

**FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE ITUVERAVA
FACULDADE DR. FRANCISCO MAEDA**

Guilherme Costa dos Santos

**ESTADO NUTRICIONAL E QUALIDADE DA BEBIDA DO CAFEEIRO: REVISÃO
DE LITERATURA**

**ITUVERAVA
2024**

GUILHERME COSTA DOS SANTOS

**ESTADO NUTRICIONAL E QUALIDADE DA BEBIDA DO CAFEEIRO: REVISÃO
DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade Dr. Francisco Maeda. Fundação
Educativa de Ituverava para obtenção do título
de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Profa. Dra. Lívia Cordaro Galdiano
Chicone

**ITUVERAVA
2024**

GUILHERME COSTA DOS SANTOS

**ESTADO NUTRICIONAL E QUALIDADE DA BEBIDA DO CAFEEIRO: REVISÃO
DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade Dr. Francisco Maeda. Fundação
Educativa de Ituverava para obtenção do título
de Engenheiro Agrônomo.

Ituverava, 10 de Junho de 2024.

Orientadora: _____
Prof. Dra. Lívia Cordaro Galdiano Chicone

Examinadora: _____
Prof. Letícia Ane Suzuki Nociti Dezem

Examinadora: _____
Prof. Lídia Cordaro Galdiano

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais que sempre foram e continuam sendo meus maiores incentivadores e minha inspiração para que eu corra atrás dos meus sonhos e aos meus professores e minha orientadora que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e me incentivando a não desistir.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus que me permitiu viver com saúde para que eu conseguisse concluir meu curso mesmo com tantos obstáculos no caminho, com tudo parecendo impossível. Aos meus pais e irmão, que sempre ficaram firmes ao meu lado independente de qualquer coisa.

Agradeço a minha orientadora, Profa. Dra. Livia Cordaro Galdiano Chicone, por toda orientação e paciência para que este trabalho pudesse ser realizado.

RESUMO

A cafeicultura brasileira tem obtido grandes avanços tecnológicos que proporcionam lugar de destaque para o país em relação à qualidade e produtividade dos grãos. Dentre os fatores tecnológicos que proporcionam a qualidade notória da produção, está a nutrição. Uma lavoura de café bem nutrida reflete plantas resistentes a doenças de origem bióticas e abióticas, assim como produção de grãos de qualidade, originando assim, uma bebida de qualidade. Os nutrientes minerais interferem na qualidade final do café por duas vias, uma direta, por seu papel no metabolismo da planta e acúmulo de compostos químicos desejáveis, do ponto de vista do aroma e sabor do café, e, outra, indireta, por seu papel na produção de compostos que desfavorecem o desenvolvimento microbiano nos grãos. Objetivou-se destacar o estado nutricional da planta associado à qualidade da bebida e suas possíveis interações com macro e micronutrientes, bem como relatar os resultados de pesquisas que relacionam nutrição mineral, qualidade da bebida e produção de compostos a ela associados.

Palavras-Chave: Café Arábica. Nutrição de plantas. Qualidade. Bebida.

SUMMARY

Brazilian coffee farming has achieved major technological advances that give the country a prominent place in terms of grain quality and productivity. Among the technological factors that provide the notorious quality of production is nutrition. A well-nourished coffee crop reflects plants that are resistant to diseases of biotic and abiotic origin, as well as the production of quality beans, thus creating a quality drink. Mineral nutrients affect the final quality of coffee in two ways, one directly, through their role in the plant's metabolism and accumulation of desirable chemical compounds, from the point of view of the aroma and flavor of the coffee, and the other, indirectly, through their role in the production of compounds that adversely affect microbial development in grains. In this work, we sought to highlight the nutritional status of the plant associated with the quality of the drink and its possible interactions with macro and micronutrients, as well as report the results of research that relate mineral nutrition, quality of the drink and production of compounds associated with it.

Keywords: Arabica Coffee. Plant Nutrition. Quality. Drink.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 METODOLOGIA	10
3 REVISÃO DE LITERATURA	11
3.1 A Cultura do Café	11
3.3 Adubação Mineral e Orgânica do Cafeeiro	16
3.4 Influência do Estado Nutricional do Cafeeiro na Qualidade da Bebida	18
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	24
REFÊRENCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura brasileira tem obtido grandes avanços tecnológicos que proporcionam lugar de destaque para o país em relação à qualidade e produtividade dos grãos. Dentre os fatores tecnológicos que proporcionam a qualidade notória da produção, está a nutrição. É impossível falar em qualidade sem que se mencione o estado nutricional da planta. Uma lavoura de café bem nutrida reflete a plantas resistentes a doenças de origem bióticas e abióticas, assim como na produção de grãos de qualidade, originando assim, uma bebida de qualidade.

A qualidade do café, atributo que tem o maior peso na determinação do preço e comercialização, no Brasil leva em consideração, dois aspectos, sendo o primeiro, contagem de grãos defeituosos, pretos, ardidados, verdes, preto-verdes, brocados, quebrados e mal granados e presença de impurezas como cascas, gravetos e torrões de terra; o segundo descreve os atributos relacionados com a qualidade, como tamanho, uniformidade da seca, coloração do grão cru e torrado, destacando-se a prova de xícara, realizada por degustadores experientes. A prova de xícara resulta em classificação do paladar da bebida em estritamente mole, mole, apenas mole, duro, riado, rio e rio zona, sendo os três últimos inaceitáveis (Martinez, 2014).

O café arábica, objeto desse estudo, apresenta bebida suave, com teor de cafeína de 1,2%, cujas lavouras situadas em alta altitude, concentradas nas principais regiões produtoras: MG, SP, BA, PR. Comparativamente a outras espécies de *Coffea*, a bebida de *Coffea arábica*, por ser suave e delicada, é preferida. Por essa razão, num primeiro momento, o melhoramento do cafeeiro por meio de hibridações Inter e intraespecíficas foi direcionado preferencialmente para obter redução de porte, produtividade, resistência a doenças e nematoides (Salguero, 2010).

Para a cultura do café, além da sua resposta à adubação, existem também os efeitos sobre os compostos químicos responsáveis pela qualidade da bebida, os quais são de maior importância. A composição química dos grãos de café é influenciada por fatores genéticos, ambientais e culturais, pelos métodos de colheita, processamento, armazenamento, torra e moagem, que afetam diretamente a qualidade da bebida do café. Em se tratando das condições de manejo, as adubações e o estado nutricional da planta podem influenciar tanto na produção quanto na composição do grão cru e, conseqüentemente, na qualidade da bebida (Gonçalves, 2022).

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo o levantamento de dados sobre o estado nutricional e a qualidade da bebida do cafeeiro.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho, foi escrito baseado em uma pesquisa descritiva, bibliográfica e qualitativa. Descritiva, de acordo com Gil (2002), pois busca descrever as características de uma população na tentativa de estabelecer relação entre as variáveis. Bibliográfica, do ponto de vista dos procedimentos técnicos, pois será elaborada a partir de material já publicado (livros, artigos de periódicos e informações disponíveis na internet) (Silva; Menezes, 2005). Documental utilizando como base de pesquisa o *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), e Google Acadêmico.

Objetivou-se utilizar de materiais bibliográficos e documentais para o desenvolvimento da pesquisa, analisando livros, artigos e sites governamentais que trazem dados referentes ao desempenho agrônomo das variedades resistentes à ferrugem do cafeeiro nas propriedades cafeeiras de Minas Gerais. Qualitativa, quanto à abordagem do problema, pois busca analisar os dados indutivamente, partindo do pressuposto de que há uma relação entre o mundo real e o sujeito que não pode ser traduzido em números (Silva; Menezes, 2005).

O período dos artigos pesquisados foram os trabalhos publicados nos últimos 10 anos. As expressões utilizadas como palavras-chaves, foram: “Estado nutricional do café” “Qualidade de Bebida”, “Influência da adubação”, “Fatores que influenciam a qualidade de bebida”, “Classificação dos grãos de café” e “Cafeicultura brasileira”.

A coleta de dados desse estudo foi feita no período de outubro de 2023 a maio de 2024, através de artigos publicados que analisaram o tema proposto. Esta etapa da pesquisa foi organizada da seguinte forma:

- a) acesso à base de dados do Google Acadêmico realizando a busca de trabalhos a partir dos descritores citados anteriormente;
- b) Download dos trabalhos e arquivamento em uma pasta de computador adequadamente nomeada;

Após seleção das publicações, realizou-se uma leitura e organização da estrutura do trabalho em subitens que englobam o estudo do estado nutricional e a qualidade da bebida do cafeeiro.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A Cultura do Café

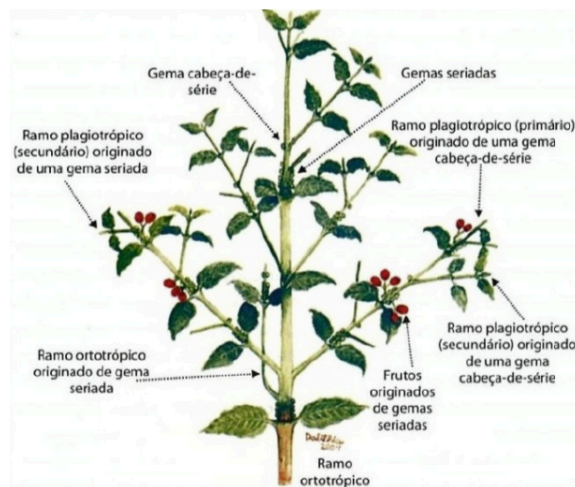
Segundo Sakiyama *et al.* (2015), o café arábica é uma planta perene, autógama). Trata-se de um arbusto com raiz pivotante e ramo dimórfico (dois tipos diferentes de ramos) de crescimento contínuo. Suas folhas são inteiras, coriáceas, com pecíolos curtos e persistentes. A inflorescência ocorre nos nós de ramos laterais novos, em glomérulos (aglomeradas em um único ponto) de flores completas, hermafroditas (dois sexos na mesma flor) e auto compatíveis. O fruto, quando maduro, é conhecido como cereja, podendo apresentar exocarpo de cor vermelha ou amarela. O fruto é do tipo drupa, com duas sementes chatas. A semente tem uma película, um endosperma verdadeiro de cor verde e um pequeno embrião com dois cotilédones. Devido à cor do endosperma, o grão de café cru é comercialmente chamado de café verde.

O sistema radicular típico do cafeeiro apresenta uma raiz pivotante, poucas raízes axiais e grande quantidade de raízes laterais. O crescimento se dá inicialmente pela raiz pivotante em profundidade, que é rápido e intenso, e no momento da formação das mudas a raiz pivotante pode enovelar-se no fundo do saquinho de plantio utilizado para produção de mudas. Esse enovelamento no campo recebe o nome de pião torto, e uma ação que pode ser feita para evitar esse enovelamento é cortar o fundo da sacola para eliminar a extremidade da raiz, antes do transplântio da muda, ou ainda utilizar mudas oriundas de tubetes, uma vez que as mudas produzidas em tubete ficam suspensas no ar e não enovelam em função de barreiras físicas (Bragança, 2005).

Como a eliminação dos dois últimos centímetros da extremidade da raiz é uma prática muito comum no plantio do café, a raiz pivotante de um cafeeiro assim produzido pode aparecer bifurcada, sendo curta ou mesmo ausente. Esse procedimento não prejudica a planta, uma vez que as raízes axiais tendem a se desenvolver mais em plantas em que a raiz pivotante não se desenvolve; contudo, é comum a raiz pivotante atingir em tomo de 50 cm de profundidade.

Os ramos do cafeeiro apresentam nós e entrenós. Em cada nó, duas folhas nascem opostas em relação ao eixo do ramo. A folha é oval, delgada, ondulada e coriácea, com pecíolo e estípula curtos. Na axila de cada folha há a formação de uma série linear de aproximadamente seis gemas denominadas seriadas, acima das quais há a formação de uma gema isolada e única denominada “cabeça de série”. O entrenó não tem folhas ou gemas e o seu comprimento é geneticamente controlado, determinando o porte da planta, tanto em altura quanto em diâmetro da copa (Figura 1) (Amaral; Rena; Amaral, 2006).

Figura 1. Fisiologia do crescimento do cafeeiro



Fonte: Alves (2008, capítulo 2, [s.p.]).

O ramo do cafeeiro é dimórfico, ou seja, formado por dois tipos de ramos morfológicamente distintos, denominados ortotrópico (também chamado de vertical ou caule) e plagiotrópico (também denominado lateral ou produtivo). Na muda derivada de semente, o ramo ortotrópico emite o primeiro par de ramos plagiotrópicos a partir, mais ou menos, do sexto ao décimo nó. *C. arábica* apresenta tipicamente um único ramo ortotrópico (Amaral; Rena; Amaral, 2006).

As gemas seriadas do ramo ortotrópico podem originar novos ramos ortotrópicos, além dos ramos plagiotrópicos. Essa brotação é induzida pela quebra da dominância apical do ramo, causada pela morte ou corte do seu ápice, ou pelo envergamento do ramo ortotrópico (Amaral; Rena; Amaral, 2006).

O ramo plagiotrópico apresenta as seguintes características: a) cresce lateralmente em uma inclinação variável em relação ao ramo ortotrópico; b) emite um par de folhas opostas em cada nó e no mesmo plano em relação ao par anterior; c) não emite ramos ortotrópicos, mas pode emitir ramos plagiotrópicos secundários; e d) produz flores e frutos (Soares, 2019).

O ramo ortotrópico apresenta as seguintes características: a) cresce verticalmente; b) emite um par de ramos plagiotrópicos (a partir das gemas “cabeça de série” nas axilas das folhas) opostos em cada nó e cruzados em relação ao par anterior, formando a copa do cafeeiro; c) pode emitir novos ramos ortotrópicos a partir das gemas seriadas; e d) normalmente não produz frutos (Soares, 2019).

Segundo Soares (2019), na brotação, o ramo ortotrópico pode emitir tanto novos ramos ortotróficos como o primeiro par de ramos plagiotróficos já nos primeiros nós. A capacidade de brotação do ramo ortotrópico tem aplicações práticas bem conhecidas. Quando dá origem a novos ramos ortotróficos, promove a recuperação da copa após a poda, especialmente após recepa, e a multiplicação clonal por estaquia. Quando origina ramos plagiotróficos, promove a formação da copa que constituirá os ramos responsáveis pela produção do café.

O ciclo fenológico de *C. arábica* é de dois anos nas condições de ambiente do Centro-Sul brasileiro. No primeiro ano há a formação de novos ramos plagiotróficos, que no segundo ano produzem frutos. No primeiro ano formam-se os novos ramos vegetativos, com gemas axilares nos nós, durante os meses de dias longos, que coincidem com o período chuvoso. Quando os dias começam a ficar mais curtos, as gemas vegetativas axilares são induzidas por foto periodismo em gemas reprodutivas. Posteriormente, essas gemas florais amadurecem e entram em dormência, causada pelo déficit interno de água, tornando-se aptas para a antese, a qual ocorre após a próxima chuva. No segundo ano ocorre a floração, seguida da formação dos chumbinhos e da expansão, granação e maturação dos frutos (Camargo; Camargo, 2001).

A bienalidade da produção de grãos de café é caracterizada pela produção alta e baixa de grãos em anos alternados. Esse padrão bienal de produção de café é normal no Brasil, o maior produtor mundial, afetando, dessa forma, a oferta e o preço do produto no mercado nacional e internacional (Rodrigues, 2013).

É causada pela competição interna por água e nutrientes que ocorre na planta, a qual se encontra simultaneamente em fase reprodutiva e em fase vegetativa. O equilíbrio entre a capacidade produtiva e a vegetativa da planta é importante para a estabilidade de produção ao longo dos anos (Soares, 2019).

Ainda, segundo Soares (2019), na competição por minerais e por amido, os frutos em desenvolvimento abundante são drenos prioritários em comparação aos ramos novos em crescimento. Essa competição é crítica em regiões cafeeiras com padrão unimodal de um período seco e um período chuvoso definidos, pois o desenvolvimento dos frutos e dos ramos novos ocorre simultaneamente, no mesmo período chuvoso. Assim, a alta produção de grãos é acompanhada de baixa taxa de crescimento da planta, comprometendo a produção do ano seguinte. Esta, sendo baixa, permitirá elevada taxa de crescimento da planta, que proporcionará novamente as condições para uma alta produção de grãos no outro ano; e assim sucessivamente, em ciclos bienais.

3.2 Classificação dos Grãos de Café

O fruto do café é uma drupa ovoide bilocular, conhecida como cereja quando madura, com duas sementes plano-convexas (sementes chatas). O fruto é formado por pedúnculo, coroa, exocarpo (epicarpo ou casca), mesocarpo (mucilagem ou poupa), endocarpo (pergaminho), espermoderma (testa ou película), endosperma (albúmen) e embrião com dois cotilédones. Fazem parte da semente a película, o endosperma e o embrião com dois cotilédones. O exocarpo do fruto maduro é vermelho ou amarelo, dependendo da cultivar, podendo ser vermelho-alaranjado se heterozigoto para a característica (soares, 2019).

O mesocarpo, também chamado de mucilagem ou polpa, é uma substância gelatinosa, translúcida e adocicada que se desenvolve entre o exocarpo e o endocarpo. *C. arábica* geralmente tem a mucilagem mais volumosa e mais doce do que *C. canephora*. Em contato com o ar, a mucilagem oxida-se e se torna mais pegajosa e de tom amarronzado (Soares, 2019).

Os cafeeiros têm como importante característica morfológica a placentação típica, que confere à semente um sulco ventral no sentido longitudinal. O desenvolvimento de apenas uma semente no fruto dá origem à semente moca, que tem a forma arredondada interna do fruto. O índice de ocorrência de moca é maior em *C. canephora* do que em *C. arábica* e, em ambas as espécies, pode variar em função do genótipo da planta e do efeito do ambiente. Para consumo na forma de bebida, o grão moca não é considerado defeituoso, mas é avaliado na classificação por tipo de peneira. Três defeitos comuns de desenvolvimento do grão são observados comercialmente: grão chocho (quando o desenvolvimento do grão não é completado normalmente), grão concha (quando dois ou mais grãos se desenvolvem no mesmo lóculo do fruto) e grão imbricado (quando o fruto produz mais de um grão em um loco) (Figura 2) (Soares, 2019).

Figura 2. Três defeitos comuns de desenvolvimento do grão são observados comercialmente: grão chocho, grão concha e grão imbricado



Fonte: adaptada de <http://cafezinhoetal.blogspot.com/2011/06>

Os grãos de café têm sido avaliados quimicamente e a bebida sensorialmente o que depende muito das condições do provador de bebida, durante a avaliação (Bataglia, 2014). Existe, no entanto, uma relação correspondente entre ambos os modos de avaliação.

A polifenoloxidase é uma enzima cúprica que, de acordo com vários autores, se mostra diretamente relacionada com a qualidade da bebida do café (Silva *et al.*, 2015). Cafés de melhor qualidade de bebida possuem elevada atividade enzimática da polifenoloxidase e elevado índice de coloração. Verificou-se que as variações da atividade enzimática da polifenoloxidase, permitem separar as classes de bebida, considerando para o café “riado e rio” atividades inferiores a 55,99 U g⁻¹ de amostra; nos cafés de bebida “dura” atividades entre 55,99 e 62,98 U g⁻¹ de amostra; nos cafés de bebida “mole” atividades entre 62,98 e 67,65 U g⁻¹ de amostra e nos cafés de bebida “estritamente mole” atividades superiores a 67,65 U g⁻¹ de amostra, constatando assim um aumento significativo na atividade da polifenoloxidase à medida que o café se apresenta com melhor qualidade (Martinez, 2014).

Quanto ao índice de coloração, cafés de melhor qualidade apresentam maior índice de coloração; cafés de piores bebidas (riado e rio) apresentam índices de coloração inferiores a 0,70 nm (Farnezi, 2010).

A acidez em cafés de diferentes qualidades tende a ser maior em café de pior qualidade, variações na acidez dos grãos demonstra haver uma relação inversa entre os teores de acidez e a qualidade dos grãos. Os açúcares não parecem afetar a qualidade do café, de um modo geral, no entanto, deve-se ressaltar que os açúcares participam de importantes reações químicas que ocorrem durante a torração, como reação de caramelização, responsável pela formação da cor, sabor e aroma peculiares da bebida (Farnezi, 2010).

A demora entre a colheita e o despulpamento, espécie de café, altitude de cultivo, temperatura de seca, o grau de maturação, tempo de armazenamento e aplicações de Ethephon afetam a qualidade da bebida e a atividade da polifenoloxidase (Martins, 2003).

Comparando os resultados obtidos pela análise sensorial e os obtidos pela atividade da polifenoloxidase em amostras de diferentes cafés, Vitorino *et al.* (2013), observaram baixa concordância entre as classificações obtidas pelos dois métodos. As porcentagens de acerto dentro das classes foram de 39% para bebida mole, 16% para apenas mole, 49% para dura e 2% para riado. Já para as bebidas estritamente mole e rio, não foi verificada nenhuma equivalência. Portanto, a falta de equivalência entre os métodos e o baixo grau de acertos, sugerem que a atividade da polifenoloxidase não seja um indicador preciso para a

classificação da qualidade da bebida, indicando que os cafés de melhor qualidade nem sempre apresentam maior atividade da PFO que cafés de bebida inferior.

O flavor e o aroma do café desenvolvem-se durante a torra e têm uma química muito complexa, que envolve centenas de reações simultâneas. Nela ocorrem as reações de degradação de proteínas, polissacarídeos, trigonelina e ácidos clorogênicos. A torra compreende três estádios consecutivos: secagem, pirólise e resfriamento. No primeiro, ocorre perda de massa, causada pela lenta liberação de água e substâncias voláteis. O grão muda de cor, passando de azul esverdeado para amarelo. No segundo, a pirólise resulta em consideráveis mudanças nas propriedades físicas e químicas dos grãos. São liberadas grandes quantidades de água, substâncias voláteis e CO₂ e os grãos tornam-se marrons, por causa da caramelização dos açúcares (Martinez, 2014).

Ao atingir esse ponto, o resfriamento é necessário para evitar-se a carbonização. De acordo com Vargas; Elias (2011), a perda de massa é de 20%, na torra escura, e chega a 14%, na torra suave. A umidade dos grãos cai de 11-12% b.u. para 2,5 - 4,0% b.u. O mesmo autor relata que temperaturas a partir de 284° C, no torrefador, com tempos entre 9 e 16 minutos, permitiram o desenvolvimento de acidez, doçura e corpo em níveis ótimos, mantendo-se a percepção de adstringência em níveis mínimos.

O café apresenta de 5 a 10% de açúcares totais. Dentre os oligossacarídeos, a sacarose (não redutor) ocorre nos grãos de café em concentrações que variam de 5,1 a 9,4%, no fruto maduro. Na torra, a sacarose degrada-se, dando açúcares menores precursores de ácidos e aldeídos, responsáveis pelo flavor. Dentre os monossacarídeos, destacam-se a glicose e a frutose (redutores), com teores que variam de 0 a 0,5% (Martinez, 2014).

As melhores bebidas, com paladar estritamente mole, mole, apenas mole e duro apresentaram maiores teores de sólidos solúveis totais, o que é desejável tanto pelo ponto de vista do rendimento industrial como pela contribuição para assegurar corpo à bebida, que é importante para o café expresso. Existe forte correlação entre qualidade da bebida e grau brix dos frutos maduros, sendo que 95% dos cafés que alcançaram nota superior a 80 apresentavam grau brix superior a 20 no momento da colheita (Martinez, 2014).

3.3 Adubação Mineral e Orgânica do Cafeeiro

O café tem sua necessidade de nutrientes variando em função da idade da planta e do estágio fenológico no qual ela se encontra. Dos treze elementos minerais exigidos para a sobrevivência das plantas superiores, doze têm importância econômica para a cafeicultura: N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Fe, Mn, Mo e Cl (França Neto, 2016).

Os teores totais de macronutrientes considerados adequados para o cafeeiro, de acordo com a análise foliar são: 26-32 g kg⁻¹ de N; 1,2-2,0 g kg⁻¹ de P; 18-25 g kg⁻¹ de K; 10-15 g kg⁻¹ de Ca; 3,0-5,0 g kg⁻¹ de Mg e 1,5-2 g kg⁻¹ de S. Para os micronutrientes os teores são: 50-80 mg kg⁻¹ B; 10-20 mg kg⁻¹ de Cu; 50-200 mg kg⁻¹ de Fe e Mg; 0,10-0,20 mg kg⁻¹ de Mo e 10-20 mg kg⁻¹ de Zn (Raij I 2012).

Os adubos orgânicos devem ser usados, desde que computadas as quantidades de NPK existentes e complementando o restante com químico, ficando o seu uso condicionado ao custo e à disponibilidade, o esterco de gado é uma excelente fonte, em relação a produção (Martins, 2003).

Comparando os tratamentos com esterco de curral e adubação mineral NPK, completados ou não com calcário na cultura do café, Cervellini *et al.* (2014), constataram que as melhores produções foram dos tratamentos que receberam esterco (20 l) mais NPK, com ou sem calcário. Por outro lado, a aplicação somente do esterco (40 l) resultou em menor produção.

Quando se adiciona matéria orgânica bruta com alta relação C/N ao solo, até 50% se decompõem no primeiro ano. No segundo ano agrícola outra parte se decompõe chegando ao produto final, o húmus. Apenas no terceiro ano é que praticamente toda a (M.O) bruta estará transformada. De acordo com Malavolta *et al.* (1987) o que se deve fazer é adicionar frequentemente pequenas quantidades de (M.O) bruta para manter a atividade dos microrganismos responsáveis pela sua decomposição.

A avaliação do estado nutricional de plantas é uma importante ferramenta para a adequada utilização de fertilizantes e tem como principal objetivo identificar os nutrientes que limitam o crescimento, desenvolvimento, produção e qualidade do produto (Farnezi, 2010).

A análise química foliar vem sendo usada para detectar respostas de cafeeiros aos vários tipos de manejo, possibilitando interpretar, de maneira mais eficiente, as relações entre nutrientes na planta.

Segundo Corrêa *et al.* (2014), análise química foliar é baseada em métodos padronizados de amostragem, padrões de referência de teores foliares e interpretação de resultados, e é o critério mais eficiente na avaliação do estado nutricional de plantas. Sua maior vantagem está no fato de se considerar a própria planta como extrator dos nutrientes no solo e permitir uma avaliação direta de seu estado nutricional e, desse modo, avaliar as concentrações e as relações entre nutrientes, constituindo, assim, uma forma indireta de avaliação da fertilidade do solo.

Dentre os métodos utilizados para interpretação dos resultados das análises químicas foliares, há o sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS), o qual baseia-se no cálculo de um índice para cada nutriente, comparando-se as relações entre um nutriente e cada um dos demais nutrientes na amostra sob diagnose com as relações envolvendo esse mesmo nutriente em uma população de referência (Corrêa *et al.*, 2014).

Cada relação entre nutrientes na população de alta produtividade constitui uma norma DRIS e tem sua respectiva média e coeficiente de variação. O índice DRIS, possibilita definir o grau de desvio dos nutrientes da amostra e sua localização em relação ao estado nutricional, se adequado, em deficiência ou em excesso. Quanto mais próximo de zero estiver o índice do nutriente, mais próximo do equilíbrio nutricional o nutriente se encontra; índice positivo indica que o nutriente está em excesso e índice negativo, deficiente. As normas DRIS são úteis para estudar os desequilíbrios nutricionais e aumentar a produtividade da cultura, quando se realiza a correção do nutriente indicado no diagnóstico (Farnezi, 2010).

3.4 Influências do estado nutricional do cafeeiro na qualidade da bebida

Em se tratando das condições de manejo, as adubações e o estado nutricional da planta podem influenciar tanto na produção quanto na composição do grão cru e, conseqüentemente, na qualidade da bebida.

O nitrogênio (N) é o nutriente mais exigido para o crescimento vegetativo e o segundo mais exportado pelos grãos do cafeeiro. As exigências em potássio (K) são muito próximas das de N, sendo a maior proporção encontrada em grãos, particularmente na polpa do café. A cafeína, pertencente ao grupo das xantinas, contém quatro átomos de N na molécula. Entre 40 e 50% do nitrogênio do grão torrado corresponde à cafeína e à trigonelina, de modo que uma redução do teor de cafeína dos grãos de plantas deficientes em N seria esperada (MARTINEZ, 2014).

Clemente (2010), trabalhando com duas doses de N, uma baixa e uma elevada encontrou maiores teores de cafeína nas folhas índice das plantas cultivadas com a maior dose de N. Entretanto, os grãos obtidos nessas duas condições ou não apresentaram diferenças significativas, ou tiveram teores de cafeína inferiores, nas plantas conduzidas com N elevado. Esse resultado foi atribuído a efeito de diluição da cafeína na maior quantidade de frutos produzidos pelas plantas submetidas à maior dose de N, já que as plantas cultivadas com baixo N tiveram produção de frutos 39% inferior. Os compostos fenólicos, por sua vez, são compostos aromáticos derivados dos ácidos mevalônico e chiquímico. Os ácidos clorogênicos são os principais compostos fenólicos não voláteis encontrados no café. A formação desses

compostos pode derivar de um desvio na rota de síntese da lignina, a partir do ácido pcoumárico, que dá origem ao ácido cafeico e outros fenil propanoides simples. Esses compostos, juntamente com o ácido quínico, originam, por esterificação, os ácidos clorogênicos. Desse modo, doses elevadas de N poderiam ativar a rota de síntese de lignina e de compostos intermediários precursores de ácidos clorogênicos. Porém, essa hipótese não foi confirmada por Clemente (2010) que encontrou concentrações de fenóis totais, atividade da PPO e índice de coloração maiores em grãos de plantas cultivadas com baixo N.

Por outro lado, Malta *et al.* (2013) verificaram que grãos de café beneficiado provenientes de plantas adubadas com diferentes fontes de N apresentaram resposta quadrática da atividade da PPO ao aumento das doses de N. Doses de 50 e 121 kg ha⁻¹ de N, nas formas de sulfato e de nitrato de amônio resultaram em maiores atividades da enzima, com redução subsequente em doses mais elevadas. Por outro lado, para o nitrato de potássio, a maior atividade da PPO ocorreu com a maior dose de N aplicada, ou seja, 320 kg ha⁻¹, indicando uma possível interação entre N e K na resposta à dose de N.

Outro grupo de compostos importantes na definição da qualidade do café são os açúcares, cujo metabolismo é fortemente influenciado pela disponibilidade de potássio. O papel do K no metabolismo de compostos nitrogenados e carboidratos é bastante conhecido. Ele é primordial para a ativação de enzimas nas células, por induzir mudanças na conformação enzimática. Em plantas deficientes de K, ocorrem acúmulo de carboidratos solúveis, decréscimo do conteúdo de amido e acúmulo de compostos nitrogenados solúveis. Isso está relacionado com o alto requerimento de K para funcionamento de certas enzimas regulatórias, principalmente a piruvato cinase e a fosfofrutocinase (Martinez, 2014).

Por outro lado, a sintetase do amido, que catalisa a transferência de glicose para moléculas de amido, é altamente dependente de cátions monovalentes, entre os quais o K é o mais eficiente (Martinez, 2014).

Silva *et al.* (2013) avaliaram o efeito de doses de K₂O aplicadas nas formas de cloreto de potássio e de sulfato de potássio, variando de 0 a 400 g/cova, na qualidade do café produzido. No primeiro ano de avaliação, o sulfato de potássio proporcionou maior atividade da PPO e, no ano seguinte, verificou-se a mesma tendência para a atividade dessa enzima.

Para minimizar o efeito dos íons acompanhantes do N e do K nos diferentes fertilizantes, Clemente (2010) estudou o efeito de doses de N e K sobre a produção e qualidade do café em sistema hidropônico de subirrigação. A autora realizou um experimento de longa duração em solução nutritiva, conduzindo plantas da variedade Catuaí vermelho IAC 99, sob condições controladas de casa de vegetação até a primeira colheita. Foram

empregadas quatro doses de K, combinadas com duas doses de N. Os resultados evidenciaram resposta quadrática às doses de potássio, indicando efeito positivo do nutriente na produção de grãos, teor de cafeína, fenóis totais, açúcares totais e redutores, índice de coloração e acidez total titulável. Os valores dessas variáveis aumentaram até atingir um ponto de máximo, a partir do qual o efeito do K passou a ser deletério, provavelmente por causa do estabelecimento de competição com Ca e Mg, em doses elevadas de K. Corroborando o efeito positivo do K na qualidade, a condutividade elétrica e lixiviação de potássio foram reduzidas com o aumento das doses de K, até atingirem um ponto de mínimo associado à dose ótima.

Convém destacar que a melhor qualidade sensorial do café foi alcançada em plantas com concentrações foliares de 3,01 dag kg⁻¹ N e 2,94 dag kg⁻¹ de K, e que tinham, nessas condições, 2,20 dag kg⁻¹ de N e 1,82 dag kg⁻¹ de K, nos grãos. A melhor qualidade sensorial foi obtida com doses de K que permitiram obter 98,70% da produção máxima de café cereja (Clemente, 2010). O N influenciou principalmente as características de crescimento vegetativo, enquanto o K influenciou principalmente as características de crescimento reprodutivo, como número de frutos do ramo índice, produção e tamanho de grãos (Clemente et al., 2010).

A ordem de acúmulo de micronutrientes em cafeeiro, é Fe > Mn > B > Zn > Cu > Mo. Uma vez que os solos brasileiros em que se assenta grande parte da cafeicultura apresentam teores elevados de Fe e Mn, o cafeeiro não tem grande exigência de Mo, pode-se compreender por que os micronutrientes B, Zn e Cu são considerados os de maior importância para o crescimento e produção do cafeeiro, sendo também os mais estudados.

Sob deficiência de B, ocorre o acúmulo de fenóis, o que se relaciona com o papel do boro na formação de complexos cis-diol com certos açúcares e fenóis. Nessas condições, o fluxo de substrato é deslocado para o ciclo das pentoses fosfato, aumentando, assim, a biossíntese de fenóis. Em resposta ao acúmulo de fenóis, a atividade da polifenoloxidase aumenta, em tecidos deficientes em B, o que, junto com o excesso de fenóis, provoca a destruição da membrana celular e, conseqüentemente, a morte do tecido vegetal. A polifenoloxidase é uma enzima que, de acordo com vários autores, mostra-se diretamente relacionada com a qualidade da bebida do café (Martinez, 2014).

Clemente (2010) estudou o efeito do B na produção de grãos, qualidade da bebida e produção de compostos bioativos em grãos crus de café, em experimento realizado numa lavoura adulta de C. arábica, cv. Catuaí Vermelho IAC 99. Houve efeito positivo desse nutriente nos teores de cafeína, trigonelina, sacarose, glucose e atividade da PPO. 3-CQA e 5-CQA tiveram suas concentrações reduzidas com a disponibilização de B, enquanto 4-CQA,

proantocianidinas e fenóis totais não responderam ao seu fornecimento. Acompanhando-se os teores de B das folhas índice nos diferentes tratamentos, verificou-se que tanto a falta quanto o excesso de B reduziram a síntese de cafeína e trigonelina. Foi observado, ainda, que as concentrações foliares de B, associadas a um bom crescimento e produção, estão abaixo daquelas que maximizam a atividade da PPO, característica que tem sido fortemente associada à qualidade da bebida.

Vários trabalhos na literatura relatam o acúmulo de ácidos cafeoilquínicos em deficiência de B. A deficiência de B leva ao acúmulo de glucose, frutose e amido, seguido por aumento da concentração de 3-CQA, 4-CQA e 5-CQA em folhas de tabaco. Os autores atribuíram esse efeito ao aumento da atividade da fenilalanina amônia liase e ao consequente aumento da síntese de fenóis (Martinez, 2014).

O cobre beneficia as plantas por meio do seu efeito como micronutriente, como fungistático e como tonificante. Esse micronutriente é essencial às plantas por ser componente de muitas enzimas e proteínas e por estar envolvido em inúmeras rotas metabólicas. Várias enzimas, que contêm ou são ativadas pelo Cu, catalisam reações de óxido-redução. Além disso, o Cu pode exercer efeitos diretos ou indiretos sobre fungos. Como efeito direto, a influência desse micronutriente está relacionada com a sua capacidade fungistática, desnaturando proteínas do patógeno. Indiretamente, sua participação é importante na síntese de lignina, que age como barreira à penetração de microrganismos. Desta forma, o uso do cobre, melhora o desenvolvimento e a produtividade dos cafezais e beneficia, ainda, a qualidade dos grãos de café (Malavolta, 2015).

Quanto ao Zn, baixos teores desse elemento em cafeeiros podem afetar mais o desenvolvimento reprodutivo do que o vegetativo. A carência de Zn pode provocar a diminuição da produção de que pode estar relacionada com o menor desenvolvimento das anteras e com a inviabilidade dos grãos de pólen quando a planta está sob deficiência deste elemento. Alguns relatos confirmam a importância do Zn na produção de grãos. Os grãos de café retidos em peneiras com crivos de maior diâmetro, associados a outros aspectos de boa qualidade, geralmente apresentam maior valor no mercado. A separação pelo tamanho dos grãos, por meio da classificação por peneiras, proporciona melhor qualidade do produto final, resultando mais uniformidade na torra (Malavolta, 2015).

O fornecimento de Zn influencia positivamente a produção e a qualidade dos grãos de café, caracterizada pelo seu tamanho, percentagem de grãos brocados, condutividade elétrica e o potássio lixiviado dos grãos. Os resultados de Martinez *et al.* (2013) indicam, ainda, que

os grãos de cafeeiros supridos com Zn apresentaram maiores teores de ácidos clorogênicos e maior atividade antioxidante.

O efeito do Zn sobre os compostos químicos relacionados com a qualidade da bebida nos grãos crus foi estudado por Lacerda (2014). O autor forneceu doses de Zn (0,2; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$) a plantas de café cultivadas por três anos em vasos de 20 L, contendo areia, irrigados com solução nutritiva, em sistema hidropônico de gotejamento. Houve resposta quadrática crescente às doses de Zn para atividade da PPO, índice de coloração, concentração de cafeína, trigonelina, sacarose, arabinose, manose, ácido cítrico e ácido tartárico nos grãos. Após os pontos de máximo estimados, que ocorreram nos grãos de plantas que apresentavam teores de Zn entre 9,73 e 10,27 mg kg^{-1} nas folhas índice, houve declínio da concentração desses compostos. Já acidez titulável, pH, fenóis totais, 5-CQA, 4-CQA, potássio lixiviado e condutividade elétrica apresentaram resposta quadrática decrescente ao Zn, com pontos de mínimo em grãos de plantas que apresentavam teores de Zn entre 9,73 e 9,90 mg kg^{-1} nas folhas índice (Martinez, 2014).

Também neste caso, 3-CQA apresentou resposta inversa às de 4-CQA e 5-CQA, com ponto de máximo em concentração de Zn muito próxima da que resultou em máxima atividade da PPO. Fica evidente que, de modo geral, as concentrações dos compostos relacionados positivamente com a qualidade da bebida foram maximizadas e a dos negativamente relacionados com a qualidade da bebida foram minimizadas quando as plantas apresentavam teores foliares de Zn dentro da faixa de nutrição adequada, proposta por Martinez *et al.* (2013), entre 8 e 12 mg kg^{-1} . Chama a atenção, entretanto, que essas condições não foram as que resultaram em maior produção de grãos. A maior produção de grãos foi obtida com a menor dose de Zn empregada, de 0,2 $\mu\text{mol L}^{-1}$, enquanto os atributos positivamente relacionados com a qualidade foram máximos e os negativamente relacionados com a qualidade foram mínimos, com doses entre 1,3 e 2,2 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn.

Embora não se tenha verificado diferença estatística para a análise sensorial, verificou-se que a menor dose de Zn (0,2 $\mu\text{mol L}^{-1}$) resultou em bebida dura, enquanto as doses mais elevadas resultaram em bebida mole. Também neste caso, os resultados obtidos em campo por Clemente (2014), com relação ao efeito do Zn sobre as concentrações de cafeína, trigonelina, sacarose, glucose, 5-CQA e fenóis totais confirmam os de Lacerda (2014).

Ainda com relação aos micronutrientes, as pulverizações de Cu, Zn, Mn e B diretamente sobre os frutos durante seu desenvolvimento reduziram significativamente a percentagem média de incidência de *Aspergillus ochraceus*, *Fusarium semitectum*,

Cladosporium cladosporioides, sem afetar significativamente a ocorrência de *Penicillium Variable* (Martinez, 2014).

Considerando-se os resultados obtidos sob os efeitos de B, Cu e Zn na produção de compostos relacionados com a qualidade do café e, também, seu aparente papel na redução de infecções por fungos toxicogênicos, o manejo da nutrição com micronutrientes parece ser uma forma promissora de se obter um produto de melhor qualidade (Martinez, 2014).

Convém salientar, entretanto, que nos trabalhos relacionando nutrição mineral com qualidade da bebida, aqui apresentados, foram empregados frutos maduros submetidos a condições de pós-colheita adequadas. Nessas condições, não se obtiveram classificações “riado” ou “rio” em nenhuma circunstância, o que reforça a importância principal da pós-colheita na qualidade da bebida do café (Martinez, 2014).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A composição química dos grãos de café é influenciada por fatores genéticos, ambientais e culturais, pelos métodos de colheita, processamento, armazenamento, torra e moagem, que afetam diretamente a qualidade da bebida do café. Em se tratando das condições de manejo, as adubações e o estado nutricional da planta podem influenciar tanto na produção quanto na composição do grão cru e, conseqüentemente, na qualidade da bebida.

O melhor equilíbrio do estado nutricional das lavouras cafeeiras pode proporcionar produtividade de até 65,0 sacas ha⁻¹ de café beneficiado e qualidade de bebida “mole” e “apenas mole”. A manutenção do equilíbrio do estado nutricional da lavoura proporciona elevada produtividade e qualidade da bebida do café.

REFÊRENCIAS

AMARAL, J. A. T.; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 41, n. 3, p. 377-384, 2006.

BATAGLIA, O.C. Efeito da nutrição mineral sobre a qualidade dos grãos e da bebida do café. In: SALVA, T. de J.G. et al. (Eds.). **Cafés de qualidade: aspectos tecnológicos, científicos e comerciais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2007. p.51-71

BATAGLIA, O.C.; SANTOS, W.R.dos.; QUAGGIO, J.A. Efeito de contaminantes foliares na diagnose nutricional do cafeeiro pelo DRIS. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1, 2014, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Brasília: Embrapa Café; MINASPLAN, 2000. v.2, p.1343-1346.

BRAGANÇA, S. M. **Crescimento e acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro conilon (Coffea canéfora Pierre)**. 2005. 99 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

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

CARVALHO, V.D.; CHAGAS, S.J. de R.; CHALFOUN, S.M.; BOTREL, N.; JUSTE JUNIOR, E.S.G. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.3, p.449-454, mar. 1994.

CERVELLINI, G. da.S. IGHE, T. TOLEDO, S.V. de. Calagem e adubação mineral e orgânica do cafeeiro na região de Campinas. **Bragantia**, Campinas, v.53, n.2, p.273-280, 2014.

CLEMENTE JM (2010) **Efeito de NK na qualidade da bebida do café**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 52p

CORRÊA, J.B.; REIS JÚNIOR, R. dos A.; CARVALHO, J.G.; GUIMÃRAES, P.T.G. Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional de cafeeiros do Sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.6, p.1279-1286, nov./dez. 2014.

DA SILVA, Edna Lucia; MENEZES, Estera Muszkat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. **UFSC, Florianópolis, 4a. edição**, v. 123, n. 4, p. 138, 2005.

FARNEZI, Múcio Mágnio de Melo et al. Levantamento da qualidade da bebida do café e avaliação do estado nutricional dos cafeeiros do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, através do DRIS. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 1191-1198, 2010.

FRANÇA NETO, Adjalma Campos de. **Fertirrigação do café conilon Coffea canephora na região da Zona da Mata Rondoniense**. 2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GONCALVES, Jessica de Melo. **Efeito do manejo convencional e orgânico na qualidade do grão e bebida de café.** 2022.

LACERDA JS (2014) **Produção, composição química e qualidade da bebida de café arábica em razão da dose de cobre e zinco.** Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 97p.

MALAVOLTA, Euripedes. **Adubos e adubações.** NBL, 2015.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.

MALTA MR, NOGUEIRA FD, GUIMARÃES PTGG & Silva FAM. Composição química, produção e qualidade do café fertilizado com diferentes fontes de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, p.1246-12, 2013.

MARTINEZ HEP, MENEZES JFS, Souza RB, ALVAREZ-Venegas VH & GUIMARÃES PTG (2013) Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 38:703-713.

MARTINEZ, Herminia Emilia Prieto et al. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Revista Ceres**, v. 61, p. 838-848, 2014.

MARTINS, Daniela Ribeiro. **Estado nutricional e qualidade de bebida em cafeeiros tratados com lodo de esgoto.** 2003.

MUYSHONDT, M. **Manual técnico del cultivo del café en El Salvador.** Managua: Instituto Salvadoreño de Investigaciones del café, 1976. 201p.

RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. **Análise química do solo para fins de fertilidade.** Campinas: Fundação Cargil, 2012. 170p.

RODRIGUES, Núbia Aparecida. **Comportamento dos custos de produção do café arábica em relação aos fatores climáticos.** 2013.

SALGUERO, Justino et al. **Competitividade e qualidade do mercado de café no Brasil: uma análise por meio do modelo do diamante de Porter.** 2010.

SAKIYAMA, N. S. et al. **Café arábica: do plantio a colheita.** [S.l.]: Ed. UFV, 2015.

SILVA MC da, CASTRO HAO, FARNEZI MMM, PINTO NAVD; SILVA EB. Caracterização química e sensorial de cafés da Chapada de Minas, visando determinar a qualidade final do café de alguns municípios produtores. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.1782-1787, 2013.

SOARES, Bruno Oliveira. **Fitotecnica: cana-de-açúcar e café.** Londrina: Editora e Distribuidora Educacional., 2019.

VARGAS-E G A (2011) **Avaliação das propriedades físicas e qualidade do café em diferentes condições de torrefação**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 98p.

VITORINO, P.F.P.G.; ALVES, J.D.; CHAGAS, S.J.R.; BÁRTHOLO, G.F. Seria a atividade da polifenoloxidase um bom indicativo da qualidade da bebida do café? In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória, ES. **Resumos ...** Brasília, DF. Embrapa Café, 2001. p.1019-1024.