

CAPÍTULO 5

Recomendação de adubação e calagem

Henrique de Sá Paye

Fábio Luiz Partelli

André Guarçoni Martins

Evair Antônio Siebeneichler

1. Introdução

A cafeicultura moderna almeja o aumento da produtividade da lavoura, buscando, concomitantemente, estratégias de manejo com maior eficiência que possam permitir a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade. A utilização racional de insumos na produção agrícola é imprescindível nesse cenário, principalmente em um mercado cada vez mais exigente, tanto na qualidade do produto, quanto no que se refere ao comprometimento dos produtores às boas práticas de cultivo. Nesse contexto, tornam-se cada vez mais necessárias, pesquisas voltadas para nutrição adequada das plantas, contribuindo assim para tornar a atividade cafeeira cada vez mais competitiva, pelo aumento da produtividade.

O uso de fertilizantes minerais constitui uma parcela considerável dos custos de produção de café, fato que torna cada vez mais intensa a necessidade de monitoramento do estado nutricional das lavouras, mediante análise química do solo e das folhas, com vistas a recomendações de adubações mais

equilibradas e economicamente mais ajustadas. Portanto, o ajuste de recomendação de fertilizantes com base na demanda nutricional e o parcelamento de acordo com o estágio fenológico do cafeeiro conilon vêm preencher uma lacuna da cafeicultura capixaba, quanto aos programas de adubação e ao manejo de fertilizantes em lavouras de café conilon, sejam elas de sequeiro, irrigadas ou fertirrigadas.

2. Amostragem de solo

Dentro do processo produtivo do café, a recomendação de corretivos e fertilizantes é de suma importância para que as plantas expressem todo o seu potencial definido geneticamente. Assim, para que as recomendações atinjam seu objetivo, ou seja, aumento de produção com adequado aproveitamento de insumos, o conhecimento da fertilidade operacional do solo é essencial para o suprimento de nutrientes nas quantidades certas, considerando os diferentes estágios de desenvolvimento das plantas (GUARÇONI, 2016).

A análise química é um dos métodos mais rápidos e mais baratos para se avaliar a fertilidade dos solos, sendo seu primeiro e, provavelmente, um dos principais componentes, a amostragem. Vale ressaltar que as análises laboratoriais expressam os teores contidos na amostra de solo, sendo esta representativa ou não. Portanto, as amostras de solo devem representar, com exatidão, a área que será corrigida e, ou, adubada, de forma que o processo de nutrição das plantas seja o mais eficiente e econômico possível (ALVAREZ V.; GUARÇONI, 2003).

Uma amostragem malfeita pode gerar prejuízos econômicos e ambientais, uma vez que as doses de corretivos e fertilizantes são calculadas com base nos resultados laboratoriais.

A uniformidade da área é de extrema importância para a amostragem do solo. Por isso, a área de cultivo deve ser subdividida em glebas ou talhões homogêneos. Para que esta subdivisão seja bem-feita, cada gleba deve apresentar a mesma posição topográfica (topo de morro, meia encosta,

baixada, etc.), a mesma vegetação, as mesmas características perceptíveis do solo (cor, textura, condição de drenagem, etc.) e o mesmo histórico de cultivo (cultura, uso de corretivos e fertilizantes, etc.) (CANTARUTTI et al., 2007).

De acordo com a distribuição horizontal das características químicas nos solos, pode-se trabalhar com dois sistemas de amostragem e formas de recomendação de corretivos e fertilizantes.

Caso distribuição das características químicas seja ao acaso, sem uma tendência, trabalha-se com a amostragem aleatória e a recomendação de correção e adubação deve ser baseada na fertilidade média, determinada em uma amostra composta por talhão homogêneo, sendo esta formada por definido número de amostras simples (CLINE, 1944; UPCHURCH; EDMONDS, 1991; BRUS; GRUIJTER, 1997; CANTARUTTI et al., 2007).

Se, por outro lado, as características químicas do solo apresentam dependência espacial, variando de forma contínua e não aleatória, deve-se trabalhar com a amostragem sistemática, gerando mapas de fertilidade, e a recomendação de correção do solo e adubação das culturas deve ser em taxa variável (BURROUGH, 1991; CHERUBIN et al., 2014).

Avaliando diversos trabalhos sobre sistemas de amostragem, Guarçoni, et al. (2017) recomendam que, dentro de talhões homogêneos sejam coletadas amostras simples, de forma aleatória, para determinação da fertilidade média, enquanto em áreas maiores, compreendendo diversos talhões homogêneos, deve-se utilizar a amostragem sistemática e os mapas de fertilidade, caso ocorra dependência espacial nos valores das características químicas avaliadas.

Na formação do cafezal deve-se coletar o número de amostras simples necessário, de acordo com o diâmetro do trado ou com a largura da fatia retirada com enxadão (

Tabela 1), para cada um dos talhões homogêneos selecionados, em zig-zag, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, de forma a cobrir toda a área da

gleba. As amostras de 20-40 cm devem ser retiradas no mesmo orifício ou trincheira aberto para a coleta das amostras de 0-20 cm. Neste caso, serão obtidas apenas duas amostras compostas por talhão homogêneo (GUARÇONI, 2016).

No café em produção deve-se coletar o número de amostras simples necessário, de acordo com o diâmetro do trado ou com a largura da fatia retirada com enxadão (Tabela 2), para cada um dos talhões homogêneos selecionados, em zig-zag, sob a copa dos cafeeiros (uma amostra por planta), de forma a cobrir todo o talhão homogêneo. Porém, apenas na profundidade de 0-20 cm. Será formada, dessa forma, uma amostra composta por talhão homogêneo. Esta amostragem deve ser realizada todos os anos, normalmente entre maio e julho. No entanto, de acordo com o nível tecnológico e com as particularidades de cada região, pode-se realizar a amostragem em outra época ou, ainda, mais de uma amostragem por ano (GUARÇONI, 2016).

A cada três anos, utilizando-se os mesmos princípios descritos acima, deve-se coletar, também, amostras simples na profundidade de 20–40 cm. Estas amostras são retiradas nos mesmos locais utilizados para a coleta de amostras de 0–20 cm de profundidade. Nesse caso, serão enviadas, ao laboratório, uma amostra composta de 0–20 e uma de 20–40 cm de profundidade, por talhão homogêneo (GUARÇONI, 2016).

3. Amostragem foliar

Existe relação bem definida entre crescimento, produtividade das culturas e teor de nutrientes no tecido vegetal, ou seja, seu status nutricional. A parte da planta geralmente utilizada para o diagnóstico nutricional é a folha, uma vez que reflete bem as mudanças nutricionais, por ser a sede do metabolismo e por ser o principal local para onde são transportados os nutrientes absorvidos pelas raízes (MARTINEZ et al., 2000). Apesar de Paye et al. (2018) terem demonstrado a boa opção de se utilizar a seiva das plantas

como fração adequada para análise, visando adequado diagnóstico nutricional, a folha ainda é a fração mais frequentemente coletada e analisada.

Da mesma forma que na amostragem de solo, para a amostragem foliar deve-se dividir a área em talhões homogêneos, ou seja, subárea com a mesma declividade (topo de morro, meia encosta, baixada, etc.), as mesmas características perceptíveis do solo (cor, textura, condição de drenagem, etc.), o mesmo manejo (uso de corretivos, fertilizantes, etc.) e com plantas de mesma variedade e idade. Além disso, na coleta, deve-se fazer o caminhar em zig-zag, visando representar toda a área do talhão homogêneo. Para os cafés conilon e arábica a forma de amostragem foliar mais utilizada é apresentada na Tabela 3.

A época de amostragem foliar pode variar de acordo com a finalidade da avaliação nutricional que se pretende fazer. Importante é que o método pelo qual irá se avaliar o estado nutricional das plantas contenha normas ou valores de referência para a mesma época de amostragem. Isso é muito importante, pois as normas ou valores de referência mudam de acordo com a fase fenológica da planta na qual se realiza a amostragem foliar, como ficou claro pelo trabalho de Partelli et al. (2016) realizado para o café conilon (Tabela 4). Portanto, não adianta utilizar uma tabela com valores de referência para a fase de chumbinho e fazer a amostragem foliar na pré-florada ou na granação.

Deve-se evitar a coleta de amostras foliares logo após a aplicação de fertilizantes via solo ou foliar, bem como de qualquer defensivo, devendo-se esperar 30 dias, aproximadamente, para realizar a amostragem. Deve-se evitar, também, a coleta após intensos períodos de chuva.

O trabalho torna-se mais eficiente quando a amostra foliar é acondicionada em saco de papel e enviada ao laboratório de análises no mesmo dia. Na impossibilidade desse procedimento, é aconselhável que as folhas sejam lavadas com água corrente e enxaguadas com água filtrada, acondicionadas em sacos de papel e postas para secar ao sol. Além disso, é

imprescindível que as amostras sejam identificadas adequadamente antes do envio ao laboratório.

4. Calagem

Nos Estados que mais produzem café no Brasil, os principais métodos utilizados para o cálculo da necessidade de calagem são dois: método da elevação da Saturação por Bases do solo e método da neutralização do Al^{3+} e elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} . Estes métodos são baseados em conceitos distintos, mas amplamente aceitos e utilizados (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013).

O método da Saturação de Bases visa elevar a saturação por bases do solo até valores pré-estabelecidos para diversas culturas. Em consequência, há aumento do pH, mas sem a possibilidade de se estimar até que valor, exceto se for utilizada uma equação que relacione o pH e saturação por bases do solo. Entretanto, essas equações são extremamente variáveis, e dependentes do tipo de solo, como apresentado e discutido por Guarçoni (2017). Este método utiliza para cálculo a saturação por bases do solo (V_a), a saturação por bases que se deseja atingir para determinada cultura (V_e) e a CTC a pH 7 (T), sendo estas características do solo combinadas da seguinte forma (RAIJ, 1983):

$$NC = T (V_a - V_e)/100$$

onde:

NC = necessidade de calagem, aplicada em área total e incorporado até 20 cm de profundidade (t/ha);

T = CTC potencial a pH 7 ($cmol_c/dm^3$);

V_a = saturação por bases revelada na análise de solo (%);

V_e = saturação por bases ideal para a cultura (%).

Este é um importante método de cálculo da necessidade de calagem, tendo apresentado algumas vantagens sobre o método da neutralização do Al^{3+} e elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , como relatado por Guarçoni e Sobreira

(2017). Contudo, para esses mesmos autores, o método da saturação por bases pode gerar doses insuficientes de calcário para suprir as plantas com Ca e Mg, caso a T do solo seja baixa.

O método da neutralização do Al^{3+} e elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , visa, como o próprio nome diz, neutralizar o Al^{3+} presente no solo e, ainda, fornecer Ca e Mg de acordo com a necessidade da cultura. Para Alvarez V. e Ribeiro (1999), a necessidade de calagem não está relacionada somente com o pH do solo, mas também com a sua capacidade tampão e a sua capacidade de troca de cátions. Solos mais tamponados necessitam de mais calcário para aumentar seu pH do que os menos tamponados. A capacidade tampão, nesse caso, relaciona-se diretamente com os teores de argila e de matéria orgânica no solo, bem como com o tipo de argila, mais ou menos ativa.

Por isso, inicialmente, a necessidade de calagem utilizando esse método era calculada considerando apenas um fator que expressasse a necessidade da cultura em Ca e Mg (X) e um fator que iria corrigir os efeitos da capacidade tampão do solo (Y) (CFSEMG, 1989), cuja fórmula de cálculo original era:

$$\text{NC} = \text{Y} \times \text{Al}^{3+} + \text{X} - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$$

onde:

Y = fator variável de acordo com a capacidade tampão do solo, medida pelo teor de argila ou pelo valor do Fósforo Remanescente (P-rem). Y pode variar de 0 a 4, proporcionalmente à capacidade tampão do solo;

Al^{3+} = acidez trocável do solo ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$);

X = necessidade da planta em $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. Para o café, comumente se utiliza 3,5;

$(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ = somatório dos teores de Ca e Mg trocáveis do solo.

Como as culturas apresentam distintas tolerâncias em relação à atividade de Al^{3+} , Alvarez V. e Ribeiro (1999) propuseram acrescentar outro fator na fórmula de cálculo: a saturação por alumínio (acidez trocável) tolerada pela cultura (mt). Gerando então a seguinte fórmula de cálculo:

$$NC = Y \times [Al^{3+} - (mt \times t/100)] + X - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

onde os novos fatores são:

mt = saturação por alumínio tolerada pela cultura. Para o café utiliza-se comumente 25;

t = CTC efetiva do solo (cmol_c/dm³).

Para Guarçoni e Sobreira (2017), o novo método proposto por Alvarez V. e Ribeiro (1999) ficou mais equilibrado do que o anterior, mas ainda assim seria capaz de recomendar doses acima das adequadas em algumas situações, especialmente em solos arenosos.

Visando reduzir os casos de não suprimento de Ca e Mg quando for utilizado o método da Saturação por Bases, e de supercalagem, ao se utilizar o método da neutralização de Al³⁺ e elevação dos teores de Ca²⁺ + Mg²⁺, Guarçoni e Sobreira (2017) propuseram a utilização de um algoritmo que utiliza os princípios benéficos de ambos os métodos, sendo denominado de “Método da saturação por bases com garantia de suprimento de Ca e Mg”.

Nesse mesmo sentido, Guarçoni (2017), trabalhando especificamente com o café, propôs que os valores da saturação por bases esperada (Ve), no método da saturação por bases, seja variável de acordo com a CTC pH 7,0 do solo, visando aproximar o pH dos solos de 6,0, o que não era sempre obtido com a Ve fixa proposta originalmente. Além disso, o suprimento de Ca e Mg via calagem seria adequado em maior número de casos, seguindo a proposta do autor de utilizar a Ve variável, de acordo com os valores apresentados na Tabela 5.

De posse da dose da NC, basta calcular a quantidade de calcário a ser aplicada. Nesse caso, deve-se lembrar que a aplicação em cobertura pressupõe uma ação do calcário até 10 cm de profundidade, devendo então ser reduzida a dose pela metade. Além disso, a correção da dose em relação ao PRNT do calcário é sempre necessária, devendo-se multiplicar a NC pelo fator (100/PRNT).

Caso a aplicação seja em cova, a quantidade de calcário deve ser estabelecida para o volume da cova, utilizando a fórmula:

$$QCc = NC \times Volc / 2 \times 100 / PRNT$$

onde:

QCc = quantidade de calcário a ser aplicada na cova de plantio (g/cova);

Volc = volume da cova (dm³);

NC = necessidade de calagem calculada previamente (t/ha);

PRNT = poder relativo de neutralização total do calcário (%)

Se a aplicação for em sulco, multiplicar QCc por 2,5.

Para o plantio do café, recomenda-se um calcário de maior reatividade (maior PRNT). Para o café em produção, recomenda-se a utilização de um calcário de menor reatividade, que por sua vez irá apresentar um maior efeito residual. Em ambos os casos, será necessária, geralmente, aplicação de um calcário dolomítico, com no mínimo 12 % de MgO (GUARÇONI, 2016).

5. Exigências nutricionais do cafeeiro conilon

Os genótipos de cafeeiros ‘Conilon’, cultivados nos plantios comerciais, destacam-se pelo seu elevado potencial produtivo e pela alta exigência nutricional. Essas exigências são notadamente maiores quando as plantas estão em fase de florescimento, formação e enchimento dos frutos.

A recomendação de adubação para café conilon, baseada na diagnose da fertilidade do solo e na produtividade esperada, tem sido amplamente utilizada em diversos estados do país e no Espírito Santo (Tabela 6). Contudo, a mera interpretação dos teores de nutrientes organizados em classes de fertilidade se mostra insuficiente para a avaliação da sua disponibilidade e nível de suficiência, pelo fato de não se considerar diferenças existentes nos sistemas de produção (adensamento, realização de irrigação ou fertirrigação), na demanda nutricional (acúmulo + exportação de nutrientes), no ciclo do genótipo (maturação precoce, intermediária ou tardia) e as perdas de

nutrientes do sistema (volatilização, adsorção, lixiviação, erosão, etc.), sendo recomendada de forma geral, devendo ser ajustada com auxílio de análise foliar.

A “marcha de absorção de nutrientes” ou “curva de crescimento e acúmulo de nutrientes” estuda a relação existente entre a quantidade de nutrientes, o acúmulo de matéria seca e a idade da planta, permitindo identificar, a) quantidade de nutrientes necessários para a produção; b) época de maior exigência de cada nutriente; c) em qual órgão cada nutriente se encontra em maior quantidade; d) o quanto é exportado pela colheita e o quanto será necessário repor ao solo para não exauri-lo (MARSCHNER, 1995). A partir dessas essas informações é possível ajustar a quantidade, a relação e a proporção de cada nutriente, em função do estágio fenológico e da produtividade. Portanto, as Tabelas 6, 7 e 8 trazem importantes informações para auxiliar o ajuste de adubação e o manejo de fertilizantes nas lavouras de café conilon no ES, com base na demanda nutricional.

Um aspecto a ser considerado na nutrição de plantas é que as necessidades de elementos minerais mudam ao longo do crescimento e do desenvolvimento. Em plantas cultivadas, os níveis de nutrientes em determinados estádios de crescimento influenciam a produtividade de órgãos economicamente importantes (tubérculos, grãos e frutos). Dessa forma, para otimizar as produções, os produtores devem analisar os níveis de nutrientes não somente no solo, mas também no tecido vegetal, a fim de determinar o calendário de fertilizações (PAIVA; OLIVEIRA, 2006).

No caso específico de cafeeiros conilon, a fase de crescimento vegetativo ocorre concomitantemente com a fase de produção de frutos, por isso, há forte demanda por nutrientes entre as partes vegetativas e as reprodutivas.

O trabalho de Bragança (2005) sugere que grande parte dos nutrientes são alocados para os frutos (Figura 1). Ao considerar um ciclo produtivo (um ano), nota-se que 45% do acumulado na planta, em forma de matéria seca,

estão nos frutos, formados em menos de um ano. Também deve se considerar que, as demais partes das plantas, como raízes e troncos, já tinham acumulado parte da matéria seca nos anos anteriores. Portanto, pode se sugerir que há maior necessidade no ano para formação dos frutos, podendo ser superior a 50%, no caso apresentado.

As épocas de aplicação da adubação de produção são: floração (agosto/setembro); fase de chumbinho (novembro/dezembro) e granação (fevereiro/março) (PREZOTTI et al., 2007).

O conhecimento das épocas de maturação dos frutos de café é fundamental para o planejamento agrícola, visando à previsão de safra, qualidade e também comercialização (BARDIN-CAMPAROTTO et al., 2012). Para predição de tais épocas, tem-se estabelecido o termo “ciclo de maturação”, que se refere ao tempo compreendido entre o florescimento e a maturação dos frutos. Os ciclos de maturação podem variar de acordo com as condições climáticas e/ou genótipo de cafeeiro cultivado (PEZZOPANE et al., 2003; PETEK et al., 2009).

Além da diferenciação do ciclo, a extensão de cada uma das fases do ciclo também é variável (LAVIOLA et al., 2008) e pode exercer influência sobre as taxas de acúmulo de matéria seca e de nutrientes nos frutos (LAVIOLA et al., 2007ab). Associado a isso, o período de formação de frutos coincide com o período de maior crescimento vegetativo: setembro a maio (PARTELLI et al., 2010), portanto, é maior a demanda por nutrientes. Assim, o conhecimento da dinâmica de formação dos frutos é importante para o estabelecimento dos períodos de maior exigência nutricional e a para definição das melhores estratégias de fertilização da lavoura (Tabela 9, 10).

A nutrição de plantas tem relação estreita com a fertilidade do solo, com fertilizantes e corretivos e com o manejo nutricional das culturas. Por isso, a realização do balanço dos nutrientes com base apenas na dose, a partir da diferença entre a entrada e a saída de nutrientes, pode ser utilizada como indicador de sustentabilidade do sistema de produção e da eficiência de uso

dos nutrientes (DECHERT, 2005). Para o ajuste de doses de nutrientes, com base no balanço nutricional, pode ser utilizada a equação geral de adubação:

$$\text{Dose do nutriente} = \frac{\text{Demanda da planta} - \text{Suprimento pelo solo}}{\text{Eficiência de aproveitamento}}$$

A eficiência de aproveitamento de nutrientes é variável e dependente de fatores ligados à planta, ao solo, ao clima, ao manejo e a fonte de nutrientes (tipo de fertilizante). Por isso, a dose estimada precisa ser corrigida em função da eficiência de acúmulo na parte aérea da planta, a partir do nutriente aplicado como fertilizante no solo. Para transformar a dose estimada em dose corrigida, usa-se um fator de eficiência. Observa-se que em sistema de sequeiro necessitam ser utilizados 2 vezes mais N, 3,3 vezes mais P₂O₅ e 1,4 vezes mais K₂O para garantir a adequada nutrição das plantas (Tabela 9). Em sistemas irrigados a eficiência de aproveitamento de nutrientes aumenta, sendo ainda maior em sistemas de irrigação localizados (Tabela 9).

A fertirrigação é uma tecnologia de aplicação simultânea de fertilizantes e água, através de um sistema de irrigação. Para Burt et al. (1995) esse é o método mais eficiente e econômico de aplicação de fertilizantes, especialmente quando aplicado fracionado e próximo a região de maior volume radicular das plantas. Esses mesmos autores, afirmam que, comparando a aplicação de fertilizantes via fertirrigação por gotejamento e a aplicação de fertilizantes com o método convencional (diretamente no solo), há uma economia de 20 a 50 % de fertilizantes quando se utiliza a fertirrigação, confirmando maior eficiência de aproveitamento de nutrientes por esse método de adubação. Threadgill (1985) relatou que a aplicação de fertilizantes associada com outros insumos agrícolas (fungicidas, inseticidas, entre outros), chega a reduzir os custos em comparação com o sistema convencional em torno de 33%.

A fertirrigação permite alterações rápidas e precisas na quantidade de nutrientes aplicados e no posicionamento dos mesmos, conforme o estágio

fenológico da cultura e a profundidade do sistema radicular. Portanto, a fertirrigação permite manter a disponibilidade de água e nutrientes próxima dos valores considerados ótimos ao crescimento e à produtividade da cultura. Para isso, a quantidade de nutrientes, deve ser parcelada e ajustar-se às necessidades da cultura ao longo das fases de desenvolvimento (Tabela 10).

Para se chegar à quantidade mensal de fertilizantes para satisfazer as necessidades nutricionais da cultura basta dividir o total mensal de cada nutriente pelo teor percentual do nutriente na fonte selecionada. Durante essa etapa, é comum adicionar mais de um tipo de fertilizante para atender a demanda das plantas em relação a cada nutriente. Para isso, antes de se fazer as misturas deve-se observar a compatibilidade (Figura 2) e a solubilidade dos mesmos, que é dado no rótulo dos produtos, para evitar problemas de precipitação e dissolução. Além disso, a concentração final de sais dissolvidos na solução nutritiva que chega ao gotejador não deve ultrapassar 2 g/L (cerca de 3,0 mS/cm), principalmente quando a fertirrigação é feita utilizando sistemas de irrigação por gotejamento, pois pode ocasionar a obstrução de gotejadores. Podemos simplificar o controle da quantidade de sais dissolvidos fazendo o controle da condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva na saída dos emissores.

O monitoramento da CE e dos íons dissolvidos na solução do solo também são indispensáveis para o manejo da fertirrigação, por possibilitar, de forma rápida, ajustes necessários na quantidade e no tipo de fertilizantes aplicados, evitando alterações indesejáveis das quantidades de sais e do potencial hidrogeniônico e da solução do solo. Esse monitoramento pode ser realizado por meio de amostragens de solo para obtenção do extrato de saturação ou por meio da solução do solo, extraída por extratores de cápsula porosa. A frequência de coleta é variável e não há um tempo determinado para se medir pH, a CE e os nutrientes disponíveis na solução do solo. Logicamente, quanto mais frequente forem essas medidas, mais rapidamente são identificáveis problemas como faltas ou excessos de nutrientes,

lixiviações, pH e CE fora dos intervalos desejados. Para café conilon em fase de formação, sugere-se que a CE deva ficar entre 0,7 a 1,5 mS/cm, enquanto lavouras em produção admite-se uma CE de até 2,5 mS/cm, para lavouras de alta produtividade, sendo mais adequado próximo de 2,0 mS/cm.

A aplicação dos fertilizantes em lavouras cafeeiras pode ser feita mecanicamente (com adubadeiras), manualmente (aplicando-se com as mãos) ou através da fertirrigação. Em todos os modos de aplicação, a regra de grande importância a ser observada é a aplicação do fertilizante de forma mais espalhada, buscando-se abranger os dois lados da linha de cafeeiros e o local com o maior volume de raízes por volume de solo.

Covre et al. (2015) estudaram o sistema radicular de plantas de café conilon e concluíram que o desenvolvimento do sistema radicular se altera com a adoção da fertirrigação, bem como com o posicionamento e o espaçamento entre os emissores. Segundo esses mesmos autores, plantas de conilon não irrigadas apresentaram maior área superficial, comprimento e volume de raízes por volume de solo, bem como distribuição de raízes menos discrepante na superfície do solo e em profundidade, em comparação às plantas irrigadas (Figura 3). Esse comportamento sugere que não há necessidade de localizar fertilizantes próximos ao tronco das plantas de café e que esses podem ser aplicados espalhados em toda a região da “saia do café”. Por outro lado, o sistema de irrigação localizado por gotejamento promove maior distribuição de raízes na zona compreendida pelo bulbo úmido da irrigação. Isso sugere que em sistemas onde não há formação de uma faixa contínua de umidade, as raízes ficam restritas uma pequena região do solo, mais próximo da linha de gotejadores e se distribuem pouco no sentido da entrelinha (Figura 3). Esse comportamento sugere que a adubação seja feita localizada, na região do bulbo húmido, mais próximo do tronco das plantas.

6. Referências

- ALVAREZ V., V.H.; GUARÇONI, A. Variabilidade horizontal da fertilidade do solo de uma unidade de amostragem em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 297-310, 2003.
- ALVAREZ V., V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. cap. 8, p. 43-60.
- BRUS, D.J.; GRUIJTER, J.J. Random sampling or geostatistical modelling? Choosing between design-based and model-based sampling strategies for soil. **Geoderma**, v. 80, n. 2, p. 1-44, 1997.
- BURROUGH, P.A. Sampling designs for quantifying map unit composition. In: MUSBACH, M.J.; WILDING, L.P. (Eds.). **Spatial variabilities of soil and landforms**. Madison: SSSA, p. 89-126, 1991. Special Publication (Nº 28).
- BARDIN-CAMPAROTTO, L.; CAMARGO, M.B.P.; MORAES, J.F.L. Época provável de maturação para diferentes cultivares de café arábica para o Estado de São Paulo. **Ciência Rural**, v.42, n.4, p.594-599. 2012.
- Bragança, S.M.; Lani, J.A., De-Muner, L.H. **Café conilon: adubação e calagem**. Vitória: INCAPER, 2001, 31p. (Circular Técnica n. 01)
- BRAGANÇA, S.M. **Crescimento e acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro Conilon (*Coffea canephora* Pierre)**. Tese de Doutorado em Fitotecnia. UFV. Viçosa - MG, 2005, 99p.
- BURT, C. O.; CONNOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: Califórnia Polytechnic State University, 1995. 295p.
- CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F.; MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.F. **Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. XIII. p. 769-850.
- CFSEMG: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. 1989. **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 4ª aproximação**. Lavras, MG. 159p.
- CHERUBIN, M.R.; SANTI, A.L.; EITELWEIN, M.T.; MENEGOL, D.R.; ROS, C.O.; PIAS, O.H.C.; BERGHETTI, J. Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 425-432, 2014.
- CLINE, M.G. **Principles of soil sampling**. **Soil Science**, v. 58, p. 275-288, 1944.
- COVRE, A.M. ; Partelli, F.L.; GONTIJO, I. ; ZUCOLOTO, M. . Distribuição do sistema radicular de cafeeiro conilon irrigado e não irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 11, p. 1006-1016, 2015.
- COVRE, A.M.; CANAL, L.; PARTELLI, F. L.; ALEXANDRE, R. S.; FERREIRA, A.; VIEIRA, H. D. . Development of clonal seedlings of promising Conilon coffee

- (*Coffea canephora*) genotypes. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, p. 385-392, 2016.
- DECHERT, G.; VELDKAMP, E.; BRUMME, R. Are partial nutrient balances suitable to evaluate nutrient sustainability of land use systems? Results from a case study in Central Sula wesi, Indonesia. In: **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 72, p. 201-212, 2005
- GUARÇONI, A.; ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; CANTARUTTI, R.B.; LEITE, H.G.; FREIRE, F.M. Diâmetro de trado necessário à coleta de amostras num Cambissolo sob plantio direto ou sob plantio convencional antes ou depois da aração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 947-959, 2007.
- GUARÇONI, A. **Reflexões sobre nutrição e adubação do cafeeiro**. Curitiba: Editora Prismas, 2016. 167p.
- GUARÇONI, A.; SOBREIRA, F.M. Classical methods and calculation algorithms for determining lime requirements. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-11, 2017.
- GUARÇONI, A.; ALVAREZ V., V.H.; SOBREIRA, F.M. Fundamentação teórica dos sistemas de amostragem de solo de acordo com a variabilidade de características químicas. **Terra Lationoamericana**, v. 35, n. 4, p. 343-352, 2017.
- LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SALOMÃO, L.C.C.; CRUZ, C.D.; MENDONÇA, S.M. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1451-1462, 2007a.
- LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SALOMÃO, L.C.C.; CRUZ, C.D.; MENDONÇA, S.M.; ROSADO, L.D.S. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em duas altitudes de cultivo: micronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1439-1449, 2007b.
- LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SALOMÃO, L.C.C.; CRUZ, C.D.; MENDONÇA, S.M.; ROSADO, L. Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. **Bioscience Journal**, v.24, p.19-31, 2008.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995, 889p.
- MARRÉ, W.B; PARTELLI, F.L; ESPINDULA, M.C.; DIAS, J.R.F.; GONTIJO, I. ; VIEIRA, H.D. Micronutrient accumulation in conilon coffee berries with different maturation cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1456-1462, 2015.
- MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R.B.; ALVAREZ V., V.H.; MENEZES, J.F.S.; OLIVEIRA, J.A.; GUIMARÃES, P.G.; ALVARENGA, A.P.; FONTES, P.C.R. Avaliação da fertilidade do solo, padrões para diagnose foliar e potencial de resposta à adubação de lavouras cafeeiras de Minas Gerais. In: ZAMBOLIN, L. (Ed.). **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2000. P. 209-238.

- Montag UJ. **Fertigation in Israel**. Publishing in IFA, Agricultural Conference on Managing Plant Nutrition, Barcelona: 1999.
- PAIVA, R.; OLIVEIRA, L.M. **Fisiologia e produção vegetal**. Lavras: Editora UFLA, 2006, 104p.
- PARTELLI, F.L.; VIEIRA, H.D.; SILVA, M.G. RAMALHO, J.C. Seasonal vegetative growth of different age branches of conilon coffee tree. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, n.3, p.619-626, 2010.
- PARTELLI, F.L.; MARRÉ, W.B.; FALQUETO, A.F. VIEIRA, H.D.; CAVATTI, P.C. Seasonal vegetative growth in genotypes of *Coffea canephora*, as related to climatic factors. **Journal of Agricultural Science**, v.5, n.8, 2013.
- PARTELLI, F.L.; ESPINDULA, M.C.; MARRÉ, W.B.; VIEIRA, H.D. Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of Conilon coffee with different ripening cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.214-222, 2014.
- PARTELLI, F.L.; GOMES, W.R.; OLIVEIRA, M.G.; DIAS, J.R.M.; ESPINDULA, M.C. Normas foliares e diagnóstico nutricional do cafeeiro conilon na pré-florada e granação, no Espírito Santo. **Coffee Science**, v. 11, n. 4, p. 544 - 554, 2016.
- PARTELLI, F. L.; COVRE, A. M.; DUBBRSTEIN, D.; MARRÉ, W. B. Demanda parcelada: como atender de modo equilibrado às necessidades nutricionais do café Conilon. **Cultivar Grandes Culturas**, v. 20, p. 37-39, 2019.
- PAYE, H.S.; DIMENSTAIN, L.; VILLAS BOAS, R.L.; CHISTÉ, L.; DIAS, A.G.; SOUZA, T.R. Novas tecnologias para avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas. **Incaper em Revista**, v. 9, p. 42-50, 2018.
- PREZOTTI, L.C.; GUARÇONI, A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória-ES: Incaper, 2013. 104 p.
- PETEK, M.R.; SERA, T.; FONSECA, I.C.B. Exigências climáticas para o desenvolvimento e maturação dos frutos de cultivares de *Coffea arabica*. **Bragantia**, v.68, p.169-181, 2009.
- PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; THOMAZIELLO, R.A.; CAMARGO, M.B.P. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, v.62, n.3, p.499-505, 2003.
- PREZOTTI, L.C.; GOMES, J.A.; DADALTO, G.G.; OLIVEIRA, J.A. Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo. Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.
- RAIJ, B.; CAMARGO, A.P.; CANTARELLA, H.; SILVA, N.M. Alumínio trocável e saturação em bases como critérios para recomendação de calagem. **Bragantia**, v. 42, n. 1, p. 149-156, 1983.
- THERADGILL, E.D. Chemigation via sprinkler irrigation: curreents status and future development. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 1, n. 1, p. 16-23, 1985.
- UPCHURCH, D.R.; EDMONDS, W.J. Statistical procedures for specific objectives. In: MUSBACH, M.J.; WILDING, L.P. (Eds.). **Spatial variabilities of soil and landforms**. Madison: SSSA, p. 49-71, 1991. Special Publication (Nº 28).

Figuras

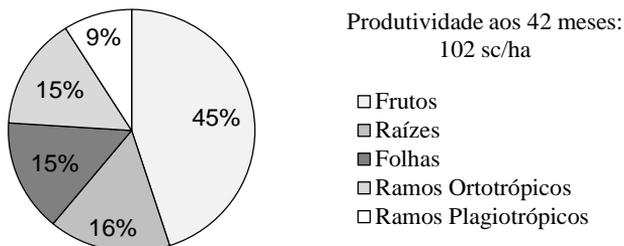


Figura 1. Partição da matéria seca e produtividade do café Conilon 42 meses após transplântio das mudas. Fonte: Bragança (2005).

Ureia											
C	Nitrato de amônio										
C	C	Sulfato de amônio									
C	C	I	Nitrato de cálcio								
C	C	C	C	Nitrato de potássio							
C	C	C	C	C	Cloreto de potássio						
C	C	B	I	C	B	Sulfato de potássio					
C	C	C	I	C	C	C	Fosfato de amônio				
C	C	C	I	C	C	B	I	Sulfatos de Fe, Zn, Cu e Mn			
C	C	C	B	C	C	C	B	C	Quelatos de Fe, Zn, Cu e Mn		
C	C	C	I	C	C	B	I	C	C	Sulfato de magnésio	
C	C	C	C	C	C	C	C	I	B	C	Ácido fosfórico
C	C	C	I	C	C	B	C	C	C	C	Ácido sulfúrico
C	C	C	C	C	C	C	C	I	C	C	Ácido nítrico

C – Compatível
B – Baixa Solubilidade
I – Incompatível

Figura 2. Compatibilidade de mistura entre alguns fertilizantes com base na solubilidade dos produtos da reação. Fonte: adaptado de Burt et al. (1995) e Montag (1999).

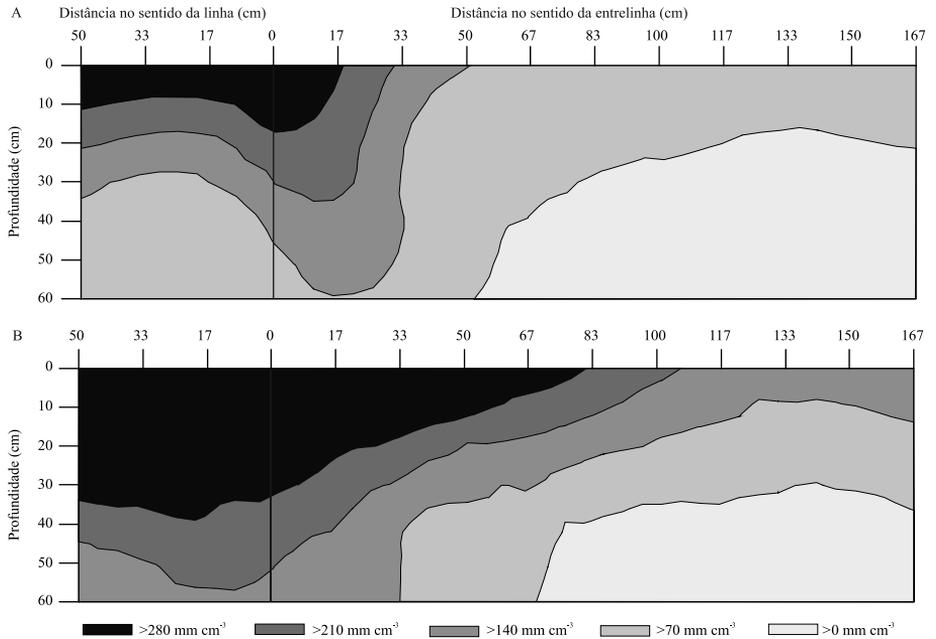


Figura 3. Distribuição espacial do comprimento (mm/cm^3) das raízes de cafeeiro conilon irrigado (A) e não irrigado (B) em diferentes distâncias e profundidades. O ponto zero refere-se à localização da planta. Fonte: Covre et al. (2015).

Tabelas

Tabela 1. Número de amostras de solo a serem coletadas, por talhão homogêneo, na implantação de lavoura de café, de acordo com o diâmetro do trado ou com a largura da fatia retirada com enxadão

Diâmetro do trado ou largura da fatia (cm)	11,2	5,4	4,3	3,7	3,1	2,8
Nº de amostras simples	5	10	15	20	30	40

Fonte: Guarçoni et al. (2007).

Tabela 2. Número de amostras de solo a serem coletadas, por gleba, em lavoura de café já implantada, de acordo com o diâmetro do trado ou com a largura da fatia retirada com enxadão.

Diâmetro do trado ou largura da fatia (cm)	12,3	5,9	5,3	4,9	4,4	4,0
Nº de amostras simples	5	10	15	20	30	40

Fonte: Guarçoni et al. (2007).

Tabela 3. Parte amostrada e número de folhas por talhão homogêneo para os cafés arábica e conilon

Cultura	Parte da planta	Nº Amostras
Café arábica e conilon	Terceiro ou quarto pares de folhas, a partir do ápice de ramos produtivos, em altura mediana na planta	100 folhas; 4/planta, um par de cada lado

Fonte: Martinez, Carvalho e Souza (1999).

Tabela 4. Faixa de suficiência das concentrações foliares de lavouras de cafeeiro Conilon de alta produtividade em duas épocas de amostragem, pré-florada e granação, para a região Norte do Espírito Santo

Nutrientes	Pré-florada	Granação
N (g/kg)	23,1 – 28,7	25,2 – 30,6
P (g/kg)	1,01 – 1,44	1,10 – 1,53
K (g/kg)	9,90 – 14,9	13,0 – 18,8
Ca (g/kg)	15,2 – 26,5	13,8 – 22,6
Mg (g/kg)	2,57 – 4,65	2,53 – 4,11
S (g/kg)	1,02 – 1,71	1,05 – 1,85
B (mg/kg)	50,7 – 99,2	57,6 – 102
Cu (mg/g)	4,36 – 14,5	6,41 – 19,8
Fe (mg/kg)	67,0 – 195	67,3 – 145
Mn (mg/kg)	62,4 – 226	50,4 – 188
Zn (mg/kg)	4,85 – 8,05	5,36 – 17,3

Dados: Partelli et al, 2016.

Tabela 5. Valores de Saturação por Bases esperada (Ve) a serem utilizados no método de saturação por bases para cálculo da necessidade de calagem, visando atingir pH do solo em torno de 6,0, de acordo com a classe de CTC pH 7,0 do solo

Classe de T	Faixa (cmolc/dm ³)	Ve (%)
Boa	8,60 < TBo < 15,00	60
Média	4,30 < TM < 8,60	70
Baixa	TBa < 4,30	80

Fonte: Guarçoni (2017)

Tabela 6. Adubação de produção, anual, com nitrogênio e potássio de acordo com a produtividade esperada

Produtividade esperada (sc/ha)	Dose de N (kg/ha)	Teor de K no solo (mg/dm ³)			
		<60	60–120	120–200	>200
		Dose de K ₂ O (kg/ha)			
20 – 30	260	230	160	90	0
31 – 50	320	290	220	150	0
51 – 70	380	350	280	210	80
71 – 100	440	410	340	270	140
101 – 130	500	470	400	330	200
131 – 170	560	530	460	390	260
> 170	620	600	520	450	320

Fonte: Prezotti et al. (2007).

Tabela 7. Quantidades de nutrientes absorvidos pelos órgãos vegetativos e quantidades de nutrientes exportados em uma saca beneficiada de 60 kg de café conilon.

Nutrientes	Vegetativo	Grãos	Casca
	g/planta	– – g/saco	– –
N	87,7	1.776	1.176
P	3,35	66	90
K	50,95	1.350	1.674
Ca	47,26	378	558
Mg	12,59	162	96
S	7,25	78	90
B	0,16	1,92	2,10
Cu	0,06	1,50	1,02
Fe	2,85	4,80	4,20
Mn	0,50	1,62	4,44
Zn	0,15	0,78	0,42

Fonte: Bragança et al., 2001.

Tabela 8. Acúmulo de nutrientes na palha, nos grãos e nos frutos por tonelada de café beneficiado

Órgão	Sistema	Macronutrientes, kg/t					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Casca	Irrigado	6,7	0,4	9,2	2,3	0,4	0,9
	Sequeiro	6,7	0,6	8,8	2,2	0,4	1,2
Grão	Irrigado	26,7	2,7	16,9	2,1	1,3	1,8
	Sequeiro	25,9	1,9	17,0	1,5	1,3	1,6
Fruto	Irrigado	33,3	3,2	26,0	4,4	1,7	2,7
	Sequeiro	32,6	2,5	25,8	3,6	1,7	2,8
		Micronutrientes, g/t					
		Fe	Zn	Cu	Mn	B	
Casca	Irrigado	25,1	4,0	3,5	4,8	14,2	
	Sequeiro	30,2	3,5	2,9	4,8	15,7	
Grão	Irrigado	55,0	6,7	13,2	9,5	12,3	
	Sequeiro	59,0	7,3	11,8	7,8	21,3	
Fruto	Irrigado	80,1	10,7	16,6	14,3	26,6	
	Sequeiro	89,2	10,8	14,7	12,7	37,1	

Fonte: Covre et al., 2016.

Tabela 9. Eficiência (%) de uso de nitrogênio, fósforo e potássio de acordo com o sistema de produção irrigado ou não-irrigado

Sistema de Produção	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Sequeiro	40–50	25–30	60–70
Aspersão convencional ou em malha	60–70	15–25	70–80
Gotejamento ou microaspersão	75–85	25–40	80–90

Tabela 10. Demanda relativa (% do total acumulado) de nutrientes pelo café Conilon, genótipos 02 (precoce/médio), 153 (tardio) e Ipiranga 501 (super-tardio), entre os meses de agosto e julho, em Nova Venécia - ES

	Genótipo	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J
N	2	3	8	9	15	18	14	13	10	4	3	2	1
	153	1	5	7	10	12	12	17	16	10	7	2	1
	501	1	3	5	10	11	13	18	11	8	7	7	6
P	2	3	8	11	17	20	14	11	6	4	3	2	1
	153	3	6	8	14	15	18	11	10	6	5	3	1
	501	1	3	4	10	13	15	13	13	11	6	6	5
K	2	3	8	10	14	21	15	13	6	4	3	2	1
	153	1	5	7	17	20	16	13	8	6	4	2	1
	501	1	3	4	10	15	16	15	10	8	7	6	5
Ca	2	4	10	11	12	15	16	12	10	4	3	2	1
	153	1	9	9	14	16	16	12	9	6	5	2	1
	501	1	4	5	11	13	12	12	14	14	7	5	2
Mg	2	3	10	12	12	19	18	9	7	4	3	2	1
	153	1	8	10	17	19	15	11	6	5	5	2	1
	501	1	3	5	12	14	14	15	10	8	7	6	5
S	2	3	8	9	16	21	17	10	6	4	3	2	1
	153	1	7	8	16	18	14	10	9	8	6	2	1
	501	1	3	5	10	12	16	16	11	8	7	7	4
B	2	4	8	18	17	15	10	10	8	4	3	2	1
	153	1	6	10	18	18	12	10	8	8	6	2	1
	501	1	3	4	10	10	14	15	15	10	10	4	4
Cu	2	3	8	15	15	14	13	12	9	5	3	2	1
	153	1	7	10	18	20	15	9	8	6	3	2	1
	501	1	3	5	11	14	18	14	10	8	6	6	4
Fe	2	3	7	9	13	16	20	14	8	4	3	2	1
	153	1	7	9	15	15	15	13	9	8	5	2	1
	501	1	3	4	10	13	16	14	11	10	7	6	5
Mn	2	3	7	9	10	14	18	18	10	4	4	2	1
	153	1	6	8	12	17	15	12	10	8	6	4	1
	501	1	2	5	10	12	18	18	12	8	6	4	4
Zn	2	4	8	9	12	15	18	14	10	4	3	2	1
	153	2	8	10	13	15	15	12	12	6	4	2	1
	501	1	3	5	10	15	17	13	12	8	6	6	4

Fonte: Partelli et al. (2019), com dados de: Partelli et al (2013), Partelli et al., (2014), e Marré et al., (2015).

