

INFLUÊNCIA NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO (*ZEAMAYS* L.) EM RELAÇÃO A VARIABILIDADE ESPACIAL DA ATIVIDADE MICORRÍZICA

*Influence on soil phosphorus availability and maize crop yield in
relation to spatial variability of mycorrhizal activity*

Fernanda Marcolan de Souza¹, Elias Abel Barboza², Antônio Luis Santi³, Pedro Felipe
Brum de Bastos⁴, Renata Candaten⁵, Isaura Luiza Donati Linck⁶, Fagner Augusto Rontani⁷
^{1,2,3,4,5,6,7} Universidade Federal de Santa Maria, Linha 7 de Setembro - BR 386 Km 40, 98400-000,
Frederico Westphalen – RS, Brasil, fernanda22ms@gmail.com, elias.inovar@hotmail.com,
santi_pratica@yahoo.com.br, pedroffb@hotmail.com, renatacandatten@outlook.com,
isauralinck@hotmail.com, fagner_rontani@outlook.com

RESUMO

A exigência nutricional da cultura do milho aliada a variabilidade de fósforo (P) no solo, é um entrave encontrado na maioria das áreas cultivadas da região sul do Brasil. A fim de se verificar meios de aproveitar a absorção deste nutriente pela planta, faz-se necessário o estudo de formas que demonstram a relação do P com associações do solo, como é o caso dos fungos micorrízicos. O objetivo deste trabalho foi diagnosticar a variabilidade dos teores de fósforo no solo e as suas relações com a porcentagem de infecção micorrízica na cultura do milho (*Zea mays*), verificando o impacto desta associação com a produtividade. O tamanho da grade amostral foi de 0,33 hectare com 24 pontos amostrais. Após a aquisição dos dados utilizou-se a estatística descritiva para analisá-los, sendo utilizada a correlação de Pearson para diagnosticar as relações entre as variáveis e a geração de mapas temáticos para correlacioná-los. Foi verificada grande similaridade entre a variabilidade de fósforo no solo e a variabilidade de infecção micorrízica, consequentemente, na produtividade da cultura do milho.

Palavras-chave: Colonização. Fungos. *Zea mays*.

ABSTRACT

The nutritional requirement of maize crop combined with phosphorus (P) variability in soil is an obstacle present in most cultivated areas of southern Brazil. In order to verify the means to take advantage of the absorption of this nutrient by the plant, it is necessary to study forms that demonstrate the relation of P with soil associations, as is the case of mycorrhizal fungi. The objective of this work was to diagnose the variability of phosphorus levels in the soil and its relation with the percentage of Mycorrhizal infection in the maize crop (*Zea mays*), verifying the impact of this association with yield. The grid sampling size was 0.33 hectares with 24 sampling points. After the data acquisition, descriptive statistics were used to analyze them, using Pearson's correlation to diagnose the relation between the variables and the generation of thematic maps to correlate them. It was verified a great similarity between the soil phosphorus variability and the variability of mycorrhizal infection and consequently, in the maize crop yield.

Keywords: Colonization. Fungi. *Zea mays*.

1 INTRODUÇÃO

O setor agrícola encontra-se em constante ascensão, o que vem demandando cada vez mais a atenção do setor de pesquisa e tecnologia, pois este representa uma peça chave para o desenvolvimento de toda a economia do país. Atualmente este aumento de produtividade também representa maior economia e lucratividade para o empreendimento agrícola, ou seja, maior eficiência, cenário este que leva o produtor em busca de novas ferramentas. E é neste momento que entra em cena a agricultura de precisão (AP).

Através da AP o produtor trabalha buscando uniformizar os componentes químicos e físicos do solo, homogeneizando a fertilidade das áreas e conseguindo administrar a propriedade de forma mais eficiente. Desta forma, a AP permite ao produtor explorar a

variabilidade dos nutrientes em áreas cultivadas, gerando condições favoráveis para que a cultura consiga expressar seu real potencial.

Principalmente pelo fato da maioria dos solos do Brasil apresentarem características de baixa fertilidade, verifica-se que um dos principais problemas nutricionais em áreas de uso agrícola é o fósforo (P) pois, normalmente este é um nutriente que se apresenta em baixa concentração natural no solo e quando presente, sua disponibilidade para as plantas depende das interações que ocorrem no solo, entre as quais destaca-se a forte interação com as argilas. O fósforo é de extrema importância para o desenvolvimento das plantas, é componente estrutural das células, e também é responsável por ser parte de compostos que fornecem energia como o ATP (GATIBONI, 2003).

A cultura do milho é uma das espécies mais cultivadas no mundo, sendo seu consumo elevado devido ser uma excelente fonte de energia. Para esta cultura, o P exerce papel importante na formação da espiga, e sua deficiência pode causar redução na emissão e no crescimento das folhas exercendo interferindo diretamente a emergência das raízes nodais, fazendo com que ocorra redução da capacidade da planta de absorver este elemento do solo (GRANT et al., 2001).

A atividade biológica do solo é uma das maiores responsáveis por realizar a reciclagem do fósforo, possibilitando uma maior disponibilidade deste nutriente para a planta. Fungos micorrízicos incrementam a absorção de nutrientes, em especial de fósforo, também aumentam a tolerância das plantas a diversos tipos de estresses, proporcionando condições mais eficientes de crescimento e reprodução (ARAUJO & HUNGRIA, 1994). Ferreira e Bemficasteffen (2015) acrescentam ainda, que pelo fato das hifas dos fungos possuírem maior afinidade pelo P do que as raízes das plantas, em solos pobres nesse elemento, como é o caso da maioria dos solos tropicais, essa associação se torna vantajosa para os vegetais, pois além do efeito a nutrição, estes fungos conferem a planta maior resistência a doenças, pragas e ao déficit hídrico.

As micorrizas são fungos que se caracterizam por estabelecer relações simbióticas com as raízes das plantas, aumentando a área de exploração nutricional das mesmas, consequentemente promovendo um possível aumento na produção (ANTONIOLLI & KAMINSKI, 1991). Assim, este trabalho objetivou diagnosticar a variabilidade dos teores de fósforo no solo e as suas relações com a porcentagem de infecção micorrízica em raízes de milho (*Zea mays*), e contabilizar se estas relações impactam no potencial produtivo da cultura.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Irmãos Barboza, município de Não Me Toque, Rio Grande do Sul, localizada entre as coordenadas -28°28'15" e -28°28'00" S e 52°52'45" e 52°52'15" W. O trabalho foi realizado no ano de 2015, em solo classificado como Latossolo Vermelho típico (EMBRAPA, 2013), possuindo relevo com poucas ondulações. O clima é Cfa (Köppen-Geiger) com precipitações anuais em torno de 1800mm. As precipitações e suas distribuições durante a condução do experimento estão representadas na Figura 1.

A implantação do experimento foi realizada em uma área de oito hectares (Figura 2), sendo esta dividida em uma grade amostral composta por 24 pontos de 0,33 hectares cada (Figura 3). Utilizou-se software Campeiro 7, para formação dos grades amostrais e posterior transferência dos dados para o GPS Garmin GPS 72H.

A semeadura do milho ocorreu no dia 12/08/2015, com uma semeadora da marca Sfil 11.000, com espaçamento entre linhas de 0,48m, adotando o sistema de semeadura direta sob palhada de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), dessecada 50 dias antes da mesma. A densidade de semeadura foi de aproximadamente 4 sementes por metro, em uma profundidade de 0,05m.

Figura 1. Índices pluviométricos ao longo da condução do experimento.

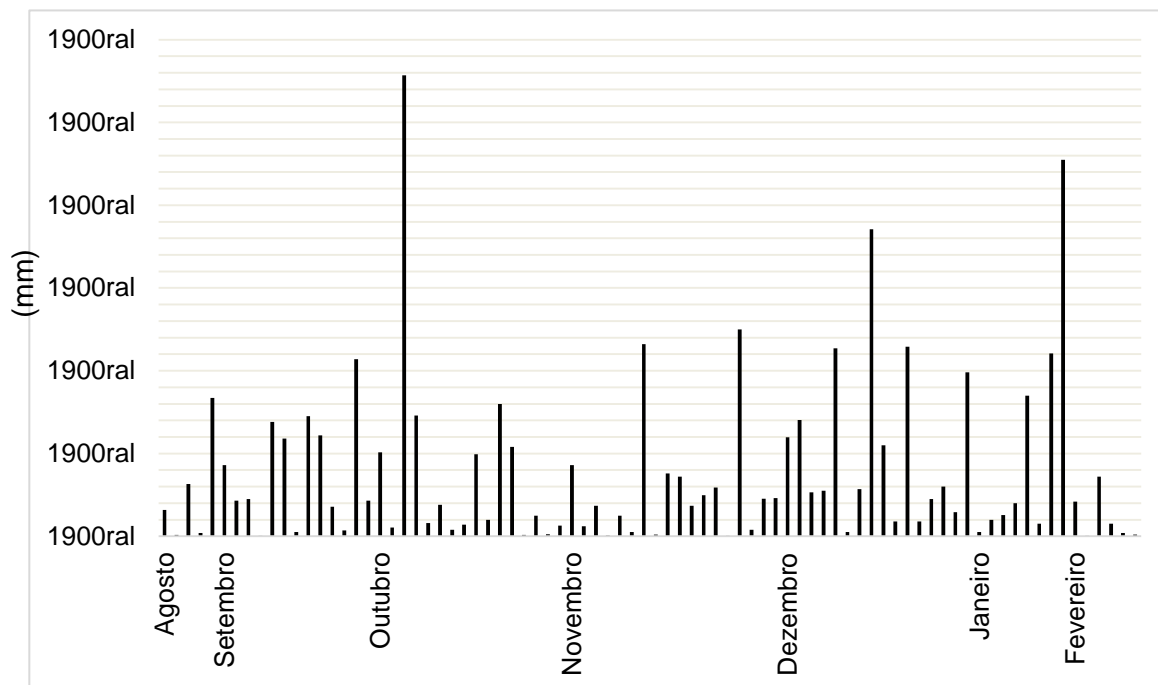


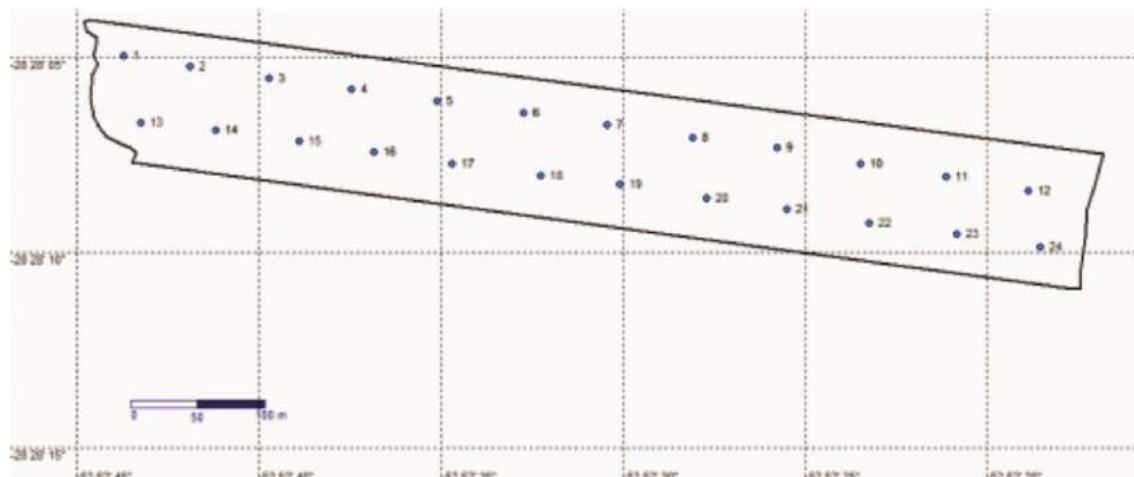
Figura 2. Local do experimento e pontos de coleta.



A adubação baseou-se nas interpretações da análise de solo conforme recomendações para a cultura. No sulco de semeadura, a adubação utilizada foi de 395Kg ha^{-1} da formulação 9-25-20, sendo que em cobertura foram aplicados 300Kg ha^{-1} de ureia divididos em duas aplicações, a primeira no estágio fenológico de V4 e a segunda em V8. O controle de pragas e de plantas daninhas foi realizado de mesmo modo para toda a área em estudo.

As coletas de solo para análise dos teores de fósforo foram realizadas no dia 17/11/2015 com pá de corte, entre as linhas de semeadura, coletando-se somente uma porção de 5cm de largura a 20cm de profundidade. As amostras de solo foram identificadas e encaminhadas para análise no laboratório de análise de solos da CCGL (Cooperativa Central Gaúcha Ltda), para análise do pH e conteúdo de fósforo disponível.

Figura 3. Pontos de coleta e detalhe da grade amostral utilizada.



No dia 18/11/2016 foram realizadas as coletas de raízes para análise de cobertura micorrízica. As amostras foram coletadas com o auxílio de uma pá de corte para que a mesma auxiliasse no arranquio das plantas, evitando assim danos no sistema radicular. Foi coletada uma planta por ponto amostral, na profundidade de 30 cm. Em seguida, realizou-se a lavagem do sistema radicular das plantas coletadas, até as ramificações ficarem na coloração branca. A fim de se evitar o contato das mãos com as raízes, utilizou-se uma pinça para coletar 10 gramas de pelos radiculares das plantas, sendo estes armazenados em frascos de plástico contendo álcool 40%, onde este garante a integridade e viabilidade das raízes até serem avaliadas em laboratório. As análises de percentual de cobertura micorrízica foram realizadas pelo Laboratório de Análise Microbiológica da Universidade de Santa Maria.

Tanto a coleta de solo quando a de raízes foram realizadas no momento de plena antese da cultura em estudo, devido a simbiose entre fungo e planta ser maior neste período (ANTONIELLI, 2014).

A colheita foi realizada de forma manual, quando as plantas estavam em plena maturação fisiológica do grão, o que acontece no momento em que 50% das sementes na espiga apresentam uma pequena mancha preta no ponto de inserção das mesmas com o sabugo.

Foram colhidas as espigas de duas fileiras de 2,5m de comprimento as quais se localizavam próximas do ponto amostral, a partir da planta coletada para análise de micorrizas. Após a debulha dos grãos, procedeu-se a avaliação do rendimento de grãos de cada ponto amostral, em seguida determinou-se a umidade destes grãos e por fim, corrigiu-se a umidade para 13% e o peso foi extrapolado para kg ha^{-1} .

O tratamento dos dados obtidos a campo foi realizado pela estatística descritiva, calculando-se as medidas de posição (mínima, média e máxima) e de dispersão (coeficiente de variação, assimetria e curtose). Conforme descrito por Gomes e Garcia (2002), os valores de coeficiente de variação (CV) foram classificados como baixo ($\text{CV} \leq 10\%$), médio ($10 \leq \text{CV} \leq 20\%$), alto ($20 \leq \text{CV} \leq 30\%$) e muito alto ($\text{CV} \geq 30\%$). A hipótese de normalidade foi avaliada pelo teste W ($p \leq 0,05$). O teste de correlação linear de Pearson ($p > 0,05$) foi realizado utilizando o software Statistical Analysis System – SAS 8.0 (SAS Inc, Cary, USA). Foram gerados mapas temáticos com auxílio do software CR-Campeiro 7 (Departamento de Geomática, Universidade Federal de Santa Maria, RS), para um melhor entendimento dos resultados. Devido ao reduzido número de pontos avaliados, não foi possível realizar o uso de análises geoestatísticas, procedendo-se portanto, a interpolação dos dados pelo inverso do quadrado da distância, conforme recomendado por COELHO et al. (2009).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As precipitações durante a realização do experimento foram adequada para o cultivo do milho, sendo que durante as maiores exigências da cultura, que ocorre na fase de emergência, florescimento e enchimento de grãos, havia água disponível no solo para suprir tal necessidade, pois ocorreram chuvas frequentes durante este período (Figura 1).

As análises de percentual de cobertura micorrízica realizadas pelo Laboratório de Análise Microbiológica da Universidade de Santa Maria apresentam somente a quantidade de fungos micorrízicos presente no tecido, não identificando qual o gênero de fungo (Figuras 4 e 5). Benedeti (2005, p. 45) ressalta que muitos fungos não podem ser identificados com precisão a partir do esporo coletado no campo, mas fornecem um indicativo da população presente no solo em um dado momento ou ciclo de cultivo.

Para a variável micorriza, os resultados demonstram que a porcentagem de micorrizas analisadas nas raízes das plantas avaliadas, apresentaram amplitudes de 20 a 100%, sendo que a média foi de 69,16 % apresentando um CV de 45,10%, o que demonstra uma grande heterogeneidade na quantidade de micorrizas nas plantas avaliadas, sendo o que também pode ser comprovado pela distribuição anormal das mesmas na área, confirmando-se pelos valores de assimetria e curtose distantes de zero, -0,47 e -1,37, respectivamente (Tabela 1).

Figura 4: Imagem do fungo micorrízico na superfície da raiz do milho.

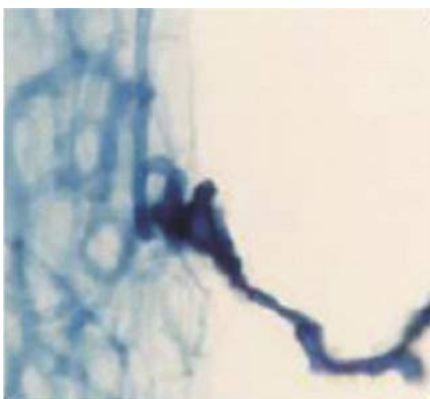
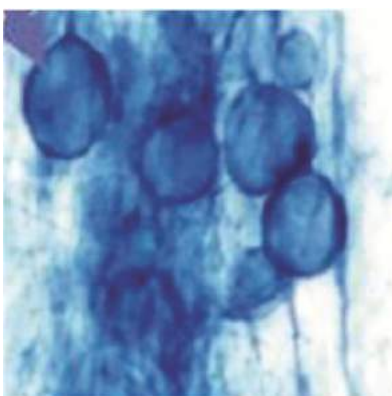


Figura 5: Imagem de vesículas formadas pelo fungo micorrízico no tecido radical da planta de milho.



Assim, como as micorrizas, o elemento fósforo apresentou alta variabilidade espacial horizontal, com CV de 42,22%, corroborando com Santi (2012). A disponibilidade de fósforo apresentou uma disponibilidade média de 10,37mg/dm³, valor considerado alto segundo a SBCS (2016).

A produtividade variou de 162 a 201,59 sc ha⁻¹ com uma produtividade média de

184,97sc ha⁻¹ e com CV baixo (5,01%). Os dados de fósforo e a produtividade de grãos seguiram uma distribuição normal, segundo os valores de assimetria 0,29 e -0,41, e curtose -1,16 e 0,50, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. - Resultados da estatística descritiva para porcentagem de infecção micorrízica, fósforo, produtividade e pH.

Parâmetros estatísticos	Micorrizas (%)	Fósforo (mg dm ⁻¹)	Produtividade (sc ha ⁻¹)	pH
Mínimo	20,00	4,40	162,00	5,20
Media	69,16	10,37	184,97	5,53
Máximo	100,00	18,10	201,59	6,00
Mediana	80,00	10,85	184,78	5,55
Moda	100,00	6,20	162,00	5,30
DP ¹	31,19	4,37	9,26	0,23
Variância	973,18	19,17	85,88	0,06
CV (%) ²	45,10	42,22	5,01	4,25
Cs ³	-0,47	0,29	-0,41	0,29
Ck ⁴	-1,37	-1,16	0,50	-1,01
W ⁵	0,82*	0,92 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,93 ^{ns}

¹ Desvio Padrão; ² Coeficiente de variação; ³ Coeficiente de assimetria; ⁴ Coeficiente de curtose;

⁵ Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: * significativo em níveis de p < 0,05 e ns não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Quanto a produtividade, se observou também, uma baixa variabilidade pois a área em estudo apresenta relevo uniforme isso colabora para uma menor variação produtiva mesmo quando atributos químicos e biológicos não apresentem baixa variabilidade (Tabela 2), porém observa-se variações negativas em pontos que há menor disponibilidade de fósforo e menor colonização micorrízica, resultado que também pode ser evidenciado pelos mapas temáticos da área.

Os valores de pH foram compreendidos entre 5,2 a 6,0, com valor médio de 5,53. Segundo orientações da SBCS (2016), o pH 6,0 é o ideal para o cultivo do milho e para que o mesmo consiga aproveitar eficientemente os nutrientes disponíveis no solo, sendo que quando o mesmo baixar para 5,5 a produtividade não vai ser interferida. Tanto os dados de argila quanto de pH, foram considerados de distribuição normal, tendo valores de assimetria e curtose próximos de zero.

Tabela 2. - Correlação Linear de Pearson entre os atributos químicos do solo, infecção micorrízica e a produtividade.

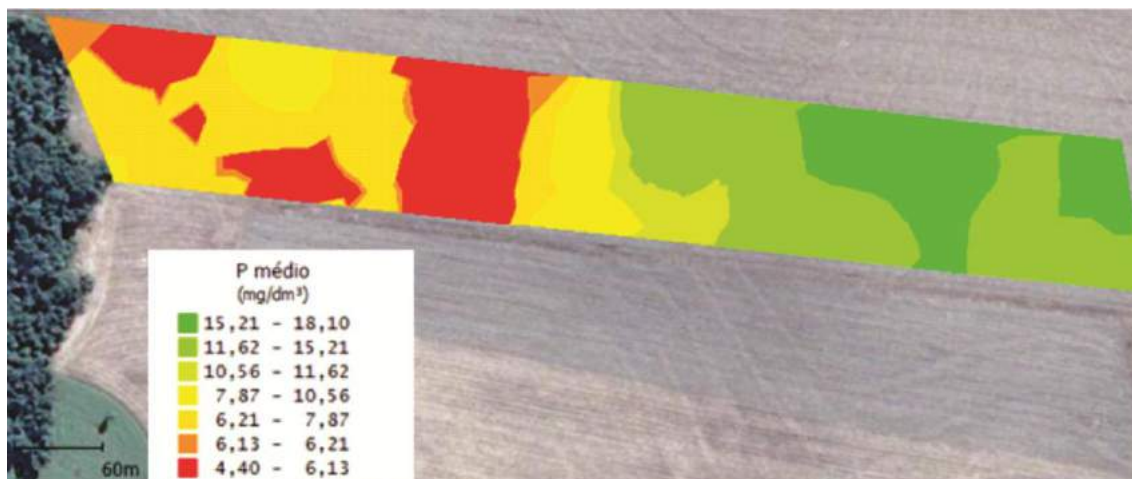
	Mico	Prod	K	Ca	Mg	S	Argila	M.O.
P	0,62**	0,31	-0,48*	-0,12	-0,29	-0,01	-0,12	-0,23
Mico		0,32	-0,33	0,00	0,02	0,36	-0,24	0,12
Prod			-0,39*	-0,13	-0,26	0,16	-0,24	0,23
K				0,49*	0,52**	-0,13	-0,13	0,31
Ca					0,83**	-0,03	-0,10	0,41*
Mg						-0,02	-0,25	0,54**
S							-0,18	0,17
Argila								-0,49**

** significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ respectivamente.

No mapa espacial de fósforo (Figura 6), é possível verificar a alta variação, 4,40 a 18,10

mg dm^{-3} , o que concorda com os resultados encontrados por Santi et al. (2012), em áreas de lavoura anteriormente ao manejo com as técnicas da AP.

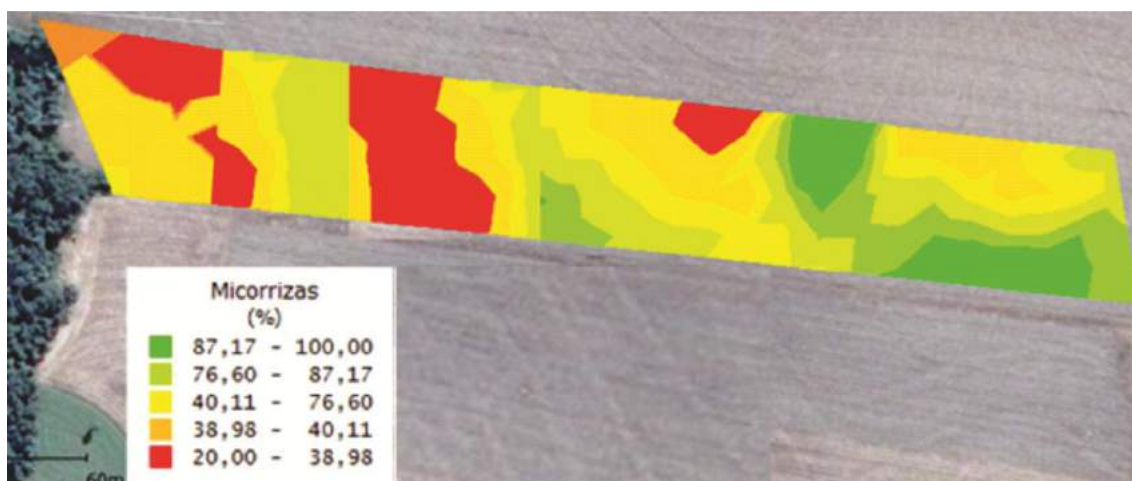
Figura 6: Mapa espacial de fósforo no solo.



Através da análise do mapa de colonização micorrízica (Figura 7), verifica-se que assim como o mapa de fósforo, apresenta grande variabilidade, sendo que estes dois mapas demonstram grande similaridade visual confirmando a dependência dos dois elementos em estudo. A associação simbiótica mutualista das micorrizas com as raízes da planta, proporciona um aumento da capacidade de absorção de água e nutrientes, com destaque para o fósforo, promovendo incremento na eficiência da adubação fosfatada (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

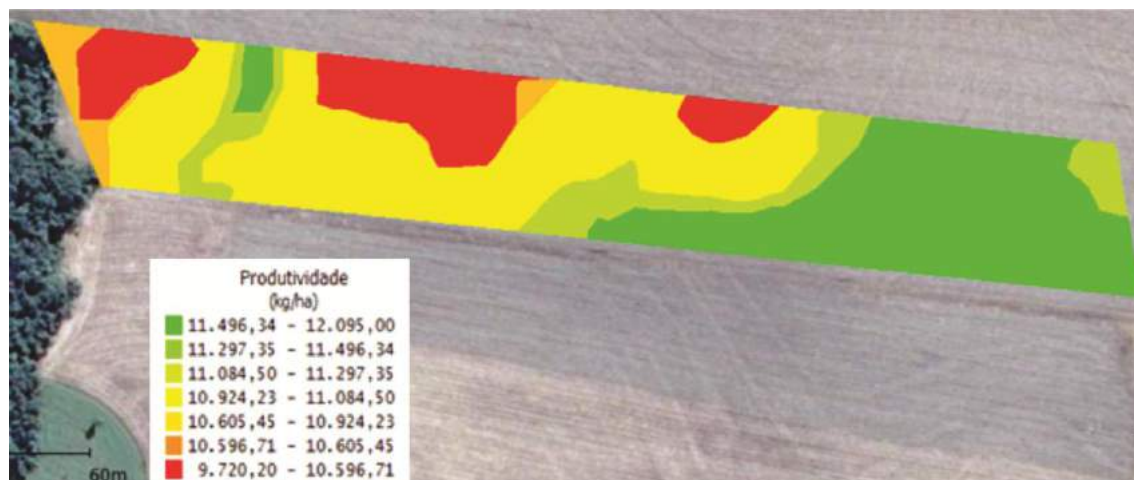
Analisando a Tabela 2, verificou-se que uma das correlação de maior significância foi a correlação entre a infecção micorrízica e a disponibilidade de fósforo no solo (0.62), resultado que também evidencia e possibilita uma estimativa de níveis de fósforo no solo relacionando com a atividade micorrízica, desta maneira verifica-se a atividade destes fungos como um fator importante para o equilíbrio nutricional deste elemento.

Figura 7: Mapa de porcentagem de infecção micorrízica nas raízes das plantas de milho.



Neste contexto, Borém, Galvão e Pimentel (2015) complementa afirmando que devido a alta exigência da cultura do milho a adubação fosfatada, a produtividade é limitada quando os teores de P no solo são baixos. Fator este que contribui para explicar o mapa de produtividade (Figura 8) da área analisada, sendo que neste, as menores produtividades são oriundas de locais de menores concentrações de fósforo e micorrizas.

Figura 8: Variabilidade espacial da produtividade da cultura do milho na área experimental.



4 CONCLUSÃO

Verificou-se grande similaridade entre a variabilidade de fósforo no solo e a variabilidade de infecção micorrízica e, conseqüentemente, na produtividade da cultura do milho.

Através da variabilidade da presença de fungos micorrízicos no sistema radicular de plantas de milho, de forma indireta, há possibilidade de que se possa estimar a variação de mapas de fósforo, embora esta hipótese mereça mais estudos.

REFERÊNCIAS

- ANTONIOLLI, Z. I. **Orientações para melhor representação de análises micorrizicas**. Orientação Laboratório de Microbiologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria RS, 2014.
- ANTONIOLLI, Z. I.; KAMINSKI, J. **Micorrizas**. Cienc. Rural vol.21 no.3 Santa Maria Sept./Dec. 1991. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84781991000300013>. Acesso em: 31 ago. 2017.
- ARAUJO, R. S; HUNGRIA, M. **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPL, 1994. 236p.
- BENEDETTI, T. et al. Diversidade de fungos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 4, n.1, p. 44-51, 2005.
- BORÉM, A.; GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015.
- COELHO E. C. et al. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 31, n. 1, p. 165-174, 2009.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília, 2013. 353 p.

FERREIRA, P. A. A.; BEMFICASTEFFEN, R. Micorrizas aumentam o aproveitamento do fósforo. **Revista Campo & Negócio**. N°. 165. Disponível em: <<http://www.revistacampoenegocios.com.br/micorrizas-aumentam-o-aproveitamento-do-fosforo/>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. F. Tese (Doutorado em Concentração de Biodinâmicas do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ. 309p. 2002.

GRANT, C.A. et al. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agrônômicas**. N° 25, set., 2001. Disponível em: < [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/\\$FILE/Page1-5-95.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/$FILE/Page1-5-95.pdf)>. Acesso em: 31 ago. 2017.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626p.

SANTI, A. L. et al. **Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de Agricultura de Precisão**. Revista Plantio Direto - maio/junho de 2012.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). **Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. SBCS – Núcleo Regional Sul – Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016.