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

CARAMORI, P. H. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 486-494, 2001. Número especial.

CARVALHO, A. et al. Melhoramento do cafeeiro XXXIII: produtividade e outras características de vários cultivares em Monte Alegre do Sul. **Bragantia**, Campinas, v. 32, n. 13, p. 245-260, ago. 1973.

CARVALHO, A. M. de et al. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 269-275, mar. 2010.

CARVALHO, G. R. et al. Avaliação e seleção de progênies resultantes do cruzamento de cultivares de café Catuaí com Mundo Novo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 844-852, set./out. 2006a.

_____. Comportamento de progênies de cafeeiro cultivar Mundo Novo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 853-860, set./out. 2006b.

_____. Melhoramento genético do café visando à qualidade de bebida. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 30-38, mar./abr. 2011.

_____. Seleção de progênies oriundas do cruzamento entre 'Catuaí' e 'Mundo Novo' em diferentes regiões do Estado de Minas Gerais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 583-590, out./dez. 2006c.

CARVALHO, H. P. et al. Índices bioclimáticos para a cultura do café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 601-606, 2011.

CARVALHO, L. G. de et al. Modelo de regressão para a previsão de produtividade de cafeeiros no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 204-211, 2004.

_____. Zoneamento da cana-de-açúcar e do eucalipto: aspectos geofísicos e bióticos. In: SCOLFORO, J. R. S.; CARVALHO, L. M. T. de; OLIVEIRA, A. D. de (Org.). **Zoneamento ecológico-econômico do estado de Minas Gerais: zoneamento e cenários exploratórios**. Lavras: UFLA, 2008a. p. 53-60.

_____. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: componentes geofísico e biótico**. Lavras: UFLA, 2008b. p. 89-102.

CARVALHO, S. P. de. **Metodologias de avaliação do desempenho de progênies do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 1989. 68 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1989.

_____. **Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção, sob multicolinearidade**. 1995. 163 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

COIMBRA, R. R. et al. Análise de representatividade ambiental para discriminação genotípica de cultivares de milho. **Revista Ciência Agroambiental**, Palmas, v. 1, n. 1, p. 35-42, jan./jun. 2006a.

_____. Estratificação ambiental e análise de adaptabilidade de genótipos de milho baseada em análise de fatores. **Revista Ciência Agroambiental**, Palmas, v. 1, n. 1, p. 27-34, jan./jun. 2006b.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café: safra 2011 segunda estimativa**. Brasília, 2011. 25 p.

CORREIA, J. R. et al. Análise de trilha (“path analysis”) no estudo do relacionamento entre características físicas e químicas do solo e a produtividade do eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 20, n. 2, p. 161-169, mar./abr. 1996.

CRUZ, C. D. **Programa GENES: biometria**. Viçosa, MG: UFV, 2006a. 382 p.

_____. **Programa GENES: estatística experimental e matrizes**. Viçosa, MG: UFV, 2006b. 285 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. v. 2, 585 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. rev. Viçosa, MG: UFV, 2001. 390 p.

DIAS, A. P. S. **Modelagem do desenvolvimento e da produtividade do cacaueteiro e influência do clima na ocorrência de vassoura-de-bruxa**. 2004. 79 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

DIAS, F. P. et al. Caracterização de progênies do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) selecionadas em Minas Gerais: II., caracteres relacionados à produção. **Ceres**, Viçosa, MG, v. 52, n. 299, p. 85-100, jan./fev. 2005.

DUARTE, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. de O. Selection of locations for common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) germplasm evaluation. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 14, n. 3, p. 765-770, 1991.

EVANGELISTA, A. W. P.; CARVALHO, L. G. de; SEDIYAMA, G. C. 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.

FELIPE, C. R. P.; DUARTE, J. B.; CAMARANO, L. F. Estratificação ambiental para avaliação e recomendação de variedades de milho no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 186-199, abr./jun. 2010.

FERNANDES, F. L. et al. Efeitos de variáveis ambientais, irrigação e vespas predadoras sobre *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepdoptera: Lyonetiidae) no cafeeiro. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 38, n. 3, p. 410-417, mar./abr. 2009.

FRITSCHÉ-NETO, R. et al. Factor analysis and SREG GGE biplot for the genotype \times environment interaction stratification in maize. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 5, p. 1043-1048, maio 2010.

GARBUGLIO, D. D. **Metodologia de estratificação ambiental e adaptabilidade via análise de fatores associada aos efeitos genotípicos e de interação genótipos por ambientes**. 2010. 105 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

GARBUGLIO, D. D. et al. Análise de fatores e regressão bissegmentada em estudos de estratificação ambiental e adaptabilidade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 183-191, fev. 2007.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Nutrição do cafeeiro e sua relação com a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 39-51, mar./abr. 2011.

JOBIM, C. I. P. et al. Contribuição de variáveis ambientais à interação genótipo \times ambiente em feijão. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 27-38, 2000.

JOBIM, C. I. P.; WESTPHALEN, S. L.; FEDERIZZI, L. C. Utilização de variáveis ambientais e índice de doença na análise da interação genótipo \times ambiente em feijão. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 173-182, 1999.

LAVIOLA, B. G. et al. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1451-1462, nov./dez. 2007.

LIN, C. S. Grouping genotypes by a cluster method directly related to genotype-environment interaction mean-square. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 62, n. 3, p. 277-280, Sept. 1982.

MARANHA, F. G. C. B. **Estratificação ambiental para avaliação de genótipos de algodoeiro no Estado do Mato Grosso**. 2005. 63 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz Queiroz", Piracicaba, 2005.

MEDINA FILHO, H. P.; BORDIGNON, R.; CARVALHO, C. H. S. de. Desenvolvimento de novas cultivares de café arábica. In: CARVALHO, C. H. S. de (Ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: EMBRAPA Café, 2008. p. 79-101.

MEIRELES, E. J. L. et al. Café. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: INMET, 2009. p. 351-372.

MENDES, A. M. et al. Zoneamento pedoclimático para a cultura do café no estado de Rondônia. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Vitória: Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, 2001. 1 CD-ROM.

MENDES, A. N. G. **Avaliação de metodologias empregadas na seleção de progênies do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no estado de Minas Gerais**. 1994. 167 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1994.

MENDES, A. N. G. et al. História das primeiras cultivares de café plantadas no Brasil. In: CARVALHO, C. H. S. de (Ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: EMBRAPA Café, 2008. p. 69-77.

MENDES, J. E. T. et al. Melhoramento de *Coffea arabica* L. var Bourbon: estudo das produções individuais de 1107 cafeeiros no período de 1933 a 1939: resultados parciais de algumas de suas progênies, capítulo II: análise estatística da experiência de café Bourbon e seleção de café por métodos modernos. **Bragantia**, Campinas, v. 1, p. 27-119, 1941.

MENDONÇA, O. et al. Análise de fatores e estratificação ambiental na avaliação da adaptabilidade e estabilidade em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1567-1575, nov. 2007.

MINAS GERAIS. **Portaria nº 401**, de 24 de agosto de 2000. Altera o anexo único da portaria nº 397, de 21 de julho de 2000 sobre a delimitação das regiões produtoras de café do estado de Minas Gerais para a instituição do certificado de origem e qualidade. Belo Horizonte, 2000. Disponível em: <<http://www.ima.mg.gov.br/certificacao/legislacao>>. Acesso em: 27 mar. 2011.

_____. **Portaria nº 437**, de 23 de maio de 2001. Altera para Região das Matas de Minas a denominação da Região das Montanhas de Minas expressa no inciso III do anexo único da portaria nº 401, de 24 de agosto de 2000. Belo Horizonte, 2001. Disponível em: <<http://www.ima.mg.gov.br/certificacao/legislacao>>. Acesso em: 27 mar. 2011.

_____. **Portaria nº 780**, de 7 de julho de 2006. Altera a denominação de região produtora de café. Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <<http://www.ima.mg.gov.br/certificacao/legislacao>>. Acesso em: 27 mar. 2011.

MIRANDA, G. V. et al. Multivariate analyses of genotype x environment interaction of popcorn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 45-50, jun. 2009.

MISTRO, J. C. et al. Determination of the number of years in arabic coffee progênies selection through repeatability. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 8, n. 1, p. 79-84, Mar. 2008.

MONCADA, P.; CASLER, M. D.; CLAYTON, M. K. An approach to reduce the time required for bean yield evaluation in coffee breeding. **Crop Science**, Madison, v. 33, n. 3, p. 448-452, May/June 1993.

MONTE-RASO, B. de S. **Estabilidade fenotípica e adaptabilidade de progênies de 'Mundo Novo' no estado de Minas Gerais**. 2009. 31 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: J. Wiley, 1981. 504 p.

MOURA, W. de M. et al. Café (*Coffea arabica* L.). In: PAULA JÚNIOR, T. J. de; VENZON, M. (Coord.). **101 culturas: manual de tecnologias agrícolas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. p. 185-206.

MURAKAMI, D. M.; CRUZ, C. D. Proposal of methodologies for environment stratification and analysis of genotype adaptability. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 4, n. 1, p. 7-11, Mar. 2004.

_____. Proposal of methodology to assess the representativeness of environments for genotypic discrimination. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 2, n. 3, p. 325-330, 2002.

NUNES, E. L. et al. Zoneamento agroclimático da cultura do café para a Bacia do Rio Doce. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 297-302, 2007.

PACHECO, E. P.; CANTALICE, J. R. B. Análise de trilha no estudo dos efeitos de atributos físicos e matéria orgânica sobre a compressibilidade e resistência à penetração de uma argissolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 2, p. 417-428, mar./abr. 2011.

PACHECO, R. M. et al. Key locations for soybean genotype assessment in Central Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 5, p. 478-486, maio 2009.

PEREIRA, A. A. et al. Cultivares: origem e suas características. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. da. **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. p. 163-221.

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

PETEK, M. R. et al. Correlações e análise de trilha entre reação à cercosporiose e outras variáveis em progênies de café arábica. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, 2007. 1 CD-ROM.

PETEK, M. R.; SERA, T.; FONSECA, I. C. B. Exigências climáticas para o desenvolvimento e maturação dos frutos de cultivares de *Coffea arabica*. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 169-181, 2009.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Exigência térmica do café arábica cv. Mundo Novo no subperíodo florescimento-colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1781-1786, nov./dez. 2008.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

RAMALHO, M. A. P.; SILVA, G. S. da; DIAS, L. A. S. Genetic plant improvement and climate changes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 9, n. 2, p. 189-195, June 2009.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p. 119-147.

RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

ROSA, V. G. C. da et al. Estimativa da produtividade de café com base em um modelo agrometeorológico-espectral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 12, p. 1478-1488, dez. 2010.

SAEED, M.; FRANCIS, C. A. Association of weather variables with genotype x environment interactions in grain sorghum. **Crop Science**, Madison, v. 24, n. 1, p. 13-16, Jan./Feb. 1984.

SEDIYAMA, G. C. et al. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, p. 501-509, 2001. Número especial.

SERA, T. **Possibilidade de emprego de seleção nas colheitas iniciais de café (*Coffea arabica* L. cv. Acaíá)**. 1987. 147 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1987.

SEVERINO, L. S. et al. Associações da produtividade com outras características agronômicas de café (*Coffea arabica* L. "Catimor"). **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1467-1471, out. 2002.

SILVA, H. D.; PINTO, R. de M. C.; BIASE, N. G. Metodologia para o agrupamento de ambientes de modo a minimizar a interação genótipos x ambientes na avaliação de híbridos de milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 20, n. 3, p. 61-67, 2004.

SILVA-ACUÑA, R. et al. Estudo epidemiológico da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) utilizando a análise de trilha. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 4, p. 425-430, dez. 1998.

SOLARES, P. F. Influencia de la variedad y la altitud em las características organolepticas e físicas del café. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE CAFEICULTURA, 19., 2000, San Jose. **Resumes...** San Jose: Universidad Nacional, 2000. p. 493-499.

SOUZA JÚNIOR, J. O. de. **Fatores edafoclimáticos que influenciam a produtividade do cacauzeiro cultivado no Sul da Bahia, Brasil**. 146 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.

SOUZA JÚNIOR, J. O. de et al. Produtividade do cacauzeiro em função de características do solo: I., características químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 4, p. 863-872, out./dez. 1999a.

_____. Produtividade do cacauzeiro em função de características do solo: II., características físico-morfológicas e alguns elementos extraídos pelo ataque sulfúrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 4, p. 873-880, out./dez. 1999b.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS/STAT software**. Version 8.2. Cary, 1999. 3695 p.

THOMAS, M. H. et al. Desempenho vegetativo de cultivares de trigo duplo propósito submetidas a adubações nitrogenadas. **Revista FZVA**, Uruguaiana, v. 16, n. 1, p. 66-78, 2009.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética fiométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

VIEIRA, T. G. C. et al. Geotechnologies in the assessment of land use changes in coffee regions of the State of Minas Gerais in Brazil. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 2, p. 142-149, July/Dec. 2007.