



Teoria do portfólio aplicada na diversificação da produção de café

Gabriel Augusto de Carvalho¹

Renato Pereira Claus²

Fabrcio Molica de Mendonça³

Fúlvio Rodriguez Simão⁴

Resumo: O setor agropecuário representa uma fração significativa do Produto Interno Mineiro, sendo o café um produto historicamente importante no desenvolvimento do Estado. Diante dos riscos incorridos na produção cafeeira tanto por questões climáticas, agronômicas ou de mercado, que impactam a produtividade e rentabilidade obtida, a diversificação com outras culturas pode auxiliar o produtor a minimizar os riscos em seu negócio sendo pelas sinergias entre as culturas ou pela outra fonte de renda. Desse modo, o emprego da teoria dos portfólios para analisar a composição de uma carteira eficiente na produção de café, mostra-se pertinente, pois considera a volatilidade dos retornos dos diferentes produtos para a composição de uma carteira ótima eficiente, que maximize o retorno para dado nível de risco. O objetivo desse estudo é verificar a viabilidade da aplicação e os resultados gerados pela teoria do portfólio de Markowitz (1952) na composição de uma lavoura de café diversificado com outras culturas permanentes. Os resultados obtidos atestam a importância da utilização da teoria do portfólio de Markowitz (1952) para minimizar os riscos e maximizar os retornos diante da existência de ganhos econômicos obtidos como composição de uma carteira ótima.

Palavras-chave: Café Consorciado; Markowitz; Relação Risco-Retorno.

Portfolio theory applied to the diversification of coffee production

Abstract: Agriculture represents a significant fraction of the Minas Gerais State production, and coffee is a historically important for the State development. Considering the risks in coffee production due to climatic, agronomic or market issues, which affect the productivity and profitability, crop diversification can help farmers to minimize the risks with synergies between crops as sources of income. Thus, the use of the portfolio theory to analyze the composition of an efficient portfolio with coffee production is pertinent, since it considers the volatility of the returns of the different products to the composition of an optimal efficient portfolio, that maximizes the return to given level of risk. The objective of this study is to verify the viability of the application and the results generated by the portfolio theory of Markowitz (1952) in the composition coffee produced with other permanent crops. The results obtained attest to the importance of using the Markowitz (1952) portfolio theory to minimize risks and maximize returns in the face of the economic gains obtained from the composition of an optimal portfolio.

Keywords: Coffee Intercropping; Markowitz; Risk-Return Ratio.

1 Mestrando pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Graduado em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Endereço Postal: Avenida Amazonas 7675- Nova Gameleira - Belo Horizonte - MG - Brasil. E-mail: ga09carvalho@gmail.com

2 Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Graduado em Ciências Econômicas pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MINAS). Economista na Fundação João Pinheiro (FJP).

3 Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Graduado em Administração pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Docente na Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ).

4 Doutor em Plant and Soil Science pela Texas Tech University (TTU). Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Pesquisador na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG).

1 Introdução

O setor agropecuário mineiro possui grande relevância na economia do Estado. De acordo com os dados da Fundação João Pinheiro (FJP, 2017), o Produto Interno Bruto (PIB) mineiro em 2016 foi de R\$ 544,6 bilhões, valor que representou uma queda de 2,6% ante ao ano anterior, contudo o setor agropecuário evitou que essa retração fosse ainda maior, tendo apresentado um crescimento de 6,6% no mesmo período. Destaca-se, além da importância econômica desse setor, a sua tradição, com alguns produtos que se confundem com a própria história mineira, como é o caso do café e do leite.

Em relação ao setor agropecuário mineiro, ressalta-se a importância do café que, conforme apontam os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), gerou uma produção total de 1.345.834 toneladas, equivalente a um valor total superior a R\$ 9 bilhões. Dada a importância desse produto é sempre relevante estudar alternativas agronômicas e econômicas para aumentar sua produtividade e reduzir os riscos para o produtor, o que irá facilitar que se estabeleça um setor cafeeiro ainda mais eficiente e consolidado.

A atividade no setor rural é permeada por diferentes fontes de riscos, que afetam diretamente a tomada de decisão na gestão desse tipo de negócio. Conforme apontam Moreira, Souza e Duclós (2014), o agronegócio está sujeito a riscos aos quais normalmente empresas de outros setores não se submetem. Além dos riscos de mercado e institucionais, o produtor rural sofre diretamente com as variações climáticas e com a ocorrência de pragas e doenças, as quais são próprias da atividade nesse setor e impactam a produtividade e rentabilidade obtida.

Apesar de o governo e o mercado disponibilizarem ferramentas que geram uma proteção a esses riscos, tais como os subsídios para produção em determinadas culturas e a realização de operações no mercado futuro como forma de *hedge*, muitas delas ainda não são acessíveis para a maior parte dos produtores. Conforme apresentam Dill, Souza e Barbosa (2010), várias ferramentas de diversos campos do conhecimento, principalmente de gestão, apresentam-se como solução para auxiliar o produtor a administrar e minimizar os riscos em seu negócio.

Dentre as ferramentas de gestão que auxiliam o gerenciamento de riscos do produtor destaca-se a possibilidade da diversificação de sua produção, assim sendo, o plantio de café em conjunto com outras culturas é uma possibilidade viável, por explorar sinergias entre as produções e gerar uma renda alternativa para o produtor. Desse modo, o emprego da teoria dos portfólios para analisar a composição de uma carteira eficiente na produção de café, mostra-se pertinente, pois considera a volatilidade dos retornos dos diferentes produtos para a composição de uma carteira ótima eficiente, que maximize o retorno para dado nível de risco.

Essa teoria faz uso do ferramental estatístico para apresentar uma combinação de carteiras eficientes, dados seus retornos e variância, para que o investidor possa alocar seus recursos conforme sua preferência por risco e retorno. Conforme Assaf Neto (2012), a teoria do portfólio trata da identificação da melhor combinação de ativos, dadas as preferências do investidor, que nesse trabalho é representado pela figura do produtor rural, em relação ao risco e o retorno esperado.

O objetivo do presente estudo foi verificar a viabilidade da aplicação e os resultados gerados pela teoria do portfólio aplicada na composição de uma lavoura de café em consórcio com outras culturas

permanentes. Para tanto foram considerados os principais produtos agrícolas mineiros de lavoura permanente, escolhidos de acordo com o valor total da produção, baseado nos dados do IBGE (2015). O estudo foi desenvolvido com o apoio de ferramentas de programação linear, aplicadas à teoria do portfólio de Markowitz (1952), que sirva de subsídio na tomada de decisão para o produtor de café mineiro.

Esse trabalho encontra-se dividido em quatro seções, além da presente introdução. Na próxima seção são discutidos aspectos teóricos e conceituais relevantes para a compreensão da importância do tema, e também de outros trabalhos que aplicaram uma abordagem similar a outros contextos. Em seguida, são apresentados os procedimentos metodológicos empregados para a obtenção dos resultados, discutidos no tópico seguinte do trabalho. Por fim, são apresentadas as considerações finais dos autores, com a sugestão de temas para pesquisas futuras.

2 Referencial Teórico

Esta seção do artigo dedica-se à uma breve revisão de literatura sobre os temas abordados na pesquisa. Para tanto, o conteúdo encontra-se subdividido em duas subseções, sendo apresentado o tema do cultivo do café em consórcio com outras culturas na primeira, e a teoria do portfólio na segunda subseção.

2.1 Café Consorciado

A representatividade do café para o setor agropecuário mineiro estimula o desenvolvimento de estudos que visem elevar a eficiência produtiva do setor cafeeiro. Essa cultura, típica de climas quentes e úmidos, não se adapta bem ao clima frio, que é característico em algumas regiões do estado de Minas Gerais, tal como destacado por Meireles et. al. (2009). Sendo assim, nos anos em que o inverno é rigoroso podem ocorrer quedas na produtividade total desse produto. Outro fator peculiar do cultivo do café é a bienalidade típica dessa planta, esse efeito faz com que safras de elevada produtividade sejam sucedidas por safras com baixa produtividade. Desse modo, o consórcio do café com outras espécies pode amenizar as perdas e os riscos para o produtor, que disporá de uma renda alternativa, advinda de outro produto.

Pezzopane, Pedro Júnior e Gallo (2005) apontam que o uso de sistemas consorciados na produção de café reduz a exposição das plantas a riscos climáticos como, por exemplo, o excesso de radiação solar, geadas, temperaturas elevadas e ventos excessivos. Assim, o cultivo conjunto do café com outras culturas, além do objetivo de diversificação, cumpre um papel agrônômico relevante para a proteção da lavoura cafeeira.

Cardoso et. al. (2004) em levantamento feito com produtores de municípios da Zona da Mata Mineira, constataram as principais culturas que são utilizadas para a prática de consórcio com o café na região, são citadas como espécies privilegiadas para essa prática o abacate, a capoeira branca, a toona, a marianeira, entre outros. Destaca-se também, que o principal critério apontado pelos produtores na consideração de uma cultura para a prática do consórcio com o café é a competição com esse por recursos, como água e nutrientes.

Ricci et. al. (2007), chamam a atenção para os benefícios gerados por essa prática, como a elevação da diversidade ambiental e da renda do produtor, no entanto, é apontado que existem estudos comprovando a

redução da produtividade do café em sistemas de produção sombreados. Sua pesquisa, contudo, comprova que em cultivos com as espécies e espaçamento adequados a produtividade não apresenta queda. Esse fato indica um duplo ganho para o produtor, pois há o retorno gerado pela segunda produção e os benefícios de proteção ao café.

Pezzopane et. al. (2011) ressaltam a proteção contra ocorrências climáticas extremas, criadas pelo cultivo de café sombreado. Os autores destacam que, na África, região originária do café, seu cultivo se dá principalmente de maneira sombreada. A pesquisa conduzida pelos autores testa então os efeitos gerados pela produção de café sombreado por coqueiro-anão-verde, sendo apontado que essa prática reduz a incidência de ventos na copa dos cafeeiros e, ainda, são constatadas alterações no regime térmico e na umidade relativa do ar na plantação com essa prática.

Perdoná, Soratto e Esperancini (2015), em sua pesquisa avaliam o desempenho do café em consórcio com a noqueira-macadâmia. São avaliados no trabalho aspectos como a produtividade e os resultados econômicos obtidos, tanto no cenário dos cultivos isolados, quanto no consórcio entre essas culturas, além disso, foram avaliados cenários com e sem irrigação. A pesquisa comprovou que há uma maior eficiência no uso da terra quando o consórcio é praticado, além de que no cultivo em consórcio irrigado a rentabilidade obtida pelo produtor é maior, o que gera um retorno mais rápido para o investimento, particularmente durante baixas nos preços do café.

Dado o exposto, evidencia-se a viabilidade do cultivo do café em consórcio com outros tipos de culturas, o que acima de tudo gera benefícios econômicos e ambientais. À vista disso, é pertinente prosseguir os estudos sobre o consórcio ou outras formas de diversificação da produção do café com outras culturas, aplicando também ferramentas de gestão, para que o produtor possa chegar a uma composição de sua lavoura que maximize seu retorno para um dado nível de risco. Para tanto, mostra-se pertinente o emprego da teoria do portfólio nesse contexto.

2.2 Teoria do Portfólio

A teoria do portfólio, derivada do artigo seminal de Markowitz (1952), descreve o processo decisório do investidor quando da tomada de decisão sobre a construção de seu portfólio de investimentos. Markowitz (1952) inicia sua argumentação demonstrando que, se a escolha do investidor for pautada apenas na maximização dos retornos, a diversificação não faz sentido, sendo todo o recurso alocado no ativo de maior retorno esperado.

A partir dessa constatação, Markowitz (1952) destaca então que a diversificação beneficia o investidor, dado que pela lei dos grandes números o retorno do portfólio será mais próximo do retorno esperado. Tal fato é possível devido à diversificação reduzir a variabilidade dos retornos, ao adicionar ao portfólio ativos expostos a diferentes fatores de risco. Com isso, ressalta-se que sempre existirá um portfólio que, para dado nível de risco, será capaz de maximizar o retorno do investidor, ou um portfólio que, para um retorno esperado, será capaz de minimizar o risco do investidor.

É possível concluir então que, o investidor irá tomar a sua decisão na construção de uma carteira

de investimento amparado em dois objetivos: a maximização do retorno esperado e a minimização dos riscos incorridos com o investimento. Sendo que, essas variáveis podem ser obtidas por meio dos dados de retornos passados, ou pelas expectativas futuras dos analistas do mercado, conforme proposto por Markowitz (1959), como medida para o retorno é considerada a média desses valores e para o risco a variância, daí essa Teoria ser conhecida também como Média-Variância.

Markowitz (1952) mostra, então, que, quando o investidor considera essas duas variáveis em sua tomada de decisão, sua escolha se dará por carteiras chamadas de eficiente, ou seja, aquelas que apresentam uma relação ótima entre risco-retorno. Ao analisar um grupo de ativos, o investidor racional deve encontrar as composições que apresentem esta relação ótima entre risco e retorno, para então optar por uma dessas carteiras eficientes, de acordo com seu perfil de aversão ao risco.

Tendo sido descrito de maneira sucinta o embasamento teórico para o desenvolvimento deste Modelo, a discussão agora se concentra nos procedimentos matemáticos necessários para o cálculo das variáveis de interesse e obtenção dos portfólios eficientes.

Em relação ao retorno esperado do portfólio, conforme ressaltado por Oliveira, Souza e Matos (2013), esse é afetado pelos retornos individuais dos ativos que o compõe e pela proporção de cada ativo na composição da carteira, já o retorno do ativo individual pode ser estimado de diferentes maneiras, a equação (1), apresentada abaixo, descreve a fórmula para o cálculo do retorno em regime de capitalização contínua.

$$R_{i,t} = \frac{\ln(P_{i,t})}{\ln(P_{i,t-1})} \quad (1)$$

Em que, $R_{i,t}$ é o retorno do produto i , no período t ; $P_{i,t}$ mostra o preço do produto i , no período t ; enquanto $P_{i,t-1}$ é o preço do produto i , no período $t-1$.

Com o retorno de cada ativo que irá compor a carteira, torna-se possível o cálculo do retorno esperado da carteira. Que, conforme descreve Assaf Neto (2012), nada mais é do que a média dos retornos individuais, ponderada por sua participação no total do portfólio. Dessa forma, a equação (2) apresenta o método para calcular o retorno do portfólio.

$$E(R_p) = \sum_{i=1}^n R_i \times W_i \quad (2)$$

Em que, $E(R_p)$ é o retorno esperado da carteira; R_i é o retorno do ativo i ; e W_i é o peso do ativo i no portfólio.

O risco, conforme descrevem Araújo e Montini (2015), pode ser visto como os desvios em torno do retorno médio do ativo, conseqüentemente, quanto maior a volatilidade do retorno de um ativo, maior é o seu risco. Sendo o risco uma variável com fundamental importância na tomada de decisão sobre investimentos, sejam eles realizados no mercado financeiro ou na produção agrícola, a composição de uma carteira, que combine ativos expostos a diferentes riscos, é capaz de resultar em uma menor variabilidade em relação aos ativos considerados individualmente. (OLIVEIRA; SOUZA; MATOS, 2013).

O risco individual de um ativo pode ser medido tanto pela variância, quanto pelo desvio-padrão de seus retornos. Assaf Neto (2012) lembra que o risco do ativo individual é diferente de seu risco quando incluso em um portfólio, essa diferença decorre da correlação existente entre o retorno dos ativos. Posto isso, uma medida geral para o cálculo do risco de um portfólio de n ativos é dada pela equação (3).

$$\sigma_p = \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_i W_j \text{Corr}_{i,j} \sigma_i \sigma_j \right]^{1/2} \quad (3)$$

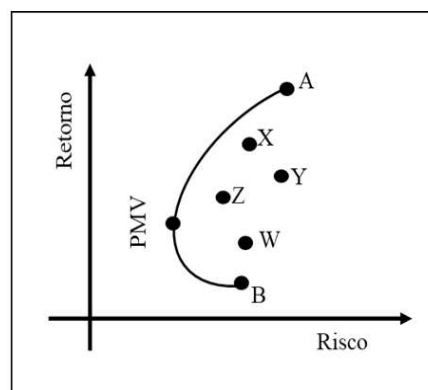
Em que, W_i e W_j referem-se, respectivamente, aos pesos dos ativos i e j na carteira; $\text{Corr}_{i,j}$ é a correlação entre os ativos i e j ; já σ_i e σ_j são as variâncias do retorno dos ativos i e j , respectivamente.

A consideração da correlação dos ativos no cálculo do risco da carteira mostra que, para o investidor, é mais vantajoso montar um portfólio com ativos negativamente correlacionados. Ativos com desvios positivos no mesmo momento possuem uma correlação positiva, assim quando um ativo estiver em baixa o outro também estará, mas quando os ativos possuírem desvios positivos e negativos em instantes diferentes, a correlação será negativa, e a baixa de um ativo coincide com a alta do outro, com isso é criada uma posição de proteção para o investidor. (OLIVEIRA; SOUZA; MATOS, 2013).

De posse das medidas para o risco e o retorno dos ativos individuais e dos portfólios, é possível traçar em um gráfico uma reta que representa todos os portfólios eficientes disponíveis para a tomada de decisão do investidor. A Figura 1 apresentada abaixo mostra um esboço de uma fronteira eficiente para uma carteira de dois ativos.

Dadas as características de risco e retorno de um portfólio, Markowitz (1952), aponta que o investidor irá, então, buscar maximizar seu retorno e minimizar a variância de sua carteira. Desse modo, entre duas carteiras com o mesmo retorno, mas com variâncias distintas, o investidor sempre irá preferir aquela que possuir a menor variância. Essa conclusão da Teoria da Média-Variância pode ser resumida em um gráfico, conforme apresentado abaixo na Figura (1), em exemplo elaborado pelos autores.

Figura 1 – Fronteira Eficiente



Fonte: Elaborada pelos autores, baseado em Markowitz (1952).

De acordo com os resultados apresentados por Markowitz (1952), o portfólio escolhido por um investidor racional deverá se situar no segmento compreendido entre os pontos PMV e A, que é a fronteira eficiente. O ponto PMV representa o Portfólio de Mínima Variância, ou seja, o portfólio de menor risco quando considerados os ativos A e B, pontos situados abaixo desse portfólio são considerados ineficientes, dado que é possível obter um retorno maior para o mesmo nível de risco. Pontos situação abaixo da fronteira eficiente também são considerados ineficientes, como é o caso dos pontos X, Y, W e Z na imagem acima. Segundo Markowitz, (1952), o investidor de posse dessas informações irá optar por uma carteira eficiente de acordo com sua preferência por risco e retorno.

Robison e Brake (1979) desenvolvem uma discussão sobre a aplicação da teoria do portfólio no contexto da tomada de decisão de agricultores e arrendadores, mostrando ser possível sua aplicação em novos cenários, que não o mercado financeiro, o qual embasou o seu desenvolvimento inicial. Para tanto, os autores argumentam ser importante um julgamento prévio dos ativos que compõem o estudo, no caso da aplicação dessa teoria como uma ferramenta de tomada de decisão para agricultores há limitações oriundas do processo da indivisibilidade dos ativos e do fato de a variância da produção ser uma forma de risco tão importante quanto a variância dos preços.

Seguindo a linha da aplicação da teoria do portfólio no contexto do agronegócio, Dill, Souza e Borba (2010) propõem um modelo, baseado nessa teoria desenvolvida por Markowitz, para auxiliar na tomada de decisão para portfólios de culturas de verão. Em um estudo de caso com uma empresa rural do estado do Rio Grande do Sul, os autores evidenciam que o modelo se mostrou aplicável para essa propriedade, sendo importante considerar previamente as restrições técnicas das culturas analisadas na aplicação desse instrumento. Outro resultado interessante encontrado pelos autores é o fato de a cultura do girassol apresentar o maior risco, e também o maior retorno esperado, resultado coerente com a teoria, que apresenta que quanto maior o risco de um ativo maior deve ser seu retorno esperado, para remunerar o investidor pelo risco.

Outros trabalhos fazem análises similares no setor agropecuário brasileiro. Oliveira, Souza e Matos (2013) empregam essa teoria como ferramenta de gerenciamento de riscos na comercialização de frutas no mercado produtor de Juazeiro - BA. Moreira, Barreiros e Prottil (2011) utilizaram a teoria de Markowitz para gerar portfólios eficientes para a produção agropecuária do Paraná e, analisam a influência das cooperativas para que se alcance uma carteira eficiente preferível às demais opções. Barabach e Silva (2010) empregaram a teoria do portfólio na comercialização do café, verificando a composição de uma carteira de comercialização de café usando períodos e instrumentos de comercialização diferentes, demonstrando os benefícios gerados aos produtores pela inclusão dos mercados futuro e a termo como forma de diversificar a comercialização do café.

No que tange a pesquisas realizadas em outros países, também é encontrado o emprego da teoria do portfólio no cenário da agropecuária. Buhr (2002) em seu estudo emprega a abordagem de Markowitz para identificar os retornos e efeitos da verticalização, direta ou indireta, por criadores americanos de suínos. González e González (2005) mostram os benefícios do uso da teoria do portfólio como uma estratégia de diversificação do risco para pequenos e médios produtores de hortaliças mexicanos. Knoke et. al. (2015) propõem o uso de uma variante do modelo clássico de Markowitz, que exige menos informações, para

calcular as carteiras eficientes do uso da terra em culturas comuns nas planícies equatorianas, os resultados desses autores mostram que o modelo proposto é uma boa alternativa quando não é possível obter todos os dados para a aplicação do modelo clássico.

Esse referencial teórico apresentou o desenvolvimento da teoria do portfólio de Markowitz (1952), ressaltando estudos que a aplicaram como uma ferramenta para a tomada de decisão no setor agropecuário. Além disso, foram apresentadas as características da cultura do café, com ênfase nos benefícios da plantação do café consorciado a outras culturas. Com isso, fica evidenciada a legitimidade do estudo da aplicabilidade dessa teoria no setor cafeeiro mineiro considerando as especificações geográficas e climáticas do vasto Estado de Minas Gerais.

3 Metodologia

Em relação às suas características, essa pesquisa pode ser classificada como um estudo de caso, dado que são analisados dados de produtos específicos, no contexto do setor agrícola de Minas Gerais. Triviños (1987) ressalta que um estudo de caso gera resultados válidos apenas para o contexto em estudo, sem, no entanto, impedir que sejam feitas comparações com situações similares e o desenvolvimento de hipóteses para pesquisas futuras.

Esse estudo irá analisar a composição de carteiras compostas sempre por duas culturas em consórcio, sendo uma delas necessariamente o café, sob a ótica da teoria do portfólio de Markowitz (1952). As culturas, que compõe a amostra desse estudo e são analisadas para consórcio com o café, foram escolhidas de acordo com os dados da Produção agrícola Municipal (IBGE, 2015) da lavoura permanente mineira em 2015, o critério utilizado para a seleção foi o valor total gerado pelo produto em questão, foram escolhidos os seis produtos que mais geraram valor, além do café, conforme a Tabela (1), apresentada abaixo.

Tabela 1: Principais produtos agrícolas mineiros de lavoura permanente.

Produto	Valor	Unidade
Café (em grão) Total - Valor da produção	9.328.563	mil reais
Banana (cacho) - Valor da produção	834.799	mil reais
Laranja - Valor da produção	435.434	mil reais
Manga - Valor da produção	135.045	mil reais
Tangerina - Valor da produção	128.058	mil reais
Limão - Valor da produção	107.025	mil reais
Abacate - Valor da produção	65.690	mil reais

Fonte: Elaboração própria, baseada nos dados do IBGE (2015).

Para o desenvolvimento do estudo foi utilizado o período compreendido entre maio de 2007 a maio de 2017, sendo coletadas informações mensais sobre os preços de comercialização das culturas analisadas na pesquisa. Para os dados dos preços do café foi utilizado o indicador do café arábica do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ). A variedade do café utilizada para o estudo foi o café arábica, dado que essa é a variedade predominante entre os produtores mineiros.

Em relação às demais culturas, as informações sobre os preços no período de análise desse estudo foram obtidas junto a Seção de Informações de Mercado do Ceasa Minas. Cabe destacar que esses produtos possuem diversas variedades que são comercializadas, desse modo na indisponibilidade e inadequação do uso de um preço médio entre todas as variedades, foi escolhida apenas uma variedade de cada cultura da amostra desse estudo, tendo como critério para a escolha a disponibilidade dos dados e a relevância comercial da variedade. Com isso as variedades que compõem o estudo são: Banana Prata; Laranja Pera; Limão Thaiti; Tangerina Ponkan; Abacate Manteiga e Manga Tommy.

De posse dos dados dos preços mensais dessas culturas, foram calculados os retornos em sua forma logarítmica, ou seja, o retorno contínuo. A opção pelo cálculo do retorno contínuo, conforme destacam Soares, Rostagno e Soares (2002) possui implicações teóricas e estatísticas, sendo a mais importante delas o fato de que o uso da forma logarítmica culmina em uma distribuição de frequência simétrica em relação a zero, com resultados que tendem a se aproximar de uma curva de distribuição normal. A fórmula empregada para o cálculo do retorno é descrita abaixo.

$$R_{i,t} = \ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right) \quad (4)$$

Em que, $R_{i,t}$ é a taxa de retorno do produto i no período t ; e P_t e P_{t-1} refletem os preços desse produto nas datas t e $t-1$ respectivamente.

Então, de posse dos retornos, são calculadas a média e o desvio-padrão gerado por cada uma das culturas estudadas no período amostral. Em um segundo passo, também foi calculada a matriz de correlação entre esses produtos, cabe ressaltar que dado o objetivo do estudo o foco recai sobre a correlação apresentada entre o café e os demais produtos agrícolas estudados.

Para a composição das carteiras eficientes foi utilizada a ferramenta solver do software Excel. A formação dos portfólios é desenvolvida obedecendo aos critérios propostos por Markowitz (1952), tal como já destacado no referencial teórico desse trabalho. Gonçalves Junior, Pamplona e Montevechi (2002) ressaltam então os critérios que devem ser empregados nessa ferramenta para a obtenção dos resultados corretos, a função objetivo que se deseja minimizar é o risco do portfólio, tal como exposto na equação 3.

Gonçalves Junior, Pamplona e Montevechi (2002) destacam que essa minimização deve obedecer às restrições de que a participação de cada um dos produtos na carteira seja maior ou igual a zero, e que somadas as participações dos dois produtos seja obtida a unidade, ou seja, 100%. Em relação às variáveis de decisão, nesse procedimento temos: as participações de cada produto na composição da carteira; os retornos individuais dos produtos; o retorno da carteira; o risco da carteira; e as variâncias e covariâncias entre os retornos dos produtos.

Os resultados obtidos com esse procedimento são apresentados e discutidos na próxima seção do trabalho. Ressalta-se que, na análise que se segue as carteiras são comparadas considerando-se apenas os fatores referentes à teoria do portfólio, quais sejam o risco e o retorno das carteiras, sendo avaliada apenas a aplicabilidade e as limitações dessa teoria no contexto proposto. Sendo necessária para uma análise completa também um estudo das condições e viabilidade agrônômica do plantio conjunto das culturas estudadas, no caso de utilizadas em consórcio.

4 Resultados

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos com os diferentes portfólios considerados na pesquisa. Ressalta-se que, nesta análise as carteiras são comparadas considerando-se apenas os fatores referentes à teoria do portfólio.

4.1 Estatística Descritiva

A apresentação dos resultados inicia-se nesta subseção com a exposição e discussão das estatísticas descritivas do estudo. A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva referente aos retornos mensais dos produtos considerados no estudo, calculados a partir dos preços médios mensais ao longo do período de maio de 2007 a maio de 2017.

Tabela 2: Risco e Retorno das Culturas.

Produto	Média	Desvio-Padrão
Café	0,39%	5,60%
Abacate Manteiga	0,57%	23,38%
Banana Prata	0,43%	17,48%
Laranja Pera	0,34%	10,26%
Limão Tahiti	0,98%	31,83%
Manga Tommy	1,08%	20,68%
Tangerina Ponkan	-0,27%	35,69%

Fonte: Elaboração própria.

Pela média dos retornos observa-se que a Manga Tommy foi o produto de maior retorno no período, já a Tangerina Ponkan, com um retorno médio negativo, foi o produto de menor retorno. Em relação ao risco, medido pelo desvio-padrão dos retornos, observa-se que a Tangerina Ponkan apresentou o maior risco dentre os produtos analisados, já o Café apresentou o menor desvio-padrão na amostra, seguido pela Laranja Pera.

A matriz de correlação, apresentada a seguir, na Tabela 3, mostra a associação que se estabelece entre os retornos de duas culturas.

Tabela 3: Matriz de Correlação das Culturas.

	Café	Abacate Manteiga	Banana Prata	Laranja Pera	Limão Tahiti	Manga Tommy	Tang. Ponkan
Café	1	-0,0387	0,1417	0,0635	-0,1053	-0,0812	0,1659
Abacate Manteiga	-0,0387	1	-0,1961	-0,0872	0,1051	-0,5081	0,1720
Banana Prata	0,1417	-0,1961	1	0,1112	-0,4048	-0,0868	0,2201
Laranja Pera	0,0635	-0,0872	0,1112	1	-0,0140	0,1827	0,4382
Limão Tahiti	-0,1053	0,1051	-0,4048	-0,0140	1	0,0844	-0,1424
Manga Tommy	-0,0812	-0,5081	-0,0868	0,1827	0,0844	1	-0,0877
Tang. Ponkan	0,1659	0,1720	0,2201	0,4382	-0,1424	-0,0877	1

Fonte: Elaboração própria.

Quando há uma relação negativa entre os retornos, espera-se que esses se movam em direções contrárias, logo, conforme apresentado pela teoria de Markowitz (1952), culturas com correlação negativa se combinadas por um produtor são capazes de reduzir seu risco total. Dentre as culturas analisadas para o cultivo consorciado ao Café o Abacate Manteiga, o Limão Tahiti e a Manga Tommy apresentaram uma correlação negativa com o Café, sendo assim, tais produtos apresentam maior potencial para se compor em um cultivo juntamente ao café.

Com os resultados da Tabela 2, é possível observar que se o produtor, que assume o papel do investidor nessa análise, tomar sua decisão apenas pautado no retorno irá produzir apenas Manga Tommy. No caso de um produtor de Café, seu retorno esperado mensal é de 0,39%, com um desvio-padrão de 5,60%. Se considerada a possibilidade de o produtor diversificar sua produção, em um cultivo consorciado, com os resultados da Tabela 3, observa-se que existem culturas que são capazes de reduzir o risco total ao qual o produtor se expõe.

4.2 Análise dos Portfólios

De posse dos dados dos retornos e dos riscos das culturas analisadas nesse estudo e da matriz de correlação foram estimados os pesos, retornos e riscos dos portfólios eficientes, calculados sob o prisma da teoria do portfólio de Markowitz (1952) e com o apoio da ferramenta Solver do Microsoft Excel. A Tabela 4 apresenta os dados dos portfólios eficientes calculados, observa-se em todos os casos que é dado um grande peso ao Café, sendo às outras culturas destinadas a um papel secundário.

Tabela 4: Portfólios Eficientes.

	Peso Café	Peso Consórcio	Retorno	Risco
Café e Abacate Manteiga	93,81%	6,19%	0,400%	0,291%
Café e Banana Prata	94,35%	5,65%	0,390%	0,303%
Café e Laranja Pera	78,57%	21,43%	0,377%	0,254%
Café e Limão Tahiti	95,37%	4,63%	0,415%	0,290%
Café e Manga Tommy	91,48%	8,52%	0,447%	0,279%
Café e Tang. Ponkan	100,00%	0,00%	0,388%	0,313%

Fonte: Elaboração Própria.

Dentre os portfólios gerados, é interessante destacar os resultados daqueles formados com as culturas que apresentaram uma correlação negativa com o Café. Quando o produtor se dedicar a produção de Café e Abacate Manteiga o retorno esperado ao mês é 0,40% e o risco de 0,291% no período, no caso da produção conjunta de Café e Limão Tahiti o retorno esperado mensal é de 0,415% e o risco de 0,290% no período, e na produção de Café e Manga Tommy o retorno é de 0,447% e o risco de 0,279% no período.

As carteiras destacadas anteriormente apresentam melhorias significativas para o produtor em relação ao cenário em que ele produz apenas Café e tem um retorno mensal esperado de 0,39%, com um desvio-padrão de 5,6%. Tal resultado mostra que a diversificação da produção é capaz de beneficiar

o produtor rural, com a redução do risco total a que ele se expõe, é importante ressaltar que além desse aspecto, o cultivo do café em consórcio com outra cultura gera reflexos em outras dimensões de interesse do produtor tais como sinergias agronômicas, questão climática, solo e zoneamento agrícola, que fogem do escopo da análise proposta nesse trabalho.

Os resultados obtidos vão em direção aos encontrados por González e González (2005), Oliveira, Souza e Matos (2013) e Barreiros e Protil (2011) de demonstrar que a teoria do portfólio é uma ferramenta que pode ser aplicada em um contexto mais amplo do que apenas nos mercados financeiros, mais especificamente, no caso desse estudo, para produtores de café em Minas Gerais. É importante ressaltar ainda, conforme já mencionado por Robison e Brake (1979), que existem limitações nesse tipo de análise, decorrentes das diferenças existentes entre o contexto dos mercados financeiros e dos produtores rurais e também dos aspectos agronômicos e sociais existentes ao lidar com a produção rural.

5 Considerações Finais

Esse artigo teve como objetivo verificar se a Teoria dos Portfólios de Markowitz (1952) pode ser aplicada no contexto da diversificação da produção de café no Estado de Minas Gerais, com ênfase na observação do impacto dessa análise para o risco e o retorno financeiro do produtor. Por meio de uma otimização, foi possível obter um conjunto de carteiras eficientes considerando-se sempre o café e outra cultura, esta selecionada de um conjunto das culturas mais relevantes no contexto da produção agrícola regional.

Os resultados mostraram que, quando o produtor opta por produzir o café em consórcio com outra cultura, em especial aquelas que apresentaram uma correlação negativa com os retornos do café, há um incremento em seu retorno esperado e, principalmente, uma redução da variabilidade em seus retornos, ou seja, o risco incorrido. Além do benefício financeiro da produção do café consorciado, destaca-se novamente que o produtor também obtém benefícios agronômicos em sua lavoura, decorridos da adoção desta prática.

É importante, no entanto, ressaltar as limitações desse estudo, dado que a análise dedica-se apenas aos aspectos financeiros. O produtor rural insere-se em um contexto altamente complexo e muitas vezes lida com uma restrição de recursos que poderia impedir a aplicação dessa abordagem para a tomada de decisão. Além disso, é preciso considerar os aspectos agronômicos e ambientais decorrentes da prática da cultura do café consorciado, que podem tanto amplificar os seus benefícios, como também inviabilizar sua adoção. Dado o que foi exposto acima, para estudos futuros sugere-se a aplicação da Teoria dos Portfólios no setor cafeeiro considerando-se uma análise mais ampla, que incorpore os aspectos agronômicos e até mesmo modificações necessárias no modelo de Markowitz (1952) para torna-lo mais adequado a esse contexto.

Referências

ARAÚJO, A. C.; MONTINI, A. A. Análise de métricas de risco na otimização de portfólios de ações. **Revista de Administração**, v. 50, n. 2, p. 208-228, 2015.

ASSAF NETO, A. **Mercado financeiro**. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

BARABACH, G. C.; SILVA, C. E. A eficiente diversificação comercial do café arábica: uma abordagem a partir da moderna teoria de carteiras. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), 48, Campo Grande. **Anais eletrônicos...** Brasília: SOBER, 2010. Disponível em: < <http://www.sober.org.br/palestra/15/986.pdf>>.

BUHR, B. Vertical diversification in the pork industry: a portfolio theory approach. **Agricultural Finance Review**, v. 62, n. 2, p. 163-177, 2002.

CARDOSO, I. M.; SOUZA, H. N.; BONFIM, V. R.; SOUTO, R. L.; OLIVEIRA, G. B. Experimentação participativa com sistemas agroflorestais por agricultores familiares: espécies arbóreas utilizadas. In: Congresso Brasileiro de Extensão Universitária, 2, 2004. **Anais eletrônicos...**, Belo Horizonte, 2004. Disponível em: < <https://www.ufmg.br/congrent/Meio/Meio34.pdf>>.

DILL, R. P.; SOUZA, F. C.; BORBA, J. A. Uma proposta de um modelo de otimização do portfólio para as culturas de verão. **Custos e @gronegócio on-line**, v. 6, n. 3, p. 90-111, 2010.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP). **Indicadores CEI - PIB trimestral de Minas Gerais**. Disponível em: <<http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/pib/pib-trimestrais/695-pib-4o-trimestre-de-2016/file>>.

GONÇALVES JÚNIOR, C.; PAMPLONA, E. O.; MONTEVECHI, J. A. Seleção de carteiras através do modelo de Markowitz para pequenos investidores (com o uso de planilhas eletrônicas). In: SIMPEP, 9, Bauru, **Anais eletrônicos...** Bauru: UNESP, 2002. Disponível em: < http://www.rodrigofernandez.com.br/ecom/ref/excel_markowitz.pdf>.

GONZÁLEZ, A. V.; GONZÁLEZ, N. E. Aplicando matemáticas de portafolio en la selección de cultivos en hortalizas como una estrategia de diversificación de riesgo de mercado para una “pyme” agrícola. **Revista mexicana de agronegocios**, v. 9, n. 17, 2005.

IBGE. **Produção agrícola municipal: Culturas temporárias e permanentes**. Brasil, Rio de Janeiro, v. 42, 2015. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/pesquisa/15/11863?ano=2015> >.

KNOKE, T.; PAUL, C.; HÄRTL, F.; CASTRO, L. M.; CALVAS, B.; HILDEBRANDT, P. Optimizing agricultural land-use portfolios with scarce data: a non-stochastic model. **Ecological Economics**, v. 120, p. 250-259, 2015.

MARKOWITZ, H. M. Portfolio selection. **The Journal of Finance**, v. 7, n. 1, p. 77-91, 1952.

MARKOWITZ, H. M. **Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments**. New Haven: Yale University Press, 1959.

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. Disponível em: < http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/home/publicacoes/agrometeorologia_dos_cultivos.pdf>.

MOREIRA, V. R.; BARREIROS, R. F.; PROTIL, R. M. Portfólio de produção agropecuária e gestão de riscos de mercado nas cooperativas do agronegócio paranaense. **Revista de Administração**, v. 46, n. 4, p. 325-341, 2011.

MOREIRA, V. R.; SOUZA, A.; DUCLÓS, L. C. Avaliação de Retornos e Riscos na Comercialização de Milho: estudo de caso usando Value-at-Risk. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 52, n. 02, p. 303-322, 2014.

OLIVEIRA, A. M. B.; SOUZA, B. S. G.; MATOS, J. G. Diversificação de risco e retorno via teoria do portfólio das frutas comercializadas no Mercado Produtor de Juazeiro-BA. In: Simpósio de Engenharia de Produção da Região Nordeste, 8, 2013. **Anais eletrônicos...**, Juazeiro do Norte, 2013. Disponível em: < https://www.academia.edu/4026690/Diversifica%C3%A7%C3%A3o_de_risco_e_retorno_via_teor%C3%B3lio_das_frutas_comercializadas_no_Mercado_Produtor_de_Juazeiro-BA>.

PERDONÁ, M. J.; SORATTO, R. P.; ESPERANCINI, M. S. T. Desempenho produtivo e econômico do consórcio de cafeeiro arábica e noqueira-macadâmia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 12-23, 2015.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; GALLO, P. B. Radiação solar e saldo de radiação em cultivo de café

a pleno sol e consorciado com banana 'prata anã'. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 485-497, 2005.

PEZZOPANE, J. R. M.; MARSETTI, M. M. S.; FERRARI, W. R.; PEZZOPANE, J. E. M. Alterações microclimáticas em cultivo de café conilon arborizado com coqueiro-anão-verde. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 865-871, 2011.

RICCI, M. S. F.; COSTA, J. R.; PINTO, A. N.; SANTOS, V. L. S. Cultivo orgânico do café (*Coffea arabica*) nos sistemas a pleno sol e sombreado. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 1, 2007.

ROBISON, L. J.; BRAKE, J. R. Application of portfolio theory to farmer and lender behavior. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 61, n. 1, p. 158-164, 1979.

SOARES, R. O.; ROSTAGNO, L. M.; SOARES, K. T. C. Estudo de evento: o método e as formas de cálculo do retorno anormal. In: Encontro Nacional da ANPAD (ENANPAD), 2002, Salvador. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: ENANPAD, 2002. Disponível em: < <http://www.anpad.org.br/admin/pdf/enanpad2002-fin-1440.pdf>>.

TRIVIÑOS, A. N. S. Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.