



NANOPARTICULADO NO FORNECIMENTO DE Ca E Mg NA CULTURA DO CAFÉ VIA FERTIRRIGAÇÃO

Waylson Zancanella Quartezeni¹, Estevão Morgan Uliana², Jean Barros de Souza³, Ramon Amaro de Sales⁴ & Talita Aparecida Pletsch⁵

RESUMO: Das tecnologias usadas para aumentar a produtividade e a rentabilidade das culturas agrícolas, a calagem e adubação do solo se destacam entre as principais. Assim a necessidade de encontrar corretivos e fertilizantes com mais eficiência e menos onerosos caracteriza a realidade da agricultura brasileira. Além do calcário, outros materiais corretivos vêm surgindo como opção de uso. Esse trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da tecnologia de nanoparticulado na correção da acidez do solo e fornecimento do Ca e Mg, sendo este produto avaliado em análise de duas fontes de variação: D - diferentes doses do produto recomendado e P - parcelamento da dosagem ou intervalo de aplicação. Cada fonte de variação apresentando quatro 4 tratamentos, sendo eles: D₁ - dose 5 l.ha⁻¹; D₂ - dose 10 l.ha⁻¹; D₃ - dose 15 l.ha⁻¹ e D₄ - dose 18 l.ha⁻¹ para D. E P₁ - uma parcela; P₂ - duas parcelas (aplicação a cada 6 meses); P₃ - três parcelas (aplicação a cada 4 meses) e P₄ - quatro parcelas (aplicação a cada 3 meses) para P. O Delineamento estatístico do experimento foi em Blocos Casualizados (DBC), com arranjo fatorial em faixas ("strip-plot") dos 16 tratamentos, 3 repetições por tratamento, totalizando 48 parcelas experimentais. Os resultados obtidos com tecnologia do nanoparticulado testado, nas dosagens de 10 a 15 l.ha⁻¹, em 2 a 3 aplicações ao ano, tem efeitos positivos e suficientes para suprir as demandas de Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo e na planta para cultura do café conilon, no período de um ano agrícola e nas condições de cultivo.

PALAVRA-CHAVES: Calagem, Adubação, Nanopartículas.

NANOPARTICULATE IN THE SUPPLY OF Ca AND Mg IN COFFEE CULTURE VIA FERTIRRIGATION

ABSTRACT: Of all technologies used to increase productivity and profitability of agricultural crops, soil liming and fertilization stand out among the main ones. Thus, the need to find correctives and fertilizers less costly and more efficient characterizes the reality of Brazilian agriculture. The objective of this work was to evaluate the efficiency of the nanoparticulate technology in the correction of soil acidity and the supply of Ca and Mg. The technology was assessed by analyzing two sources of variation: D - different rates of the product recommended; and P - splitting the rate or application frequency. Each source of variation was subjected to 4 (four) treatments: D₁ - 5 l ha⁻¹; D₂ - 10 l ha⁻¹; D₃ 15 l ha⁻¹, and D₄ 18 l ha⁻¹ for rates D; and P₁ - one split; P₂ - two splits (application every 6 months); P₃ - three splits (application every 4 months); and P₄ - four splits (application every 3 months) for split frequency P. The experiment was arranged in a factorial strip-plot randomized block design (RBD), with 16 treatments and 3 replicates per treatment, totaling 48 experimental plots. Dosages of 10 to 15 l ha⁻¹, in 2 to 3 applications per year, had positive and sufficient effects to supply the demands of Ca²⁺ and Mg²⁺ for Conilon coffee crop, during an agricultural year and in the study cultivation conditions.

KEYWORDS: Liming, Fertilization, Nanoparticles.

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma importante atividade agrícola no Brasil, responsável pela geração de diversos empregos, contribuindo diretamente no agronegócio e com isso, na economia do país. (VALLONE et al., 2009; SERRANO; SILVA; FORMENTINI, 2011). Dentre as práticas que

contribuem para o sucesso da produção cafeeira, podemos citar a nutrição mineral, uma vez que os solos onde se cultiva essa espécie, são em sua maioria pobre em nutrientes, ocasionado principalmente por efeito do intemperismo.

Um dos fatores que mais afetam a disponibilidade de nutrientes para as plantas esta relacionado a seu pH, sendo que a acidez ou alcalinidade do solo em excesso reduz drasticamente a absorção de nutrientes pelas plantas (BAMBOLIM et al., 2015).

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo/Campus Montanha. Email: waylson.quartezeni@ifes.edu.br

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo/Campus Itapina. E-mail: estevao.morgan@gmail.com

³ Ufes -Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: ramonamarodesales@gmail.com

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo/Campus Montanha. E-mail: talitapletsch@gmail.com

Portanto, a correção da acidez do solo em uma cultura torna-se uma ferramenta de extrema importância para o aumento de uma produção agrícola.

A utilização da calagem é uma prática muito utilizada nas lavouras brasileiras, visto que seus efeitos estão relacionados ao aumento de pH, disponibilidade de Ca e Mg, além da redução dos efeitos tóxicos causados pelo Al (RAIJ, 2011). Os efeitos benéficos da calagem também são observados por Carmo e Silva (2016), onde os autores informam sua influência direta no aumento na concentração de íons e sais.

A utilização de produtos com maior solubilidade e mobilidade pode se tornar uma boa alternativa na correção do solo, contribuindo principalmente no fornecimento de Cálcio e Magnésio (FIRMANO et al., 2017). Entretanto, deve ser levado em conta que para substituir o método convencional de calagem, o produto precisa corrigir a acidez do solo e melhorar suas condições químicas e físicas por um período mais longo, favorecendo assim o aumento da produção e tornando sua aplicação economicamente viável ao produtor (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

O Cálcio e o Magnésio possuem papéis muito importantes na planta, sendo o primeiro responsável na osmorregulação da planta, além de atuar como mensageiro secundário em resposta a sinais externos (BRAGANÇA et al., 2008; COVRE et al., 2013). O Magnésio é o quarto nutriente mais exigido pelo cafeeiro, desempenhando varias funções chaves, em que sua deficiência ou excesso, afetam muitos processos fisiológicos e bioquímicos (MATIELLO et al., 2010; MARSCHNER, 2012).

A nanotecnologia é uma tecnologia emergente, que pode levar a uma nova revolução em todos os campos da ciência, sendo caracterizado por agregados atômicos ou moleculares com tamanho inferior a 100 nm (RICO et al., 2011; SABIR et al., 2014). Sendo assim, o uso de um corretivo líquido nanoparticulado pode ser capaz de neutralizar os efeitos fitotóxicos do alumínio rapidamente, visto que seu menor tamanho de partícula expõe uma área de contato superficial muito maior.

Diversos fatores podem interferir na correção da acidez do solo, como sua dosagem, a textura do solo, o clima (CAIRES et al., 2008; CHURKA BLUM; CAIRES; ALLEONI, 2013), e no caso do corretivo líquido nanoparticulado, um outro fator deve ser considerado, que é o parcelamento de sua aplicação, uma vez que sua velocidade de reação e seu efeito residual possuem grandezas inversas (GONÇALVES et al., 2011).

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da tecnologia de nanoparticulado na correção da acidez do solo e fornecimento do Ca e Mg para a cultura do café conilon.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em área comercial de café conilon com 25.000 plantas, totalizando 7,5 ha, localizada na Rodovia ES 381, km 28, no município de São Mateus, cujas coordenadas UTM centrais são: 386251.4947m (E) e 7926484.4199m (N) e altitude de 78 m. O solo da área é classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, textura franco argilosa arenosa com relevo plano a suave ondulado, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2013). O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com estação seca no inverno e verão quente e chuvoso. Porém, analisando os últimos anos, a duração desta estação seca aparenta aumentar. Observa-se ainda, um período de baixa precipitação entre os meses de dezembro e janeiro, não muito comum na região, colaborando para uma precipitação anual de 798 mm, consideravelmente baixa para a cultura. Esses meses normalmente apresentam as maiores precipitações, que são fundamentais para a cultura do café conilon na região, ocorrendo nesse período grande parte do enchimento dos grãos. As condições climáticas de precipitação pluviométricas da região são consideradas insuficientes, principalmente pela má distribuição. Havendo então necessidade da aplicação de lâmina d'água auxiliar, o que torna assim, indispensável o uso de irrigação no manejo hídrico da cultura. Para a área em questão, a lâmina d'água auxiliar é fornecida com sistema de irrigação localizada por microaspersão. O manejo hídrico da lavoura, para realização da fertirrigação, foi realizado e monitorado por meio de tensiômetros e do Irrigâmetro, um instrumento que introduz grande simplicidade no manejo da água em áreas irrigadas (OLIVEIRA; RAMOS, 2008). A espécie de café cultivada é a *Coffea canephora* Pierre, Var. Conilon "VITÓRIA INCAPER 8142", já em estágio de produção, com 5 anos de idade, espaçamento 3,0 x 1,0 m e manejada em sistema de fertirrigação por microaspersão. O produto nanoparticulado utilizado foi o LITHOCAL Ca + Mg - Gel®, da empresa LITHOPLANT- Indústria e Comércio de Fertilizantes. O produto é uma tecnologia comercializada como fertilizante mineral misto, recomendado para o fornecimento de Cálcio e Magnésio, com aplicação diretamente no solo, na forma de pulverização em área total, em cova e ou suco de plantio. A tecnologia LITHOCAL apresenta as seguintes características: Natureza física em gel (suspensão homogênea); composição em Água, Carbonato de Cálcio e Óxido de Magnésio com 18,5% (315 g.l⁻¹) de Cálcio Total (Ca); 6,0% (102 g.l⁻¹) de Magnésio Total (Mg) e densidade de 1,7 Kg.l⁻¹. O experimento foi conduzido durante 12 meses, de outubro/2015 a outubro/2016), completando assim 1 (um) ano agrícola e consistiu em analisar duas fontes de variação: D - diferentes doses do produto recomendado e P - parcelamento da dosagem ou intervalo de aplicação. Cada fonte de variação apresentando quatro 4 tratamentos, sendo eles: D₁ - dose 5 l.ha⁻¹; D₂ - dose 10 l.ha⁻¹; D₃ - dose 15 l.ha⁻¹ e D₄ - dose 18 l.ha⁻¹ para D. E P₁ - uma parcela; P₂ - duas parcelas (aplicação a cada 6 meses); P₃ - três parcelas (aplicação a cada 4 meses) e P₄ - quatro parcelas

(aplicação a cada 3 meses) para P. O Delineamento estatístico do experimento foi em Blocos Casualizados (DBC), com arranjo fatorial em faixas (“strip-plot”) dos 16 tratamentos, totalizando 48 parcelas experimentais. O arranjo fatorial em faixas (“strip-plot”) foi determinado em função da área, por se tratar de um experimento que depende do sistema de irrigação já montado em campo. Antes da aplicação do produto nanoparticulado, inicialmente foram realizadas análises químicas de solo e de plantas da área, para identificação do comportamento da fertilidade e do estado nutricional. A tecnologia do nanoparticulado avaliado foi aplicado no solo via sistema de fertirrigação. Por ser altamente concentrado, o produto nanoparticulado foi inicialmente pré-diluído em água, na proporção de 1 L do produto para 20 L de água, misturando a solução até um ponto em que o produto se encontrava totalmente dissolvido à água, sem a presença de material decantado no fundo do recipiente. Posteriormente, a solução de 20 L, contendo água e a tecnologia do nanoparticulado, foi adicionada na alimentação (caixa d’água de 500 L) do sistema de fertirrigação, que já se encontrava com 50 % da sua capacidade contendo água, para facilitar a diluição e, completado o seu volume para finalizar o processo. Utilizando um aparelho multiparâmetro de bolso da marca e modelo HANNA HI 96304, foram feitas as leituras do pH e da condutividade elétrica (CE) da solução, contendo o nanoparticulado mais água, para auxiliar no tempo de aplicação. Repetiu-se esse processo para cada tratamento do experimento. Para a análise química de solo, foram retiradas amostras da profundidade de 0,0 - 0,20 m, na região de molhamento do microaspersor, com auxílio de trado holandês e sonda. E para análise do estado nutricional das plantas, foram retiradas amostras do 3º e 4º par de folhas dos ramos produtivos de ambos os lados das plantas. Foram realizadas análises de variância dos dados quantitativos, para estudo da interação entre as fontes de variação dose e tratamento, e observado a sua significância pelo teste F. E análise de regressão para estudo do efeito residual do nanoparticulado ao longo do tempo, utilizando valores de referência das concentrações dos nutrientes no solo e na folha para a cultura do cafeeiro, propostos por Prezotti et al. (2007).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar os dados deste experimento, foi possível observar que para a variável Cálcio (Ca^{2+}), todas as doses com apenas uma aplicação (P_1) ao ano apresentaram valores de Ca^{2+} no solo abaixo de 30 $\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3}$, valor de referência. A interação D_3P_1 , dose de 15 l.ha^{-1} em apenas uma aplicação ao ano, apresentou correlação negativa, demonstrando que, para esse tratamento, com o passar do tempo à concentração de Ca no solo diminuiu significativamente, conforme Figura 01 (a). A diminuição dos teores de Cálcio no solo para os tratamentos com apenas uma aplicação pode estar ligado a rápida disponibilidade desses íons para as plantas, no qual parte pode ser absorvida, e parte lixiviada para as camadas mais profundas do solo, sendo substituído pelo alumínio. Quartezani et al. (2015), avaliando o efeito residual de um produto nanoparticulado no solo,

verificou que a aplicação do corretivo líquido em um único parcelamento teve um decréscimo linear nos teores de Cálcio no solo, corroborando com os resultados deste experimento. Os tratamentos D_3P_3 (r^2 : 0,90) e D_2P_2 (r^2 : 0,86) obtiveram os maiores efeitos residuais no fornecimento de Ca^{2+} no solo. Além desses, a interação D_4P_2 e D_3P_2 apresentaram resultados significativos para o fornecimento de Cálcio no solo, promovendo um aumento em seu efeito residual. Ao final de um ano agrícola, com exceção da dose D_3P_2 :15 l.ha^{-1} em duas aplicações ao ano, todos esses tratamentos tiveram seus valores acima de 30 $\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3}$, valor de referência. Entretanto, apesar da interação D_3P_2 ter apresentado valor abaixo da referência, ainda sim, teve um aumento de mais de 55% na concentração de Cálcio no solo. Portanto, percebe-se que, a utilização do nanoparticulado promoveu um aumento na disponibilidade de Cálcio no solo, e com isso, na produção, desde que sua aplicação seja parcelada. Outros autores relatam que produtos nanoparticulados podem favorecer o aumento da produção agrícola, como Sabir et al. (2014), sobre o fornecimento de ZnO para as plantas, e Batsmanova et al. (2013), com o uso de metais biogênicos a base de água, tais como Fe, Mn, Zn, Mo, Co, Cu e Pradhan et al. (2013), que notaram um aumento da fotossíntese na espécie *Vigna radiata* pelo uso de nanopartículas de manganês.

Na Figura 01 (b), para as doses em duas aplicações ao ano, pode-se observar que após o tempo 6 (meses), ocorreu um aumento expressivo na concentração de Ca^{2+} no solo. Sendo esse tempo, exatamente o 2º momento de aplicação do produto nanoparticulado, para essas doses. Essa reaplicação aumentou o efeito residual no solo, já existente na primeira aplicação, promovendo a manutenção da concentração de Ca^{2+} a partir do 6º mês, permanecendo a subir, até os 12 meses de avaliação. Esse mesmo comportamento pode ser observado para a dose D_3P_3 :15 l.ha^{-1} em 3 aplicações ao ano, com esse aumento expressivo ocorrendo, após o tempo 4, sendo esse, justamente o 2º momento de aplicação do nanoparticulado para este tratamento. Quartezani et al. (2015), avaliando produto nanoparticulado no solo, com mesma cultura e tipo de solo, observou para o Ca^{2+} , um efeito residual superior ao tratamento com calcário em pó, até o terceiro mês de avaliação, a partir do qual, a concentração de Ca^{2+} no solo diminuiu drasticamente.

Quando avaliamos os efeitos das interações dose e parcelamento do nanoparticulado na concentração de Ca^{2+} na folha, encontramos, conforme Figura 01 (c), correlação significativa e positiva para todos os tratamentos. E ainda, para todos os casos, os valores de Ca^{2+} ficando acima de 14 g.kg^{-1} , valor de referência, durante o período de avaliação de 8 meses. Com esses resultados, até mesmo as menores doses de D_1 : 5 l.ha^{-1} com apenas uma aplicação ao ano, são suficientes para atender as demandas de Ca^{2+} exigidos pela planta, no período de 8 meses de avaliação, com os tratamentos sinalizando movimento de queda na concentração de Ca^{2+} na folha, somente a partir do 6º mês de avaliação. E, mesmo assim, com teores variando de 22 a 26 g.kg^{-1} , valores bem acima dos 14 g.kg^{-1} , considerado como de

referência para o Ca^{2+} na folha do café. Sendo assim, esses resultados comprovam que, uma dose da tecnologia do nanoparticulado de 10 a 15 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$ parceladas de 2 a 3 vezes ao ano, tem efeitos positivos e suficientes para suprir as demandas de Ca^{2+} no solo e na folha, no período de um ano de cultivo agrícola nas condições e cultura da área experimental. Segundo Chhipa (2017), o menor tamanho e a maior superfície de contato é o que tornam os materiais nanoparticulados mais eficientes em comparação aos materiais a granel, e

com isso, sendo absorvidos com maior facilidade, sendo explorados não somente nos fertilizantes, mas também em fungicidas e inseticidas (nanopesticidas), devido seu impacto positivo no controle de pragas e doenças (LIU et al., 2006; DELFANI et al., 2014; PARISI; VIGANI; CERESO, 2014; KASHYAP; XIANG; HEIDEN, 2015).

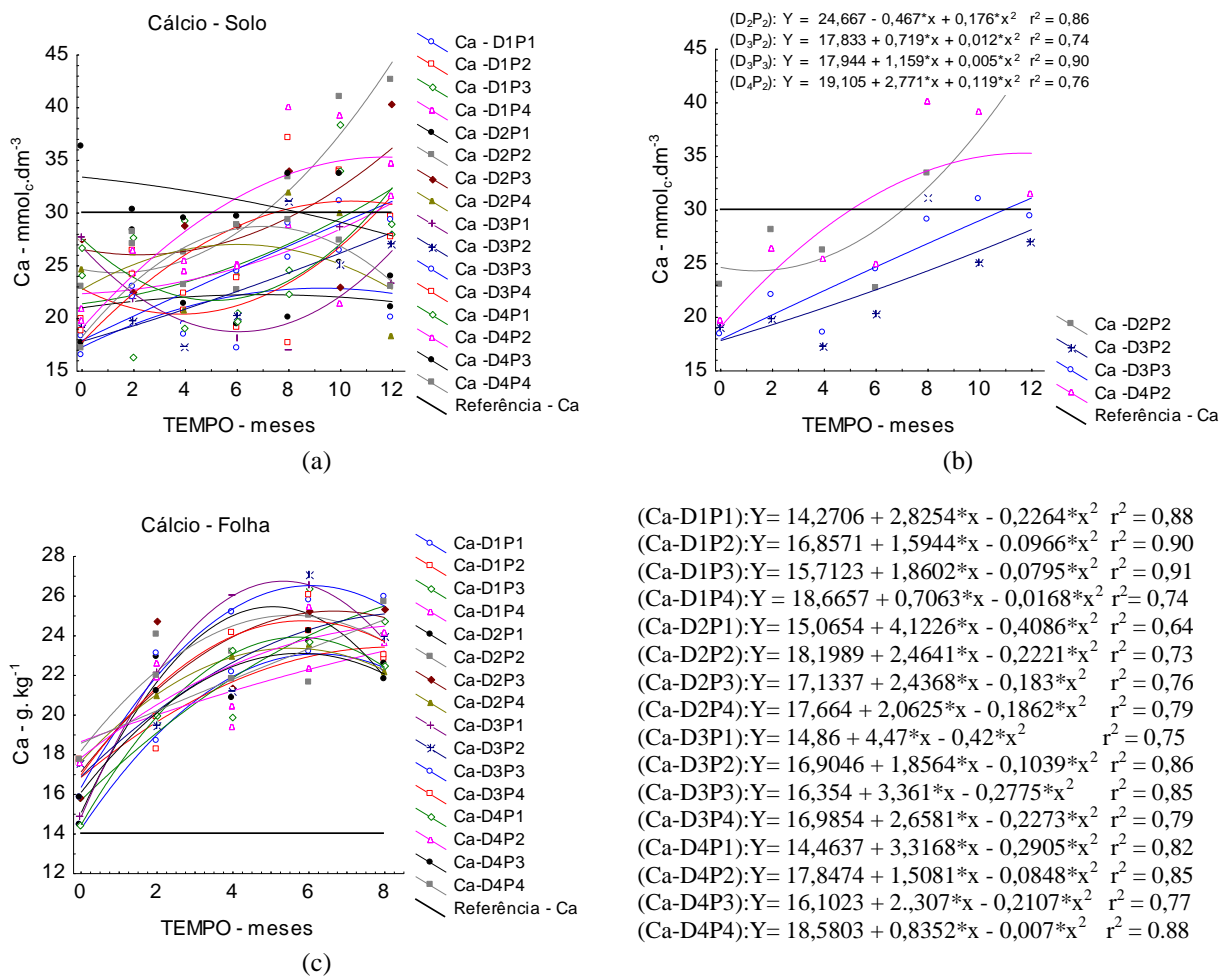


Figura 1 - Curvas de regressão dos tratamentos interação dose e parcelamento para o Cálcio no solo (a) todos os tratamento e (b) tratamentos com maior significância e na folha (c).

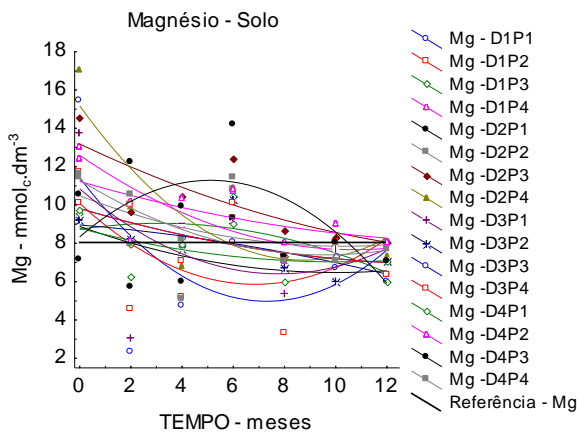
Nas Figuras 02 (a) e (b), temos os resultados das interações dose e parcelamento do nanoparticulado para a concentração de Mg^{2+} no solo. Todos os tratamentos apresentaram comportamento residual insuficiente para promover o aumento da concentração de Mg^{2+} no solo ao longo do tempo, com todos eles apresentado correlação negativa, assim como encontrado por Quartezani et al (2015), avaliando efeito residual de produto nanoparticulado no solo, para a variável Mg^{2+} . Porém, com teores próximos de 6 - 8 $\text{mmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$, valor de referência do Mg^{2+} no solo, isso ao final de 12 meses de avaliação. As doses D_1 : 5 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$ e D_2 : 10 $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$ parceladas em 4 e 3 vezes, respectivamente, foram as interações que demonstraram as maiores correlações negativas, logo, os menores efeitos residuais no solo para o Mg^{2+} , conforme

Figura 02 (b). Uma das possíveis explicações para esses resultados, esta atrelada ao tipo de solo da região e a cultura estudada, onde esse tipo de solo tem baixa capacidade de armazenamento de água, e a cultura em produção tem uma alta demanda hídrica. É comum encontrarmos na literatura deficiências de Mg^{2+} em Latossolos cultivados com café conilon. E ainda, deficiências de Mg^{2+} , em função do deficit hídrico acentuado (MALAVOLTA, 1986).

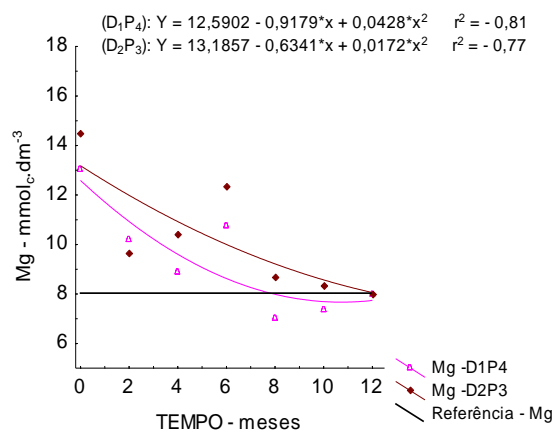
Porém quando avaliamos as doses e parcelamentos do nanoparticulado na concentração de Mg^{2+} da planta, encontramos resultados totalmente oposto daqueles apresentados no solo. Em que, todas as interações estão com correlação alta e positiva, conforme Figura 02 (c).

Os tratamentos que apresentavam valores entre 1,9 e 2,6 g.kg⁻¹ de Mg²⁺ na folha, no tempo 0 (zero), início da avaliação, atingiram no 4º mês de avaliação valores acima de 3,2 g.kg⁻¹, valor de referência do Magnésio na folha para a cultura do café, e continuando a subir até o final dos 8 meses de avaliação. A dose D₃: 15 l.ha⁻¹ parcelada em 2 (P₂) e 3 (P₃) vezes, com os maiores valores de r² (0,97), teve o melhor resultado no aumento do teor de Mg²⁺ na planta, com os valores iniciais de 2,0 g.kg⁻¹ passando a atingir 4,8 g.kg⁻¹ ao final de 8 meses de avaliação, valor bem acima do referencial para o Mg²⁺ na planta.

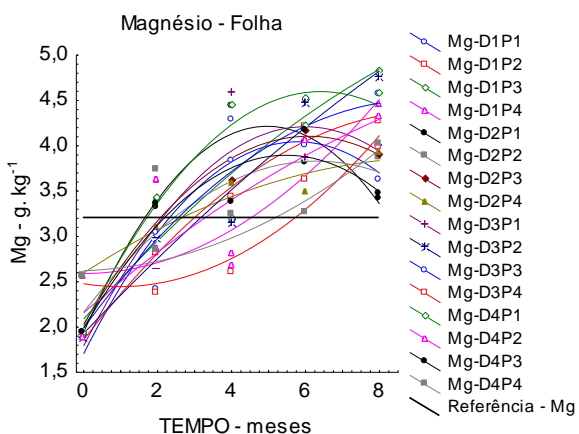
O fato da nanotecnologia apresentar moléculas de tamanho menor e sendo assim, maior superfície específica, pode ter favorecido a entrada desse nutriente nas plantas e seu movimento através dos vasos condutores. Rico et al. (2011), propuseram que a ligação de nanopartículas com as proteínas transportadoras são úteis na internalização celular, podendo se mover facilmente através de canais iônicos, aquaporinas e endocitose.



(a)



(b)



(c)

- (Mg-D1P1): Y = 1,706 + 0,809*x - 0,07*x² r² = 0,76
- (Mg-D1P2): Y = 1,8583 + 0,5347*x - 0,0282*x² r² = 0,97
- (Mg-D1P3): Y = 2,0883 + 0,4602*x - 0,0145*x² r² = 0,95
- (Mg-D1P4): Y = 2,5914 - 0,0009*x + 0,0302*x² r² = 0,93
- (Mg-D2P1): Y = 1,942 + 0,917*x - 0,0925*x² r² = 0,61
- (Mg-D2P2): Y = 2,1629 + 0,5301*x - 0,0421*x² r² = 0,75
- (Mg-D2P3): Y = 2,0334 + 0,6816*x - 0,0561*x² r² = 0,85
- (Mg-D2P4): Y = 2,5966 + 0,2664*x - 0,0139*x² r² = 0,94
- (Mg-D3P1): Y = 1,792 + 0,808*x - 0,0675*x² r² = 0,78
- (Mg-D3P2): Y = 1,9294 + 0,4306*x - 0,0086*x² r² = 0,97
- (Mg-D3P3): Y = 1,9911 + 0,5529*x - 0,0304*x² r² = 0,97
- (Mg-D3P4): Y = 2,478 - 0,0655*x + 0,0338*x² r² = 0,89
- (Mg-D4P1): Y = 2,0097 + 0,8078*x - 0,063*x² r² = 0,88
- (Mg-D4P2): Y = 2,1574 + 0,3556*x - 0,0111*x² r² = 0,83
- (Mg-D4P3): Y = 1,9874 + 0,6966*x - 0,0636*x² r² = 0,74
- (Mg-D4P4): Y = 2,6206 + 0,0184*x + 0,0186*x² r² = 0,95

Figura 2 - Curvas de regressão dos tratamentos interação dose e parcelamento para o Magnésio no solo (a) todos os tratamento e (b) tratamentos com maior significância e na folha (c).

Apesar das doses e parcelamentos testados do nanoparticulado terem apresentado correlação negativa para o teor de Mg²⁺ no solo, ao final de 12 meses de avaliação, os valores ficaram próximos de 6 - 8 mmol_c.dm⁻³. E ainda, para a concentração de Mg²⁺ na planta todas as interações tiveram correlação positiva e acima de 3,2 g.kg⁻¹, ao final de 8 meses de avaliação, com a dose D₃: 15 l.ha⁻¹ parcelada em 2 (P₂) e 3 (P₃) vezes com o melhor efeito residual no fornecimento de Mg²⁺.

Alguns resultados encontrados mostraram dificuldades no seu perfeito entendimento, como: valores de Ca²⁺ e Mg²⁺ maiores na folha e menores no solo; tratamento

com a maior dose de 18 l.ha⁻¹ do nanoparticulado, apresentando como resultados, valores menores de Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo, que os tratamentos com menores doses do nanoparticulado; isso atrelado ao fato do solo da área de estudo ter CTC baixa. Com esses resultados, levanta-se a hipótese, que a tecnologia do nanoparticulado diminui a necessidade de uma alta CTC do solo para o ideal fornecimento de nutrientes Ca²⁺ e Mg²⁺ as plantas, em função do aumento da superfície específica, que leva a uma maior absorção de cátions pelas plantas por fluxo de massa, ficando os nutrientes prontamente disponíveis na solução do solo e diminuindo assim a necessidade da liberação dos cátions que estão retidos no solo, na

superfície dos coloides minerais e orgânicos, através da CTC.

Segundo Liu e Lal (2015), os nanoparticulados possuem capacidade de se dissolverem na solução do solo e liberam os nutrientes presentes no material como íons solúveis, onde as plantas absorvem esses íons em uma quantidade muito alta, podendo ser essa a razão da alta concentração dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} na planta e baixa no solo. Sendo assim, a tecnologia do nanoparticulado seria uma ferramenta fundamental para uso em solos arenosos, de argilas 1:1 de baixa atividade e baixa CTC, diminuindo a lixiviação de nutrientes.

4 CONCLUSÃO

A tecnologia de nanoparticulado testado, nas dosagens de 10 a 15 l.ha^{-1} , em 2 a 3 aplicações ao ano, tem efeitos positivos e suficientes para suprir as demandas de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo e na planta, para cultura do café conilon, no período de um ano agrícola e nas condições de cultivo.

Com a tecnologia do nanoparticulado, aparentemente, diminuí-se a necessidade de uma alta CTC do solo para o ideal fornecimento de nutrientes Ca^{2+} e Mg^{2+} as plantas.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – Fapes, a empresa Litho Plant Indústria e Comércio de Fertilizantes e ao Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes campus Montanha, que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa.

6 REFERÊNCIAS

BAMBOLIM, A.; CAIONE, G.; SOUZA, N. F.; JUNIOR, G. D. F. S.; FERBONINK, G. F. Calcário líquido e calcário convencional na correção da acidez do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 2, n. 3, p. 34-38, 2015.

BATSMANOVA, L. M.; GONCHAR, L. M.; TARAN, N. Y.; OKANENKO, A. A. Using a colloidal solution of metal nanoparticles as micronutrient fertiliser for cereals. **Proceedings of the International Conference on Nanomaterials: Applications and Properties**. Crimea, Ukraine, v. 2, n. 4, p. 1-2, 2013.

BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, H. E. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, L. P.; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ V. V. H.; LANI, J. A. Accumulation of Macronutrients for the Conilon Coffee Tree. **Journal of plant Nutrition**, Philadelphia, v. 31, n. 1, p. 103-120, 2008.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORREA, J. C. L. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 57-64, 2008.

COVRE, A. M.; PARTELLI, F. L.; MAURI, A. L.; DIAS, M. A. Crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de café Conilon. **Revista Agro@ mbiente On-line**, Boa Vista, v. 7, n. 2, p. 193-202, 2013.

CHHIPA, H. Nanofertilizers and nanopesticides for agriculture. **Environmental Chemistry Letters**, New Delhi, v. 15, n. 1, p. 15-22, 2017.

CHURKA BLUM, S.; CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. Lime and phosphogypsum application and sulfate retention in subtropical soils under no-till system. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v. 13, n. 2, p. 279-300, 2013.

DELFANI, M.; FIROUZABADI, M. B.; FARROKHI, N.; MAKARIAN, H. Some physiological responses of black-eyed pea to iron and magnesium nanofertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 45, n. 4, p. 530-540, 2014.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

FIRMANO, R. F.; MELO, T. R.; JORDÃO, L. T.; FREITAS, G. A. Fontes com Cálcio e Magnésio nos atributos químicos de um latossolo e na produtividade da soja. **Scientia Agraria Paranaensis** Cascavel, v. 16, n. 1, p. 27-31, 2017.

GONÇALVES, J. R. P.; MOREIRA, A.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; BOAS, R. L. V. Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 369-375, 2011.

KASHYAP, P. L.; XIANG, X.; HEIDEN, P. Chitosan nanoparticle based delivery systems for sustainable agriculture. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildfor, v. 77, p. 36-51, 2015.

LIU, R.; LAL, R. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 514, p. 131-139, 2015.

LIU, X. M.; FENG, Z. B.; ZHANG, F. D.; ZHANG, S. Q.; HE, X. S. Preparation and testing of cementing and coating nano-subnanocomposites of slow/controlled-release fertilizer. **Agricultural Sciences in China**, v. 5, n. 9, p. 700-706, 2006.

MALAVOLTA, E. **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. 2. ed. Potafós: Piracicaba, 1986. 447 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. Variedades de café. In: MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. (Eds.). **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações**. MAPA/PROCAFÉ, Varginha, 2010. p. 63-98.

OLIVEIRA, R. A.; RAMOS, M. M. **Manual do irrigâmetro**. Viçosa, MG: UFV, 2008. 144 p.

PARISI, C.; VIGANI, M.; CERESO, E. R. **Proceedings of a Workshop on Nanotechnology for the agricultural sector: from research to the field**. Luxemburgo: Institute for Prospective Technological Studies, Joint Research Centre, 2014. 36 p.

PRADHAN, S.; PATRA, P.; DAS, S.; CHANDRA, S.; MITRA, S.; DEY, K. K.; AKBAR, S.; PALIT, P.; GOSWAMI, A. Photochemical modulation of biosafe manganese nanoparticles on *Vigna radiata*: a detailed molecular, biochemical, and biophysical study. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 47, n. 22, p. 13122-13131, 2013.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de recomendação e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação**. Vitória: SEEEE/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305 p.

QUARTEZANI, W. Z.; PLETSCH, T. A.; CASTRO, F. S.; PEREIRA, V. R. R. Efeito residual de corretivo líquido na acidez do solo na cultura do café. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30, n. 2, p. 150-154, 2015.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.

RICO, C. M.; MAJUMDAR, S.; DUARTE-GARDEA, M.; PERALTA-VIDEA, J. R.; GARDEA-TORRESDEY, J. L. "Interaction of nanoparticles with edible plants and their possible implications in the food chain," **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 59, n. 8, p. 3485-3498, 2011.

SABIR, S.; ARSHAD, M.; CHAUDHARI, S. K. Zinc oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: synthesis and applications. **The Scientific World Journal**, Cairo, v. 2014, n. 2014, p. 1-8, 2014.

SERRANO, L. A. L.; SILVA, V. M.; FORMENTINI, E. A. Uso de compostos orgânicos no plantio do cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 1, p. 100-107, jan./fev. 2011.

SOUSA, D. M. G. MIRANDA, L. G.; OLIVEIRA, S. A.. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R.

L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J.C. (Ed.). **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

VALLONE, H. S.; GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S.; DIAS, F. P.; CARVALHO, A. M. Recipients and substrates in the production of seedlings and initial development of coffee trees after planting. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1327-1335, 2009.