

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
Centro de Energia Nuclear na Agricultura
0111000 – Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia
Agrônômica**

**Conteúdo de zinco e número de camadas de raízes basais em
cultivares de trigo contrastante quanto à absorção de fósforo**

Vitor Hugo Guedes Leite

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como parte dos requisitos para
obtenção do título de: Engenheiro Agrônomo

**Piracicaba
2018**

Vitor Hugo Guedes Leite

**Conteúdo de zinco e número de camadas de raízes basais em cultivares
de trigo contrastante quanto à absorção de fósforo**

Orientador:
Prof. Dr. **TAKASHI MURAOKA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como parte dos requisitos para
obtenção do título de: Engenheiro Agrônomo

Piracicaba

2018

Dedico este trabalho e a conclusão deste curso a toda a minha família, que sempre me apoiou e proporcionou todas as realizações da minha vida até aqui.

AGRADECIMENTOS

À minha família, por me mostrarem na prática o que é vencer desafios e me proporcionarem a vivência dos melhores anos da minha vida até aqui.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e a Universidade de São Paulo, que com sua vasta gama de oportunidades me proporcionou graduar com experiências incríveis.

Ao professor Takashi Muraoka e a minha orientadora de iniciação científica Alinne Silva, pela oportunidade e pelos conhecimentos passados.

A todos os pós-graduandos e membros do laboratório de fertilidade do solo do CENA.

À República 10 Alqueires por ser a minha escola da vida e me fazer entender que a formação acadêmica vai muito além da sala de aula.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	7
2.1. Trigo e a adubação fosfatada.....	7
2.2. Relação entre o fósforo e o zinco.....	8
2.3. Aspectos relativos à arquitetura radicular e a disponibilidade de fósforo.....	9
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
3.1. Seleção dos cultivares.....	10
3.2. Correção do solo e adubação.....	11
3.3. Colheita e digestão da parte aérea.....	12
3.4. Determinação do número de camadas de raízes basais (CRB).....	12
3.5. Análise estatística dos resultados.....	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
5. CONCLUSÕES.....	15
6. REFERÊNCIAS.....	16

RESUMO

Conteúdo de zinco e número de camadas de raízes basais em cultivares de trigo contrastante quanto à absorção de fósforo

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos cereais mais importantes cultivados no mundo, contudo a baixa disponibilidade de fósforo (P) nos solos é uma das principais limitações para o seu cultivo. Uma alternativa é a utilização de cultivares de trigo mais eficientes em absorver e utilizar o P, entretanto, alguns estudos mostram que a seleção de cultivares com alta eficiência de absorção de P também pode reduzir a absorção e concentração de micronutrientes na planta, especialmente o zinco (Zn). Esse experimento foi realizado com o objetivo de analisar o conteúdo de Zn na matéria seca de parte aérea (MSPA) e o número de camadas de raízes basais (CRB) em cultivares de trigo contrastante quanto à absorção de P. Para isso, foram selecionados três cultivares de trigo classificados eficientes na absorção de P e três menos eficientes. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com quatro repetições. As plantas foram submetidas em condição de dois teores de P no solo, 45 mg dm⁻³ e 200 mg dm⁻³. No estágio de maturação fisiológica, as plantas foram colhidas para a determinação da matéria seca de parte aérea, e concentração de P e Zn. Em relação à absorção de P e concentração de Zn na matéria seca da parte aérea, não foi observado diferenças no acúmulo de Zn para ambos os grupos de cultivares (alta eficiência (AP) e baixa eficiência (BP) na absorção de P), quanto ao número de CRB a média de cultivares AP foi maior do que a dos cultivares BP, porém não houve um padrão entre cultivares do mesmo grupo.

Palavras-chave: Valor L. Triticultura. Casa de vegetação.

ABSTRACT

Zinc content and number of layers of basal roots of wheat cultivars contrasting in phosphorus absorption

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important cereals cultivated in the world, but the low availability of phosphorus (P) in the soils is one of the main limitations for its cultivation. An alternative is to use wheat cultivars more efficient in absorbing and using P, however, some surveys have shown that the selection of cultivars with high P absorption efficiency can also reduce the absorption and concentration of micronutrients in the plant, especially zinc (Zn). This experiment was performed with the objective of analyzing the Zn content in the shoot dry matter and the number of layers of basal roots in wheat cultivars contrasting with P absorption. To perform this experiment three wheat cultivars classified as efficient in the absorption of phosphorus and three less efficient were selected. The experiment was conducted in a greenhouse with four replicates. The plants were submitted under conditions of two levels of phosphorus in the soil, 45 mg dm⁻³ and 200 mg dm⁻³. At the physiological maturation stage, the plants were harvested for the determination of the shoot dry matter and concentration of P and Zn. In relation to the absorption of P and concentration of Zn in the shoot dry matter, no differences were observed in the Zn accumulation for both groups of cultivars (high and low efficiency in the absorption of P). Regarding the number of layers of basal roots, the average of high efficiency cultivars was higher than the low efficiency cultivars, however there was no pattern among cultivars of the same group.

Keywords: L value. Triticulture. Greenhouse.

1. INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é atualmente um dos cereais mais importantes cultivados no mundo, o Brasil consome anualmente em torno de 10 milhões de toneladas deste cereal, e nas duas últimas safras, 2016 e 2017, foram produzidas menos de 5 milhões de toneladas. Esta grande dependência da produção externa, em tempos de uma economia globalizada, deixa o Brasil em uma situação de grande vulnerabilidade. A cotação atual do trigo também está em alta, ultrapassando em junho de 2018 os U\$ 200,00 por tonelada, o que associado ao recente aumento do dólar frente ao real impacta diretamente no preço pago nos subprodutos da cultura pelos brasileiros (LAMAS, 2018).

Em adição a este cenário desfavorável ainda há a limitação nutricional natural dos solos e o alto preço dos insumos da cultura. A baixa disponibilidade de fósforo (P) é uma das principais limitações para o cultivo e rendimento do trigo na maioria dos solos, especialmente nos solos mais intemperizados com elevados teores de óxidos de Fe e Al (NOVAIS e SMYTH, 1999), que vem acompanhada dos recentes aumentos nos preços dos fertilizantes fosfatados, indicando a necessidade de estudos com o objetivo de desenvolver estratégias para aumentar a eficiência das fontes de P.

Uma alternativa é identificar e selecionar cultivares de trigo mais eficiente em absorver e utilizar o P. De acordo com Silva et al. (2016), cultivares de trigo apresentaram diferenças significativas quanto à absorção e eficiência de utilização do P, o que permite aumentar a rentabilidade na utilização de fertilizantes minerais, e tornar a produção deste cereal mais sustentável, haja vista que o fósforo é um recurso natural escasso, sem sucedâneos e não renovável.

Nesse sentido, o desenvolvimento espacial do sistema radicular pode contribuir para exploração de um maior volume de solo. As raízes basais (RB) originam-se da parte basal do hipocótilo a partir de diferentes camadas (BASU et al. 2007), aqui denominada de camadas de raízes basais (CRB). Geralmente, quatro RB surgem de cada camada na base do hipocótilo. As plantas com maior número de CRB possuem RB mais dispersas e uma maior gama de ângulos de crescimento na cultura do feijão comum (MIGUEL et al. 2013). As raízes mais rasas, originadas das camadas mais elevadas no

hipocótilo, podem ser importantes para a exploração das camadas mais superficiais do solo, onde se concentra maior teor de P na maioria dos solos. Portanto, a arquitetura radicular vai determinar a exploração do P no solo, sendo um importante componente do suprimento de P para a planta (LYNCH, 1995).

No entanto, a seleção de cultivares com alta eficiência de absorção de P também pode reduzir a absorção e a concentração de micronutrientes na planta e nos grãos, especialmente o zinco (Zn) (GARVIN et al., 2006; ZHU et al., 2001a, 2001b). Portanto, considerando que atualmente é cada vez maior a demanda por cultivares que apresentem produtos de elevada qualidade nutricional e não somente altamente produtivos, e baseado na nossa hipótese de que as cultivares de trigo mais eficiente quanto à absorção de P apresentam menores concentrações de Zn na matéria seca da parte aérea (MSPA), um dos nossos objetivos foi verificar a concentração de Zn na MSPA de cultivares contrastante quanto à absorção de P. Outro objetivo desse trabalho foi avaliar o número de camadas de raízes basais das cultivares de trigo contrastante quanto à absorção de P.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1. Trigo e a adubação fosfatada

Boa parte dos solos brasileiros apresenta como principal limitação aos cultivos vegetais à baixa disponibilidade de fósforo, seja pela deficiência natural do nutriente no solo ou pela alta adsorção de fósforo pelos óxidos de ferro naturalmente presentes no solo, oriundos de rochas basálticas. Desta forma, o máximo potencial genético de algumas cultivares é limitado pelos teores de fósforo no solo inferiores ao nível de suficiência para as cultivares de trigo (ROSADO et al., 2014).

Como principais sinais de deficiência de fósforo na cultura do trigo têm-se a diminuição no número e tamanho das folhas, menor perfilhamento e número de panículas, afetando negativamente a produção de matéria verde e a produção de grãos (FAGERIA, 1999; TAIZ e ZEIGER, 2004).

A adubação fosfatada em quantidades adequadas auxilia no aumento do número e tamanho das folhas, resultando em uma área superficial maior para a

realização da fotossíntese (FAGERIA, 1999). Freitas et al. (1999), ao avaliarem o efeito do calcário e do fósforo na produtividade de grãos e seus componentes nos cultivares de trigo observaram que o fósforo foi o fator que mais afetou positivamente a produtividade de grãos e seus componentes (número de espiguetas por espiga, número de grãos por espiguetas e por espiga, massa da matéria seca de 100 grãos) e comprimento da espiga. O número de grãos por espiga foi o componente que melhor se relacionou com a produtividade de grãos.

De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal (ABISOLO, 2016), em relação à adubação fosfatada no trigo, é preconizado nos boletins de recomendação de várias regiões do Brasil que esta seja feita no sulco de semeadura, um pouco abaixo e ao lado da semente, sendo a forma mais eficiente de fornecer este nutriente para a cultura, com o melhor aproveitamento pelas plantas do P aplicado. Isso porque o P é relativamente imóvel no solo e assim permanece próximo ao local em que foi colocado o fertilizante.

2.2. Relação entre o fósforo e o zinco

Muitos estudos relatam que a adição do fósforo (P) em doses elevadas para corrigir a deficiência deste macronutriente pode induzir a deficiência de zinco (Zn). Deste modo, a ação combinada desses nutrientes pressupõe-se relevante para o manejo da adubação de solos tropicais, onde é comum o uso de elevadas doses de fósforo em solos com baixo suprimento natural desse nutriente (CARNEIRO et al., 2008; ROSAL, 2013).

De acordo com Malavolta et al (1974), a deficiência de zinco ocasionada pelas interações com o fósforo presente no solo ou na planta é explicada por quatro principais fatores: efeito de diluição na planta causado pela alta velocidade de crescimento em decorrência da grande quantidade de fósforo presente no meio; precipitação do fosfato de zinco na superfície das raízes; inibição não competitiva de absorção do zinco; redução da translocação para a parte aérea.

Em contra partida, resultados controversos também já foram obtidos em outros estudos, Bowan et al. (1954) e Bingham (1963), concluíram que não houve nenhuma alteração sobre a nutrição mineral do Zn em decorrência do P

presente no solo para diferentes culturas. Em plantas de feijoeiro, inclusive, já foi relatado um efeito positivo na relação entre os dois nutrientes, onde foi observado maior concentração do micronutriente nos tecidos da planta proporcionada pelo P (ELLIS, et al. 1968).

Loneragan e Webb (1993) vão ainda mais longe, e apresentam uma nova visão sobre o assunto, relatando que em condições de elevada disponibilidade de P na solução, pode ocorrer aumento no acúmulo de P nas folhas velhas, em concentrações que causam toxicidade, sintoma erroneamente diagnosticado como deficiência de Zn.

Com tantos resultados controversos, ainda não está claro se a elevada concentração/disponibilidade de P no solo ou solução nutritiva pode ou não reduzir a absorção e concentração de Zn na planta.

2.3. Aspectos relativos à arquitetura radicular e a disponibilidade de fósforo

As alterações na arquitetura das raízes modificam a capacidade de exploração do solo e, portanto, o potencial para extração dos nutrientes. Essas alterações relacionam-se não apenas à disponibilidade, mas também à mobilidade no solo do nutriente limitante. A limitação de fósforo, nutriente pouco móvel no solo, gera alterações que objetivam aumentar o volume de solo explorado e a superficialidade do sistema radicular (SILVA e DELATORRE, 2009).

López-Bucio et al. (2003), classificam quatro processos como principais responsáveis pela determinação da arquitetura de raiz: divisão celular no meristema apical, responsável pelo crescimento indeterminado da raiz pela adição de novas células; alongamento celular, principal processo responsável pelo crescimento; formação de raízes laterais, que aumentam a capacidade de exploração do solo e formação de pelos radiculares, que incrementam a superfície de contato solo-planta.

Algumas plantas apresentam a capacidade de se adaptar ao estresse causado pela falta de P em solos com disponibilidade muito baixa deste nutriente na solução do solo, por meio de respostas morfológicas e fisiológicas, como alterações radiculares (LYNCH & BROWN, 2001). Marcante (2015) destaca em seu trabalho as principais alterações causadas por esse estresse

já relatadas: aumento da relação raiz parte aérea, redistribuição do crescimento das diferentes classes de raiz, estímulo do crescimento de pelos radiculares, aumento da exploração de camadas superficiais do solo, exploração do solo pelas raízes com um custo metabólico mínimo, aumento da expressão de transportadores de alta afinidade com P, simbiose com microrganismos e o aumento da exsudação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular e fosfatase ácida (HERMANS et al., 2004; LYNCH, 2007; RICHARDSON et al., 2011).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Seleção dos cultivares

As fases de identificação e a seleção das cultivares de trigo mais e menos eficiente quanto à absorção e utilização de P foram realizadas usando a técnica de diluição isotópica com o radioisótopo ^{32}P . A técnica isotópica permite a separação nas várias partes da planta do nutriente proveniente do fertilizante mineral aplicado ou do P já naturalmente existente no solo ou na semente. Essa fase inicial foi constituída de quatro experimentos desenvolvidos em casa de vegetação do CENA/USP com o uso de ^{32}P , por Silva et al (2016).

Foram cultivadas três cultivares de trigo classificadas como eficientes quanto à absorção de P e três cultivares consideradas menos eficientes, selecionadas com base no valor L, determinados previamente de acordo com Silva et al (2015). O valor L consiste em um método de determinação do P-lábil pela diluição isotópica do ^{32}P , que tem como vantagem a não necessidade da utilização de reagentes químicos para extração dos nutrientes (que pode provocar alterações químicas no solo) e também a utilização da planta na amostragem do solo, como extratora.

Após a determinação do valor L, os cultivares tiveram os seus valores comparados com o cultivar Toropi, classificado como padrão para eficiência na absorção de P por Abichequer e Bohnen (1998), para então serem determinados os cultivares mais e menos eficientes.

Os cultivares de selecionados foram:

Cultivares classificados como eficientes: IPR 136; CD 116; CD 120;

Cultivares classificados como menos eficientes: BR 17 Caiuá; CD 113; IAPAR 78.

3.2. Correção do solo e adubação

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA). As plantas foram cultivadas em vasos plásticos de 5,0 L contendo 3 dm³ de terra com quatro repetições, em um delineamento inteiramente casualizado.

A terra foi coletada na camada entre 0 e 0,20 m de um Latossolo proveniente de Brasília - DF. As amostras de terra foram analisadas de acordo com Raij et al. (2001) e os resultados encontram-se na Tabela 1. A aplicação de calcário foi realizada com base nos cálculos de necessidade de calcário de acordo com o recomendado para o cultivo de trigo (RAIJ et al., 1996) de acordo com a respectiva análise do solo. O calcário e o solo foram homogeneizados e mantidos a 70 % da capacidade máxima de retenção de umidade por 30 dias antes do plantio.

Tabela 1. Análise química do solo utilizado no experimento.

pH	M.O	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	Soma	CTC	Sat.	Sat.	S	Zn
CaCl ₂		resina						bases		bases	Al	SO ₄	
								S.B.					
	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³						V%	m%	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	
4,2	24	4	0,8	4	2	64	7	7	71	10	51	8	0,3

Legenda: CTC: Capacidade de troca catiônica; M.O.: Matéria Orgânica; SB: Soma de Bases; V% :Saturação de Bases; m%: Saturação por Alumínio

Foram avaliados dois teores de P no solo, 45 mg dm⁻³ e 200 mg dm⁻³. A fonte utilizada foi o superfosfato triplo (45% de P₂O₅). A dose de 45 mg dm⁻³ foi aplicada no mesmo dia em que as plantas foram semeadas, a dose de 200 mg dm⁻³ foi dividida, a metade foi aplicada no mesmo dia em que as plantas foram semeadas e a outra metade foi aplicada 30 dias após a emergência.

As sementes foram semeadas utilizando-se três sementes por vaso, as quais foram desbastadas após emergência e mantida apenas uma planta por vaso. Foi aplicada solução nutritiva composta por ureia, cloreto de potássio, sulfato de manganês, sulfato de cobre, e ácido bórico.

3.3. Colheita e digestão da parte aérea

O experimento deveria ser conduzido até o estágio de maturação fisiológica dos grãos, pois o objetivo inicial era separar a parte aérea e o grão, contudo, como não houve completo desenvolvimento dos grãos na espiga foi realizada a análise com base na parte aérea total das plantas. Assim o experimento foi conduzido até o momento em que as plantas começaram a entrar em senescência, onde as plantas foram coletadas e secas em temperatura de 60°C em estufa com circulação forçada de ar.

As plantas foram pesadas para a determinação da massa seca de parte aérea (MSPA), e moídas em moinho tipo Willey, sendo posteriormente submetidos à digestão nitro-perclórica para a determinação da concentração de P e Zn de acordo com metodologias descritas em Embrapa, por Silva (2009).

3.4. Determinação do número de camadas de raízes basais (CRB)

Para determinar os parâmetros relacionados à CRB, cinco sementes de cada cultivar de trigo selecionada foram previamente esterilizadas com uma solução de hipoclorito de sódio (NaOCl) 0,5 %, por 1 minuto, e colocadas em papel de germinação, saturado com água. As sementes foram dispostas em um papel de germinação, enrolado e incubado em câmara de germinação por cinco dias a uma temperatura de 28°C. Após esse período, os rolos foram abertos e o número de CRB foi determinado em cada semente.

3.5. Análise estatística dos resultados

Para a análise estatística as cultivares eficientes e menos eficientes quanto à absorção de P foram separadas em dois grupos: grupo com alta eficiência em absorver P (AP) composto pelas cultivares IPR 136, CD 116, CD 120 e o grupo com baixa eficiência em absorver P (BP) cultivares BR 17 Caiuá, CD 113 e IAPAR 78.

Foi realizada a análise de variância e de correlação entre os resultados obtidos. A ANOVA de dois fatores foi utilizada para as comparações entre os grupos de cultivares de alta e baixa eficiência em absorver P para MSPA, acúmulo de P e Zn na MSPA.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O grupo de cultivares AP apresentou produção de matéria seca significativamente maior do que cultivares do grupo BP quando o teor de P disponível no solo era baixo. Mas, quando foi aplicado o fertilizante fosfatado, as cultivares AP e BP produziram a mesma quantidade de MSPA (Figura 1).

Tanto Abichequer et al. (1998) como Gill et al. (1994) documentaram maior eficiência na utilização do P para produção de matéria seca pelas cultivares consideradas eficientes quando a disponibilidade do nutriente (P) era baixa.

Embora as cultivares AP tenham apresentado a maior capacidade para produzir MSPA, no tratamento com baixo P, o valor de P na MSPA foi o mesmo dos cultivares do grupo BP.

Em relação ao Zn na MSPA, os grupos AP e BP não diferiram, mesmo quando foi aumentada a quantidade de P no solo, de 45 mg dm^{-3} à 200 mg dm^{-3} de P_2O_5 , o que não afetou significativamente o Zn acumulado na planta.

Tem sido documentado que a aplicação de elevadas doses de fertilizantes fosfatados pode reduzir a absorção de Zn e, em alguns casos, induzir a deficiência de Zn nas plantas (SINGH et al, 1988; BUERKERT et al., 1998). Uma das razões para essa interação é verificada quando ambos os nutrientes estão em baixos teores no solo, bem como pela aplicação de quantidades elevadas de fertilizantes fosfatados, que podem levar a uma deficiência de Zn na planta devido ao efeito de diluição, estimulada pelo crescimento das plantas (SINGH et al 1988; LONERAGAN e WEBB 1993). No entanto, a baixa concentração de P e Zn no solo, $4,0 \text{ mg dm}^{-3}$ e $0,3 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente, e a aplicação de grandes quantidades de fertilizantes fosfatados não promoveu diferenças na acumulação de Zn por quaisquer grupos de cultivares, AP ou BP.

Esta ausência de diferença significativa encontrada neste estudo para o acúmulo de Zn na MSPA permite concluir que a relação entre eficiência de absorção de P e acúmulo de Zn não é uma característica inerente das cultivares, nem foi influenciado pelo manejo da fertilização (adubação) de P.

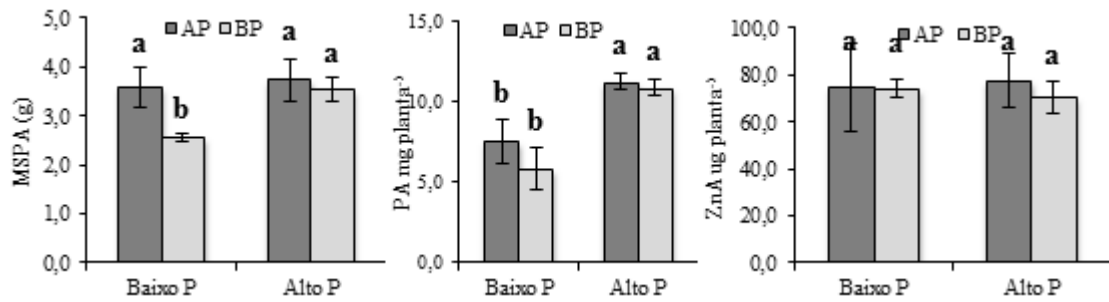


Figura 1: Matéria seca de parte aérea (MSPA), acúmulo de P na MSPA (AP) e acúmulo de Zn na MSPA (ZnA) para o grupo de cultivares com eficiência elevada de absorção de P (AP) e baixa eficiência de absorção P (BP) em solo fertilizado com 45 mg dm⁻³ de P₂O₅ (Baixo P) e 200 mg dm⁻³ (Alto P). Letras diferentes correspondem à diferenças significativas entre os grupos (p < 0,05).

Quanto ao número de CRB, as cultivares AP apresentaram média maior do que a dos cultivares BP, contudo, não houve padrão entre cultivares do mesmo grupo. Os resultados encontram-se nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Número e média de CRB cultivares AP.

Cultivares AP	Número CRB	Média Cultivares AP
IPR 136	3,33	3,86
CD 116	4,81	
CD 120	3,43	

Legenda: AP: Cultivares classificadas como eficientes em absorver o fósforo; CRB: Camadas de raízes basais.

Tabela 3. Número e média de CRB cultivares BP.

Cultivares BP	Número CRB	Média Cultivares BP
BR 17 Caiuá	1	2,63
CD 113	4,4	
IAPAR 78	2,5	

Legenda: BP: Cultivares classificadas como menos eficientes em absorver o fósforo; CRB: Camadas de raízes basais.

Estes resultados apoiam parcialmente o exposto por Romer et al (1988), que concluiu que o comprimento da raiz não é importante para a absorção de P quando o suprimento de P no solo é alto.

Abichequer et al (1998), que também avaliou a relação entre a morfologia das raízes de cultivares de trigo contrastante com a absorção de P, não observou relação entre essas duas características nos diferentes grupos de cultivares.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos traçados, os resultados obtidos e a hipótese considerada neste estudo de que as cultivares de trigo mais eficiente quanto à absorção de P apresentam menores concentrações de Zn na MSPA é possível inferir que, em relação à absorção de P e concentração de Zn na MSPA, não foi observado diferenças no acúmulo de Zn para ambos os grupos de cultivares (alta e baixa eficiência de absorção P), e nem para o grupo de cultivares eficientes em absorver P nas condições de alto ou baixo teor de P no solo.

Quanto ao número de CRB a média dos cultivares AP foi maior do que a dos cultivares BP, contudo não houve um padrão entre cultivares do mesmo grupo, o que permite concluir que não há correlação neste experimento entre o número de CRB, o valor L e P acumulado na matéria seca da parte aérea. Também não foi observada relação entre o número de CRB e a formação de MSPA.

6. REFERÊNCIAS

ABICHEQUER A. D.; BOHNEN H. **Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo.** (1998) Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v22n1/03.pdf>>. Acesso em: 15 de Outubro de 2018.

ABISOLO – Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal. **A importância da adubação na cultura do trigo.** (2016) Disponível em: <<https://abisolo.com.br/2016/05/25/a-importancia-da-adubacao-na-cultura-do-trigo/>> Acesso em: 19 de Outubro de 2018.

BASU, P.; ZHANG, Y.; LYNCH, J.; BROWN, K. **Ethylene modulates genetic, positional, and nutritional regulation of root plagiogravitropism.** *Functional Plant Biology*, v. 34, p. 41-51, 2007.

BINGHAM, F. T. (1963) — **Relation between phosphorus and micronutrients in plants.** *Soil Sci. Amer. Proc.* 27: 389-391.

BOWAN, L. C, VIETS, F. S. & CRAWFORD, C. L. (1954) — **Effect of phosphate fertilizers on zinc nutrition of field beans.** *Soil. Sci.*, 78:1-7.

BUERKERT, A., HAAKE, C., RUCKWIED, M., MARSCHNER, H. - **Phosphorus application affects the nutritional quality of millet grain in the Sahel.** *Field Crop Res.* 57: 223-235, 1998

CARNEIRO, L. F.; FURTINE NETO, A. E.; RESENDE, A. V. de; CURI, N.; SANTOS, J. Z. L.; LAGO, F. J do. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na interação fósforo-zinco em milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1133- 1144, 2008.

FAGERIA, N. K. **Adubação e calagem.** In: VIERIA, N. R. A.; SANTOS, A. B.; SANT'ANA, E. P. (Ed). *A cultura do arroz no Brasil.* Santo Antônio de Goiás, GO: EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa Arroz e Feijão, 1999. p.329-353.

Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 10-19.

FREITAS, JOSÉ GUILHERME DE et al . Efeito do calcário e do fósforo na produtividade de grãos e seus componentes nos cultivares de trigo. **Bragantia**, Campinas , v. 58, n. 2, p. 375-386, 1999 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87051999000200017&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 17 de Outubro de 2018.

GARVIN, D. F.; WELCH, R. M.; FINLEY, J. W. - Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentrations of US hard red winter wheat germplasm. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 2213-2220, 2006.

GILL M. A.; RAHMATULLAH; SALIM M. Growth Responses of Twelve Wheat Cultivars and their Phosphorus Utilization from Rock Phosphate. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 173, issue 3-4, p. 204-209, 1994.

HERMANS C.; HAMMOND, J.P.; WHITE, P. J. Genetic responses to phosphorus deficiency. **Annals of Botany**, Oxford, v. 94 p. 323 – 332, 2004.

LAMAS, F. M. - **Produzir trigo no Brasil, mais que uma opção, uma necessidade**. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/agropecuaria-oeste/busca-de-noticias/-/noticia/34949879/artigo---produzir-trigo-no-brasil-mais-que-uma-opcao-uma-necessidade>>. Acesso em: 09 de outubro de 2018.

LONERAGAN, J.F., WEBB, M.J. (1993) - **Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants**. In: Robson, A.D., (Ed) **Zinc in soil and plant**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

LYNCH, J. P. **Root architecture and plant productivity**. Plant Physiology, v. 109, n. 1, p. 7-13, 1995.

LYNCH, J. P. Roots of the second green evolution. **Australian Journal of Botany**, Victoria, v. 55, p. 1 – 20, 2007.

LYNCH, J. P.; BROWN, K. Topsoil foraging – an architectural adaption of plants to low phosphorus availability. **Plant soil**, Dordrecht, v. 237, p. 225 – 237, 2001.

LÓPEZ-BUCIO, J.; CRUZ-RAMIREZ, A.; HERRERA-ESTRELLA, L. The role of nutrient availability in regulating root architecture. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 6, p. 280- 287, 2003.

MALAVOLTA, E.; LOPEZ, O. E. G. **Estudos sobre as relações entre Zinco e Fósforo na nutrição da planta..** Anais da E.S.A. <<Luiz de Queiroz>> v. XXXI, p. 467 – 483, 1974.

MARCANTE, N. C.; **Eficiência de absorção e utilização de fósforo por diversos cultivares de arroz e feijão do Brasil /Tese.** Esalq. 119 p. : Piracicaba, 2015.

MIGUEL, M. A.; WIDRIG, A. VIEIRA, R. F.; BROWN, K. M.; LYNCH1, J. P. **Basal root whorl number: a modulator of phosphorus acquisition in common bean (*Phaseolus vulgaris*).** Annals of Botany. p: 1-10. 2013.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

PAULSEN, G. M. & ROTIMI O. A. (1968) — Phosphorus-zinc interaction in two soybean varieties differing in sensitivity to phosphorus nutrition. Soil Sci. Soc. Amer. Proc 32: 73-76.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A; FURLANI, A.M.C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 1996. 285 p.

RICHARDSON, A.E. et al. Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. **Plant soil.** Dordrecht, v. 349, p. 121 – 156, 2011.

ROMER, W., J. AUGUSTIN, G. SCHILLING. **The relationship between phosphate absorption and root length in nine wheat cultivars.** Plant and Soil, v. 111, Number 2, Page 199, 1988.

ROSADO, J. P.; GONÇALVES, G. K.; SILVA, M.C.; FIORIN, A.D.; CERENTINI, A.M. **Resposta de cultivares de trigo a adubação fosfatada em solo Nitossolo.** 2014. Disponível em: <<http://www.sbcs-nrs.org.br/xrsbcs/docs/trab-4-3802-347.pdf>> Acesso em: 17 de Outubro de 2018.

ROSAL, C. J. S. **Doses de fósforo e zinco na cultura do feijão-caupi.** Tese (doutorado) .Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 48 p. :2013

SILVA, A.; BRUNO, P.I.; FRANZINI, V.I.; MARCANTE, N.C.; BENITIZ, L; MURAOKA, T. Phosphorus uptake efficiency, root morphology and architecture in Brazilian wheat cultivars. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, V 307: p 1055 -1063,**. 2016.

SILVA, A. A.; DELATORRE, C. A. Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v.8, n.2, p. 152-163, 2009.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p. : il.

SINGH, J.P., KARAMOS, R.E., STEWART, J.W.B. (1988) - **The mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in bean (*Phaseolus vulgaris* L.)**. *Can J Soil Sci.* 68: 345-358

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

ZHU, Y.G.; SMITH, S.E.; HOWES, N.K; SMITH, F.A. - **Phosphorus (P) uptake efficiency of doubled haploid lines of spring wheat derived from parents with different P uptake efficiency**. In 'Proceedings of XIV International Plant Nutrition Colloquium, (Eds WJ Horst et al.) pp. 70-71. (Kluwer: Netherlands). 2001b.

ZHU, Y.G.; SMITH, S.E.; SMITH, F.A. - **Plant growth and cation composition in two cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.) differing in uptake efficiency**. *Journal of Experimental Botany*, v.52, p. 1277–1282, 2001a.