

Avanços na mecanização do cafeeiro conilon

Gustavo Soares de Souza¹, Samuel de Assis Silva², Julião Soares de Souza Lima³, Abraão Carlos Verdin Filho⁴, Maurício Blanco Infantini⁵, César Abel Krohling⁶

Resumo - Um dos principais problemas enfrentados no cultivo de café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) é a falta de mão de obra no campo. Parte significativa das lavouras no Estado do Espírito Santo está em áreas com topografia declivosa, o que dificulta o uso de máquinas agrícolas. A mecanização agrícola tem sido apontada como uma alternativa viável para garantir a viabilidade técnica e econômica do cultivo de café conilon em áreas aptas. Alguns estudos apontam o potencial de uso de novas tecnologias (agricultura de precisão) na melhoria do manejo da lavoura. O objetivo deste trabalho é apresentar novas tendências para o manejo mecanizado do cafeeiro conilon como alternativa para a melhoria de coeficientes técnicos e econômicos, tornando a atividade mais sustentável e competitiva.

Palavras-chave: Tratores agrícolas; Automotriz; Agricultura de precisão; *Coffea canephora*.

Advances in the mechanization of conilon coffee

Abstract - One of the main problems facing the cultivation of conilon coffee (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) is local manpower shortage. A significant part of coffee plantations in the State of Espírito Santo, Brazil, is located in steep areas, where agricultural machines are difficult to be used. Agricultural mechanization has been pointed out as a viable alternative that can ensure the technical and economic viability of conilon coffee cultivation. Some studies reveal that the potential of the use of new technologies (precision agriculture) can improve coffee crop management. The objective of this article is to present new trends for mechanized management of conilon coffee as an alternative to the improvement of technical and economic coefficients, making the activity more sustainable and competitive.

Keywords: Agricultural tractors. Mechanized harvesting. Precision agriculture. *Coffea canephora*.

INTRODUÇÃO

O café é uma das principais commodities agrícolas do mercado mundial, sendo o Brasil o maior produtor e exportador e o segundo maior consumidor. A cultura apresenta importante papel socioeconômico, com uma produção de 45 milhões de sacas e área estimada em 2,2 milhões de hectares, com destaque para Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia e Paraná (CARVALHO et al., 2018).

Um dos principais problemas enfrentados pela cafeicultura brasileira é a falta de mão de obra no campo (SOUZA et al., 2017). Essa escassez nas regiões produtoras tem forçado os cafeicultores a buscar trabalhadores em regiões distantes, o que eleva o custo de produção e o risco da atividade (ALVES et al., 2017). Nas áreas de café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) no Espírito Santo, a baixa oferta de mão de obra em algumas regiões tem

¹ Engenheiro Agrônomo, D.Sc Engenharia Agrícola, Pesquisador do Incaper, gustavo.souza@incaper.es.gov.br

² Engenheiro Agrônomo, D.Sc Engenharia Agrícola, Prof.do Deptº de Engenharia Rural UFES / CCAE / DER. Alegre-ES.

³ Engenheiro Agrícola, D.Sc Ciência Florestal Prof.do Deptº de Engenharia Rural UFES / CCAE / DER. Alegre-ES.

⁴ Administrador Rural, M.Sc. Produção Vegetal, Pesquisador do Incaper. F.E. Marilândia, Marilândia ES

⁵ Engenheiro Mecânico, M.Sc Engenharia Mecânica, 3CNH Industrial. Sorocaba-SP.

⁶ Engenheiro Agrônomo, D.Sc.. Ecologia Vegetal, Pesquisador do Incaper

onerado os custos e limitado a exploração da cultura nos períodos de maior demanda, principalmente na época da colheita (SOUZA et al., 2017, 2018).

Com a falta de mão de obra, muitos cafeicultores precisam antecipar a colheita, recolhendo os frutos com menos de 80% de maturação (FERRÃO et al., 2012), garantindo que toda a área seja colhida. Contudo, a colheita de frutos verdes reduz o rendimento e prejudica a qualidade sensorial da bebida (SOUZA et al., 2017), desvalorizando o produto e gerando prejuízos ao cafeicultor.

Parte significativa das lavouras de café conilon no Estado do Espírito Santo está em área declivosa, principalmente nas regiões sul, central e noroeste. As lavouras cafeeiras em áreas declivosas dificultam a mecanização agrícola, com o uso de equipamentos tratorizados, fator importante para a redução dos custos nos tratamentos culturais e na colheita (MATIELLO et al., 2015). Assim, desenvolver alternativas para áreas declivosas é uma necessidade atual para a manutenção da cafeicultura de montanha, permitindo que essas áreas sejam trabalhadas com maior eficiência, o que resulta em cafés com preços competitivos nos mercados consumidores e contribui para a permanência do homem no campo.

A mecanização agrícola tem sido apontada como uma alternativa para garantir a viabilidade técnica e econômica do cultivo de café conilon (SOUZA et al., 2018). Ao se mecanizar, as etapas do processo produtivo são realizadas com maior capacidade operacional e menor custo de produção, minimizando as incertezas e a dependência da mão de obra (OLIVEIRA et al., 2007; SANTINATO et al., 2015). Além disso, um conjunto de tecnologias denominadas de agricultura de precisão (AP) apresenta potencial de uso e melhoria do manejo das lavouras, a partir do uso de grids amostrais, sensores, satélites, veículos aéreos não tripulados, máquinas precisas, entre outras.

O objetivo deste trabalho é apresentar novas tendências para o manejo mecanizado do cafeeiro conilon como alternativa para a melhoria de coeficientes técnicos e econômicos, tornando a atividade mais sustentável e competitiva.

SULCAMENTO MECANIZADO DO SOLO

O sulcamento do solo é uma das principais atividades envolvidas no preparo mecanizado do solo em plantios de café conilon. Essa atividade é muito comum em áreas planas no norte do Espírito Santo, devido ao baixo custo unitário (Tabela 1), sendo realizadas com sulcadores e/ou subsoladores tracionados por tratores agrícolas, em profundidades que variam de 30 a 100 cm. De acordo com estudo de campo, o sistema mecanizado reduziu em 83% o custo da abertura de cova em relação ao método manual. O sulcamento substitui a abertura de covas e visa criar condições físicas no solo para um desenvolvimento radicular vigoroso, permitindo que as plantas expressem ao máximo seu vigor produtivo. Contudo, o preparo do solo tem sido um desafio constante em lavouras de conilon em áreas íngremes com declividade superior a 30%. Dessa forma, as covas de plantio são abertas manualmente ou utilizando um perfurador de solo (“broca”), devido à limitação ao tráfego de tratores agrícolas, em nível, no terreno.

Em área com topografia declivosa, uma alternativa é o uso de escavadoras hidráulicas com rodado de esteira com um subsolador adaptado no braço hidráulico-mecânico (Figura 1). A máquina movimentase no sentido da declividade do terreno (subindo e descendo), e os sulcos são abertos em nível com comprimento médio de 10 m, com profundidade que varia de 60 a 80 cm e no espaçamento entrelinhas pré-definido (LANI et al., 2017).

O uso de escavadoras hidráulicas com rodado de esteira em áreas declivosas tem crescido sistematicamente devido ao aumento na capacidade operacional no coveamento, estabilidade de tráfego, qualidade do preparo e redução dos custos na implantação de lavouras (Tabela 1). De acordo com estudo realizado, o custo do sistema mecanizado é 57% menor em relação à abertura manual das covas para o transplantio. Além disso, essa operação cria regiões preferenciais para a infiltração de água no solo, minimizando o processo erosivo e contribuindo para a conservação do solo (LANI et al., 2017).



Figura 1. Escavadora hidráulica com rodado de esteira e subsolador adaptado no braço hidráulico-mecânico abrindo os sulcos para o plantio de café conilon em terreno declivoso no noroeste do Espírito Santo.

Fonte: A.C. Verdin Filho.

Tabela 1. Dados operacionais do coveamento e sulcamento do solo em lavouras de café conilon determinados na safra 2013/14 no noroeste do Espírito Santo

Operação	Equipamento	Rendimento (cova dia ⁻¹)	Custo (R\$ h ⁻¹)	Custo Unitário (R\$ cova ⁻¹)
Manual	Enxada	150-200	-	0,60
Semimecanizada	Perfurador de solo	600-800	-	0,60
Mecanizada	Subsolador	6000-8000	100,00-120,00	0,10
Mecanizada	Escavadeira	4000-5000	120,00-140,00	0,26

Fonte: A.C. Verdin Filho (dados não publicados).

MICROTERRACEAMENTO DA LAVOURA

O uso de microterraceamento tem sido uma alternativa interessante para intensificar a mecanização do cafeeiro em áreas inclinadas e com isso reduzir os custos de produção (ALVES et al., 2017; MATIELLO, 2015). Essa técnica tem crescido no cultivo de café arábica, mas também apresenta potencial de uso nas áreas declivosas cultivadas com cafeeiros conilon. Recentemente a equipe da Fazenda Experimental de Marilândia/Incaper instalou uma unidade de observação de microterraceamento das entrelinhas dos cafeeiros conilon (Figura 2).

O microterraceamento consiste em fazer a movimentação de terra (corte e aterro) em curva de



Figura 2. Lavoura de café conilon microterraceada instalada em abril de 2018 na Fazenda Experimental de Marilândia / Incaper.

Fonte: A.C. Verdin Filho.

nível ou em contorno em áreas declivosas, criando uma estrada estreita e plana nas entrelinhas dos cafeeiros. Os microterraços podem ser construídos em lavouras já instaladas ou antes do transplântio (MATIELLO et al., 2015), em todas as entrelinhas ou a cada duas ou três linhas de plantas, de acordo com o interesse do proprietário e sua capacidade de investimento. Os principais métodos de construção de microterraços em cafezais são apresentados na Tabela 2, conforme Matiello (2015) e Matiello et al. (2015).

Os microterraços devem ser construídos com distância mínima de 0,5 m em relação às linhas de cultivo, evitando danos mecânicos ao sistema radicular das plantas e com largura variando de 1,3 a 1,5 m (MATIELLO et al., 2015), visando ao tráfego de máquinas. De acordo com Matiello (2015), em cafeeiros já instalados tem sido recomendado sua construção em lavouras com espaçamento entrelinhas de 2,5 m ou superior.

Os microterraços permitem a movimentação de microtratores, tratores de bitola estreita e outros veículos motores ajustados à largura do patamar. Os principais tratos culturais realizados serão pulverizações, adubações, controle de plantas daninhas e transporte da produção (MATIELLO, 2015), diminuindo significativamente a dependência de mão de obra e o custo de produção. Mesmo em áreas onde se deseja manter os tratos culturais de forma manual, os microterraços podem aumentar o rendimento do trabalho, devido à facilidade de movimentação dos trabalhadores dentro da lavoura.

Apesar do elevado investimento inicial, a utilização dos microterraços nas lavouras mostra-se viável, ao longo dos anos, na análise de indicadores econômicos (ALVES et al., 2017). A redução dos custos de produção no sistema mecanizado com microterraços aumenta a competitividade da cafeicultura de montanha, mesmo em períodos de preços baixos.

Do ponto de vista ambiental, os terraços reduzem o processo erosivo e conseqüentemente as perdas de solo, água e nutrientes e favorecem a infiltração de água no solo (BERTONI; e LOMBARDI NETO, 2005; VILLATORO-SÁNCHEZ et al., 2015). A cafeicultura é a atividade agrícola com maior percentual de áreas degradadas no Espírito Santo com 22% dos 118.706 ha cultivados (BARRETO; e SARTORI, 2012). Assim, o uso do microterraçamento poderia contribuir para minimizar esse processo de degradação do solo, aliando benefícios agrônômicos e ambientais ao cafeeiro conilon, tornando a atividade mais sustentável.

COLHEITA MECANIZADA

A colheita mecanizada do cafeeiro conilon tem sido considerada uma necessidade atual por muitos cafeicultores. Atualmente no Estado do Espírito Santo, sistemas semimecanizados que realizam a colheita do café conilon têm sido utilizados, com parte das atividades executadas pelas máquinas e parte de forma manual.

O método semimecanizado mais usado é o de recolhedoras com lona, descrito em Souza et al.

Tabela 2. Sistemas de construção de microterraços em lavouras cafeeiras

Máquinas e Operações	Capacidade operacional	Custo (R\$)
Tratores com lâmina traseira operando de marcha-à-ré	30 a 40 h ha ⁻¹	3.000,00 a 4.000,00
Miniescavadora com rodado de esteira e lâmina dianteira	35 a 40 h ha ⁻¹	3.500,00 a 5.000,00
Tratores com rodado de esteira e bitola estreita, com lâmina dianteira	15 a 20 h ha ⁻¹	2.000,00 a 2.700,00
Tração animal utilizando arado de aiveca e lâmina niveladora	4 dias ha ⁻¹	600,00

Fonte: Adaptado de Matiello (2015) e Matiello et al. (2015).

(2017). Nesse método, cobre-se o solo com lonas abaixo da copa das plantas nas entrelinhas, nos dois lados de cada linha de cultivo, de forma a receber os ramos plagiotrópicos (com os frutos aderidos) após a poda e também os frutos derrichados manualmente dos ramos novos (Figura 3). Os ramos plagiotrópicos são cortados quando apresentam 70% de seu comprimento com frutos (VERDIN FILHO et al., 2014).



Figura 3. Recolhedora de lona tracionada e acionada por trator na safra 2016/17 em Governador Lindenberg-ES.

Fonte: G.S. de Souza

As recolhedoras são tracionadas pela barra de tração do trator com mecanismos de trilha acionados pela TDP (540 rpm) e apresentam um dispositivo hidráulico (controle remoto) que puxa e enrola a lona, alimentando o sistema de trilha. Essas máquinas apresentam capacidade operacional de 1,0 a 2,8 ha dia⁻¹ e uma eficiência de colheita de 98% (SOUZA et al., 2017).

O sistema de recolhimento por lona utiliza de 9 a 18 pessoas nas atividades de poda, derricha, recolhimento, transporte e aberturas de lonas, deslocamento das máquinas e, dependendo da versão, ensacamento dos frutos. Assim, considerando uma média de 8 horas de trabalho por dia em uma lavoura com produtividade de 70 sacas (60kg) ha⁻¹ e uma média de colheita manual de 15 sacos (80 L) pessoa⁻¹ dia⁻¹, essas máquinas apresentam um potencial de redução de 64% da mão de obra. Essa eficiência aumenta com o aumento do tempo de recolhimento e o número de

trabalhadores envolvidos. Dessa forma, a atividade de recolhimento acaba sendo limitada, em alguns casos, pela necessidade de derricha, distribuição e abertura de lonas e movimentação do conjunto trator-recolhedora pelos mesmos funcionários que realizam o recolhimento, reduzindo a eficiência do conjunto mecanizado.

Outro sistema semimecanizado utiliza máquinas trilhadoras, que consiste no corte manual dos ramos ortotrópicos (planta completa), seguido do transporte manual para o sistema de trilha, que separa os frutos dos galhos, folhas e impurezas da colheita (Figura 4), descrito também em Souza et al. (2017). Esse sistema é mais utilizado na renovação de lavouras, após a quarta colheita, em lavouras manejadas com a poda programada de ciclo (VERDIN FILHO et al., 2014).



Figura 4. Trilhadora de café conilon tracionada e acionada por trator na safra 2013/14 em Pinheiros-ES.

Fonte: G.S. de Souza.

As máquinas trilhadoras apresentam capacidade operacional de 1,6 a 3,2 ha dia⁻¹, e eficiência de colheita de 98% (SOUZA et al., 2017). Esse sistema utiliza de 5 a 9 pessoas nas atividades de corte dos ramos ortotrópicos, transporte destas hastes e deslocamento das máquinas. Considerando as mesmas características de lavoura e serviços descritos anteriormente, essas máquinas apresentam um potencial de redução de 79% da mão de obra. Essa eficiência aumenta principalmente em função do número de trabalhadores envolvidos.

Os sistemas semimecanizados são alternativas para reduzir a dependência de mão de obra e garantir a colheita do cafeeiro conilon em regiões com menor disponibilidade de trabalhadores. Contudo, ainda dependem de uma quantidade mínima de trabalhadores realizando diversas atividades junto às máquinas.

Os sistemas mecanizados com colhedoras automotrizes estão sendo testados, desde 2014, no Estado para a colheita do cafeeiro conilon (SOUZA et al., 2017). As máquinas mais promissoras utilizam hastes vibradoras que realizam a derriça, limpeza e transporte dos frutos (Figura 5). Essas máquinas apresentam capacidade operacional de 2,4 a 3,84 ha dia⁻¹, com uma eficiência de derriça de 85-97% e perdas médias de 12% (SOUZA et al., 2017). Esse sistema utiliza apenas três operadores, sendo um na colhedora e dois nos transbordos.



Figura 5. Colhedora automotriz de varetas vibratórias testada em lavouras de café conilon na safra 2016/17 em Governador Lindenberg-ES.

Fonte: G.S. de Souza.

A colheita com máquinas derriçadoras automotrizes ainda está em fase de testes e apresentam potencial de melhoria dos indicadores técnicos em função do aprimoramento do manejo e da seleção de materiais genéticos mais adaptados (SOUZA et al., 2017; 2018). Considerando uma média de 8 horas de trabalho de uma colhedora em lavouras com produtividade média de 70 sacas ha⁻¹, a ausência de recolhimento de solo e uma média de colheita manual de 15 sacos pessoa⁻¹ dia⁻¹, essas máquinas apresentam um

potencial de redução de 94% da mão de obra. Em alguns casos pode ser viável o recolhimento do café do solo, como realizado no cafeeiro arábica, o que dependerá do preço do café, percentual de fruto no solo e custo do recolhimento.

Uma característica que influencia na eficiência de derriça é a força de desprendimento do fruto. Neste contexto, foi medida a força de desprendimento de quatro variedades de café conilon na safra 2016/17 na Fazenda Experimental Bananal do Norte / Incaper (Figura 6). A força de desprendimento dos frutos de café conilon variou de 2,45 a 6,01 N para Robusta Tropical, de 2,99 a 5,28 N para Jequitibá, de 3,02 a 5,28 N para Diamante e de 2,87 a 5,72 N para Centenária, nos diferentes estádios de maturação e períodos em estudo. Esses valores foram similares aos observados em café arábica (SILVA et al., 2010, 2016).

A força de desprendimento dos frutos de café conilon reduziu com o aumento do estágio de maturação, tanto para a variedade seminal, quanto para as variedades clonais. Maior diferença na força de desprendimento entre frutos verdes e cerejas ocorreu para a variedade Centenário (2,79 N), seguido pela Robusta Tropical (2,38 N), Jequitibá (2,29 N) e Diamante (1,85 N) nos períodos em estudo. Quanto maior essa diferença, maior será o potencial de sucesso da colheita seletiva (SILVA et al., 2010; SOUZA et al., 2017). Esses resultados indicam a possibilidade de mecanização da operação de colheita do cafeeiro conilon com o uso de máquinas derriçadoras.

AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura de precisão (AP) é uma vertente da tecnologia agrícola que, baseada na variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas, objetiva manejar de forma precisa e localizada as lavouras agrícolas. Distinguindo-se de métodos convencionais, em AP busca-se não somente a determinação dos valores para uma variável e ou atributo, mas também sua posição no espaço-tempo.

Devido ao seu caráter abrangente, a AP engloba um conjunto de ferramentas e métodos tecnológicos

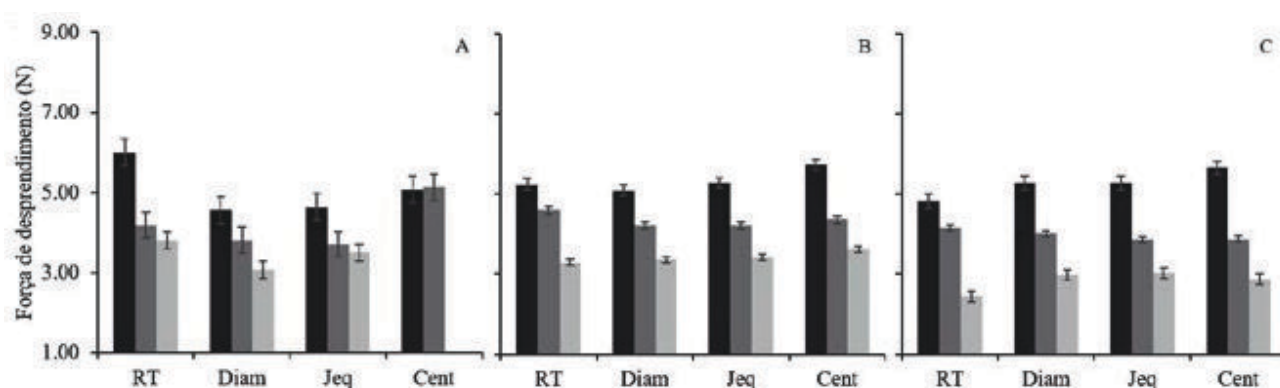


Figura 6. Força de desprendimento de frutos de café conilon das variedades Robusta Tropical (RT), Diamante (Diam), Jequitibá (Jeq) e Centenária (Cent) avaliados nos estádio de maturação verde (■), verde cana (▒) e cereja (□), nos dias 4 de maio (A), 29 de maio (B) e 9 de junho de 2017 (C) na FEBN/Incapcer. Barras representam o erro padrão da média.

Fonte: G.S. de Souza (dados não publicados).

para o gerenciamento dos campos de produção. Por se utilizar de diferentes plataformas de levantamento de dados (grids amostrais, sensores, satélites, veículos aéreos não tripulados, máquinas precisas etc.), os conceitos de AP podem ser utilizados em qualquer cultura agrícola e ou condição de cultivo, havendo apenas a necessidade da escolha adequada do método e das ferramentas mais efetivas.

Na cafeicultura, diversos estudos têm sido realizados para a adoção da AP, buscando desenvolver tecnologias que atendam às particularidades dos cultivos de café, bem como as diversidades de áreas e regiões onde essa cultura está inserida. Em regiões planas, onde as máquinas agrícolas são utilizadas em todas as etapas do processo produtivo, os avanços têm sido mais expressivos, haja vista a indissociabilidade, em alguns casos, da mecanização e a AP.

Em áreas onde a colheita é mecanizada, mapas de produtividade das culturas são gerados instantaneamente no campo de produção pelas colhedoras automotrizes, que dispõem de eletrônica embarcada. Estes mapas de produtividade são utilizados na etapa inicial de um ciclo de AP por permitirem a identificação de variações ao longo dos campos de produção, as quais podem estar associadas a aspectos agrônômicos importantes para os manejos.

Em áreas inclinadas (café de montanha), onde a topografia é um fator limitante à estabilidade lateral

das máquinas, a AP tem se baseado no mapeamento de atributos de solo e planta e no uso de sensores proximais e de contato. Recentemente, tem crescido o uso de sensoriamento remoto aéreo e orbital, possibilitando o mapeamento do comportamento das plantas através de métodos indiretos, não destrutivos e que fornecem respostas rápidas (em alguns casos em tempo real) para a tomada de decisão em manejos localizados.

Os atributos de solo (químicos e físicos) e planta (produtividade e estado nutricional) têm sido as variáveis mais utilizadas em AP para o gerenciamento das áreas agrícolas, em especial para a cafeicultura de montanha. Oliveira et al. (2008), em trabalho inédito no Brasil, mapearam a produtividade de cafeeiros conilon propagados por semente, relacionando os valores com mapas de atributos químicos e físicos do solo e do estado nutricional das plantas. Os autores propuseram métodos precisos para a recomendação de adubações a taxas variáveis e calcularam percentuais de erro (déficit e excesso) na aplicação de corretivos e fertilizantes (Figura 7) recomendados por métodos convencionais (adubação pela média).

Assim como liveira et al. (2008), diversos autores têm estudado e apresentado resultados confiáveis acerca do mapeamento de atributos em cafeicultura de montanha. Silva e Lima (2014) utilizaram o

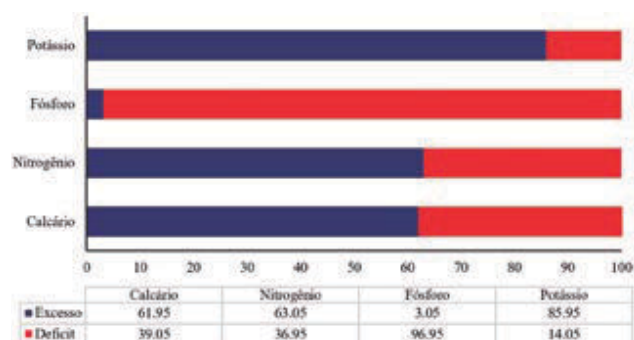


Figura 7. Diferença percentual (excesso e déficit) entre a recomendação pelo método convencional e a análise espacial do potássio, do fósforo, do nitrogênio e da necessidade de calcário para uma área de produção de café conilon.

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2008).

comportamento espacial do fósforo remanescente (P-rem) para recomendar adubações foliares fosfatadas para a cultura do café conilon. Lima et al. (2016) mapearam, durante três safras, a relação espacial entre a produtividade e o número de ramos ortotrópicos para o café conilon, apontando a necessidade de considerar a variabilidade espacial para a indicação de podas. Fonseca et al. (2018), utilizando lógica fuzzy, estudaram a variabilidade espacial e temporal da qualidade da bebida do café conilon em duas safras, concluindo que, dentro da mesma área, os frutos apresentam perfis sensoriais distintos com elevada estabilidade temporal.

O mapeamento de atributos de solo e planta aumenta de forma significativa a eficiência das práticas de manejo; entretanto, devido ao grande número de amostras a serem coletadas e analisadas, pode inviabilizar a adoção de AP em distintas áreas, haja vista o custo elevado associado a essa prática. Uma alternativa é a utilização de sensores que permitem estimativas precisas de alguns desses atributos com custos reduzidos e grande densidade amostral.

Em AP, diversos sensores têm permitido diferentes níveis de coleta e de detalhamento. Para atributos de solo, por exemplo, os sensores que determinam a condutividade elétrica aparente (CEa) (Figura 8) têm sido utilizados para auxiliar a recomendação de

manejos localizados. Por estimar a disponibilidade de sais em solução, esse tipo de sensor permite realizar inferências sobre a fertilidade dos solos.



Figura 8. Condutímetro tratorizado (a - Veris) e portátil (b - LandMapper) utilizados para determinação da condutividade elétrica aparente do solo.

Fonte: Stara (a) e os autores (b).

A CEa é uma ferramenta precisa para explicar a variabilidade das propriedades físicas e químicas dos solos e da produtividade agrícola, pois interage com distintos componentes do solo (dotados de cargas elétricas), refletindo em diferentes níveis dos seus valores (LUND et al., 1998). A CEa apresenta elevada correlação com diferentes atributos do solo (Figura 9), em diversas áreas agrícolas e condições de cultivo.

Dada sua ampla aplicação, a CEa tem sido utilizada para a geração de zonas de manejo para recomendação de fertilizantes e corretivos em agricultura. As zonas de manejo podem ser entendidas como subáreas dentro de um campo de produção que apresentam semelhanças para atributos de solo e planta e que podem ser manejadas de forma “homogênea”.

Ao utilizar zonas de manejo, as amostragens (de solo, por exemplo) podem ser feitas dentro de cada classe, reduzindo o custo em AP, assegurando eficiência e precisão das práticas de manejo. O delineamento de zonas de manejo consiste inicialmente em: a) escolha das variáveis a serem utilizadas – deve-se optar pela produtividade e por aquelas que apresentam baixa variação espaço-temporal; b) amostragem em alta densidade e

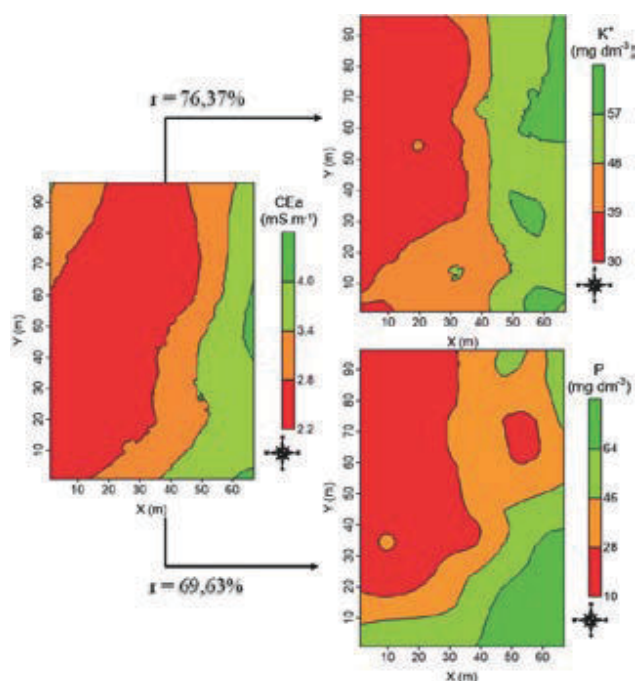


Figura 9. Mapas temáticos e relação espacial entre a condutividade elétrica aparente do solo (CEa) e os atributos químicos fósforo (P) e potássio (K⁺).

Fonte: S.A. Silva (dados não publicados).

determinação da variabilidade espacial de cada atributo; c) agrupamentos de dados através de modelos fuzzy; d) determinação do número ótimo de classes, e; d) validação das zonas de manejo.

A utilização de zonas de manejo é a forma mais prática de implementação direta de AP em áreas mecanizáveis e principalmente naquelas onde a mecanização é inviável. Em cafeicultura, a divisão de lavouras em talhões homogêneos já representa um avanço em práticas de manejo.

Além das ferramentas listadas acima, tem ganhado cada vez mais espaço em estudos e aplicações práticas em AP a utilização de sensores ópticos embarcado em veículo aéreo não tripulado (VANT). Em AP, os VANT têm uma ampla gama de aplicações, dependendo do tipo e sensibilidade dos sensores. Com sensores mais simples (RGB) é possível a identificação de falhas de cultivo, contagem de plantas, avaliações de estresses

sintomáticos em plantas. Sensores que capturam informações em um espectro eletromagnético mais amplo (infravermelho, por exemplo) permitem a identificação do vigor vegetativo das plantas, bem como distúrbios celulares que podem ser associados à ação de agentes bióticos e abióticos.

Após o levantamento de campo (voo e obtenção de imagens), é necessária a construção do mosaico ortorretificado, o qual será utilizado para extração das informações de interesse. Se realizada de forma correta, os produtos dos VANT podem oferecer poderosas informações para a gestão da cafeicultura. Na Figura 10 são apresentados alguns exemplos de produtos do processamento das imagens obtidas com sensores embarcados em VANT.

Além da identificação visual de falhas e distribuição das linhas de cultivo, é possível estabelecer a porcentagem de área coberta pelos cafeeiros (63%) e por outros eventos (37%, entrelinhas, outros cultivos, sombras etc.). Tão ou mais importante que as informações anteriores é a possibilidade de inferir sobre o estado vegetativo das plantas (através de índices de vegetação que relacionam diferentes bandas espectrais). Quanto mais próximo da unidade for o valor do índice, mais vigorosas são as plantas e, em uma análise direta, é de se esperar que estas tenham maior capacidade produtiva. É válido ressaltar que, devido ao porte arbustivo dos cafeeiros, essas análises devem ser consideradas (ainda) como auxiliares, haja vista que a visão exclusiva da copa (terço superior) pode não refletir de forma fidedigna todo o estado do dossel.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cafeicultura do *Coffea canephora* capixaba e brasileira passa por transformações no sistema produtivo, com foco na intensificação da mecanização agrícola. Dessa forma, o uso de máquinas agrícolas é a solução para a baixa disponibilidade de mão de obra em algumas regiões, baixo rendimento operacional, insegurança da colheita e pode contribuir de forma significativa na redução do custo de produção e melhoria da qualidade dos grãos.

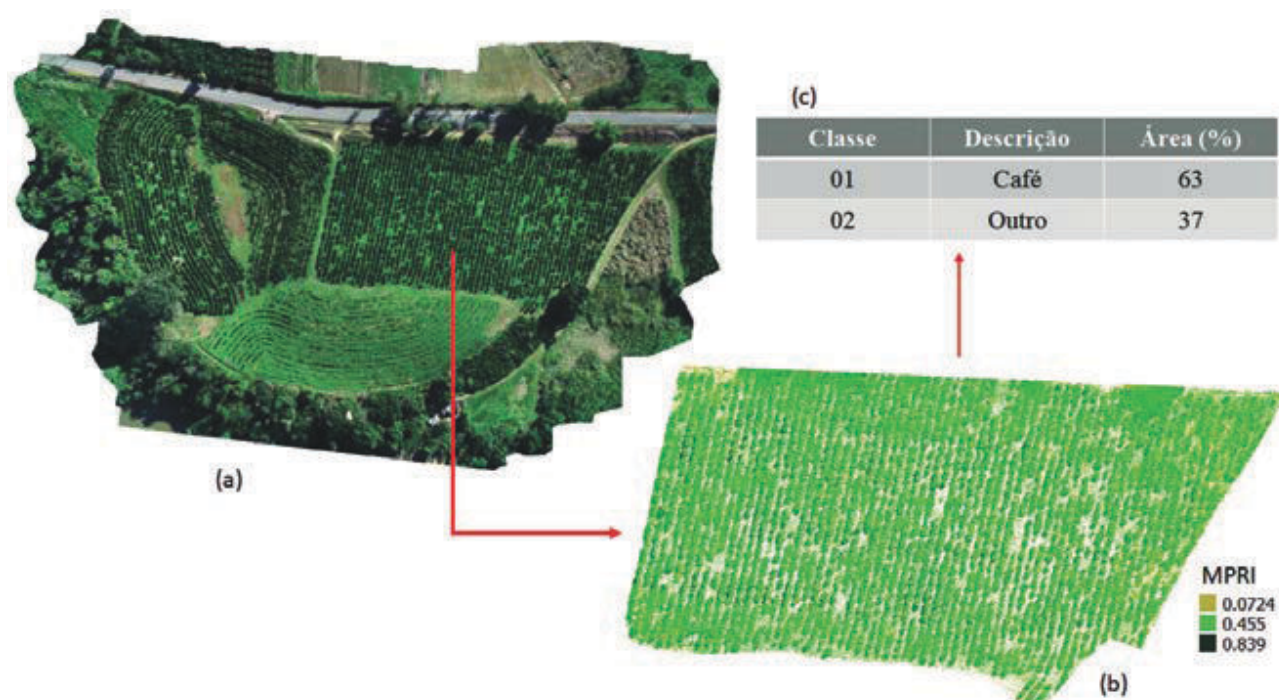


Figura 10. Mosaico ortorretificado de uma lavoura de cafeeiro conilon (a); Índice de refletância fotoquímica modificado (MPRI) para os cafeeiros após recorte, filtragem e classificação da imagem para extração dos objetos de interesse (b); Porcentagem de área de cada classe de ocorrência na imagem de interesse (c).

Fonte: S.A. Silva (dados não publicados).

Independentemente da ferramenta utilizada, a AP pode oferecer celeridade e maior precisão na tomada de decisão e redução das incertezas associadas ao cultivo de café. Além disso, é possível estabelecer mecanismos de automação para recomendação de práticas de manejo com base em parâmetros bem definidos.

A mecanização agrícola e a AP não serão capazes de substituir, na sua totalidade, as atividades manuais envolvidas na produção do café conilon, mesmo em áreas com topografia favorável, como no norte do Espírito Santo, em função dos interesses de parte dos cafeicultores, acesso às tecnologias, disponibilidade de recursos financeiros e aptidão agrícola.

AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Pesquisa Café e a FAPES pelo financiamento dos projetos de pesquisa que contribuíram para esta publicação.

REFERÊNCIAS

- ALVES, E.L.; PEREIRA, F.A.C.; DALCHIAVON, F.C. Potencial econômico da utilização de micro-terraceamento em lavouras de café: um estudo de caso. *Revista iPecege*, v. 3, n. 1, p. 24-38, 2017.
- BARRETO, P.; SARTORI, M. **Levantamento de áreas agrícolas Degradadas no Estado do Espírito Santo**. Vitória: CEDAGRO/SEAG-ES, 2012. 63p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**, 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005. 355p.
- CARVALHO, C. DE; SANTOS, C.E. DOS; TREICHEL, M.; FILTER, C.S. **Anuário brasileiro do café 2018**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2018. 96p.
- FERRÃO, R. G. et al. **Café Conilon: Técnicas de Produção com variedades melhoradas**. 4. ed. Vitória, ES: Incaper, 2012. 74p. (Incaper. Circular Técnica, 03-1).
- FONSECA, A. S.; LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A. Use of the Integrated diagnosis and recommendation system and sufficiency band for nutritional status of conilon coffee. *Journal of Experimental Agriculture International*, v. 23, n. 1, p.1-10, 2018.

- LANI, J.A. et al. Preparo, manejo e conservação do solo em lavouras de café conilon. In: FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, M.A.G; DEMUNER, L.H. (Eds.). **Café conilon**, 2. ed. Vitória-ES: Incaper, 2017. p. 303-325.
- LIMA, J. S. S. et al. Spatial and temporal variability of the productivity of *Coffee canephora*. **Coffee Science**, v. 9, n. 3, p. 400-407, 2014.
- LUND, E.D. et al. Applying soil electrical conductivity technology to precision agriculture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4rd, 1998. **Anais...** St. Paul, p. 1089-1100. 1998.
- MATIELLO, J.B. Micro-terraceamento em cafezais de montanha, com uso de tração animal. **Revista do Café**, n.94, 853, p.30-32, 2015.
- MATIELLO, J.B.et al. Modos de fazer micro-terraços em cafezais de montanha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 41., 2015. **Anais...** CBPC: Poços de Caldas, MG, 2015. p.338.
- OLIVEIRA, E.et al. Custos operacionais da colheita mecanizada do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 827-831, 2007.
- OLIVEIRA, R.B.et al. Comparação entre métodos de amostragem do solo para recomendação de calagem e adubação do cafeeiro conilon. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 1, p.176-186. 2008.
- SANTINATO, F.et al. Análise econômica da colheita mecanizada do café utilizando repetidas operações da colhedora. **Coffee Science**, v. 10, n. 3, p. 402-411, 2015.
- SILVA, F.et al. Comportamento da força de desprendimento dos frutos de cafeeiros ao longo do período de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.2, p.468-474, 2010.
- SILVA, F.C. et al. Correlação da força de desprendimento dos frutos em cafeeiros sob diferentes condições nutricionais. **Coffee Science**, v.11, n.2, p.169-179, 2016.
- SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S.; Spatial estimation of foliar phosphorus in different species of the genus *Coffea* based on soil properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1439-1447. 2014a.
- SOUZA, G.S.; LANI, J.A.; INFANTINI, M.B. Colheita possível. **Cultivar Máquinas**, v.16, n.184, p.30-32, 2018.
- SOUZA, G.S.et al. Colheita mecanizada do café conilon. In: FERRÃO, R.G; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, M.A.; DE MUNER, L.H. (ed.). **Café conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2017. p. 509-530.
- VERDIN FILHO, A.C.et al. Conilon coffee yield using the programmed pruning cycle and different cultivation densities. **Coffee Science**, v.9, n.4, p.489-494, 2014.
- VILLATORO-SÁNCHEZ, M. et al. Temporal dynamics of runoff and soil loss on a plot scale under a coffee plantation on steep soil (Ultisol), Costa Rica. **Journal of Hydrology**, v.523, n.4, p.409-426, 2015.