

**Pelos radiculares:  
Seleção de genótipos  
em soja, girassol e trigo**



CGPE 11451

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Soja  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 7***

## **Pelos radiculares: Seleção de genótipos em soja, girassol e trigo**

*Sergio Luiz Gonçalves  
Jonathan Paul Lynch*  
Autores

## **Embrapa Soja**

Rodovia Carlos João Strass, s/n, acesso Orlando Amaral, distrito da Warta,  
Caixa Postal 231, CEP 86001-970, Londrina, PR

Telefone: (43) 3371 6000 - Fax: (43) 3371 6100

[www.cnpso.embrapa.br](http://www.cnpso.embrapa.br)

<https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

## **Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: *Ricardo Vilela Abdelnoor*

Secretário-Executivo: *Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite*

Membros: *Adeney de Freitas Bueno, Adônis Moreira, Alvadi Antonio Balbinot Junior, Claudio Guilherme Portela de Carvalho, Eliseu Binneck, Fernando Augusto Henning, Liliane Márcia Mertz Henning e Norman Neumaier*

Supervisão editorial: *Vanessa Fuzinato Dall' Agnol*

Normalização bibliográfica: *Ademir Benedito Alves de Lima*

Editoração eletrônica: *Vanessa Fuzinato Dall' Agnol*

Foto da capa: *Sergio Luiz Gonçalves*

## **1ª edição**

Versão *On line*

### **Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (lei nº 9.610).

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Soja

---

Gonçalves, Sergio Luiz

Pelos radiculares: seleção de genótipos em soja, girassol e trigo / Sergio Luiz Gonçalves, Jonathan Paul Linch. [recurso eletrônico] – Londrina: Embrapa Soja, 2014.

24 p. ( Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Soja, ISSN 2178-1680; n.7)

1.Pelo radicular. 2.Soja-Genótipo. 3.Girassol-Genótipo. 4.Trigo-Genótipo. I.Título. II.Série.

CDD 581.498 (21.ed)

---

© Embrapa 2014

# Sumário

## **Pelos radiculares: Seleção de genótipos em soja, girassol e trigo ..... 5**

Resumo ..... 5

Abstract ..... 7

Introdução ..... 9

Material e Métodos..... 12

Resultados e Discussão..... 14

Referências..... 21



# **Pelos radiculares: Seleção de genótipos em soja, girassol e trigo**

---

*Sergio Luiz Gonçalves<sup>1</sup>*

*Jonathan Paul Lynch<sup>2</sup>*

## **Resumo**

Há muito é sabido que os pelos radiculares de muitas espécies agrícolas desempenham um importante papel na adaptação das plantas a ambientes com baixa disponibilidade hídrica e nutricional, sendo importantes na disponibilização de fósforo para elas. Neste trabalho foi feita uma seleção de genótipos, baseada no comprimento médio dos pelos radiculares de cultivares de soja, girassol e trigo. Eles foram cultivados em papel, em solução nutritiva de sulfato de cálcio, com a obtenção de imagens de plântulas de seis a sete dias de idade. Foram avaliados 25 genótipos de soja, 13 de girassol e 17 de trigo. Os pelos radiculares das plântulas de soja foram obtidos na raiz principal, apresentando uma amplitude de comprimento variando (do menor para o maior) de 0,30 a 0,65 mm. Para o girassol, as avaliações também foram feitas na raiz principal e essa variação foi de 0,69 a 1,04 mm. Para o trigo, os dados foram obtidos nas raízes seminais e o comprimento dos pelos radiculares variou de 0,66 a 1,15 mm. A metodologia utilizada mostrou-se útil para a realização dos passos iniciais da escolha de genótipos com potencialidade de melhor adaptação aos ambientes com restrições hídricas e nutricionais.

---

<sup>1</sup> Eng. Agr., Dr. Pesquisador da Embrapa Soja - Londrina/PR - sergio.goncalves@embrapa.br.

<sup>2</sup> Eng. Agr., PhD. Professor, The Pennsylvania State University, State College, Pennsylvania, Estados Unidos - jpl4@psu.edu

Este trabalho enfatiza a necessidade de novos trabalhos de seleção de genótipos e melhoramento de plantas, considerando as restrições previstas por mudanças climáticas e limitações nutricionais, seja por baixa fertilidade de solos ou por redução da disponibilidade de fertilizantes.

Termos para indexação: pelos radiculares, soja, girassol, trigo, deficiência hídrica e nutricional.

# Root hairs: Selection of genotypes in soybean, sunflower and wheat

---

*Sergio Luiz Gonçalves*

*Jonathan Paul Lynch*

## Abstract

*The root hairs of many crop species play an important role in the adaptation of the plants to environment with low water and nutrient availability such as phosphorus. This paper reports a selection of genotypes based on the average length of root hairs of soybean, sunflower and wheat cultivated in nutrient solution of calcium sulfate and further imaging at six to seven days old. In this study 25 genotypes of soybean, 13 of sunflower and 17 of wheat were evaluated. The root hairs of soybean seedlings were obtained from the main root, with a range of varying length (from smallest to largest) from 0.30 to 0.65 mm. For sunflower, evaluation was also made in the main root with a range of 0.69 to 1.04 mm. For wheat, data were obtained in the seminal roots with root hairs length ranging from 0.66 to 1.15 mm. The methodology proved to be useful for performing the initial steps of choosing genotypes with potential for better adaptation to environments with water and nutritional restrictions. This work emphasizes the need for further work in the selection of genotypes and plant breeding, considering the restrictions provided by climate change and nutrient limitations, either by low soil fertility or reduced availability of fertilizers.*

*Index terms: root hairs, soybean, sunflower, wheat, water and nutritional deficiency.*





## Introdução

Há milhões de anos, quando as plantas mudaram de ambientes aquáticos para ambientes terrestres, elas passaram a produzir, entre outras adaptações, pelos radiculares para melhor sobreviver em condições mais secas (RAVEN & EDWARDS, 2001). Atualmente, quando entramos na era das mudanças climáticas globais, os riscos de que os ambientes se tornem cada vez mais secos, principalmente em função de altas temperaturas, são evidentes. Yadav et al. (2010) afirmaram que o assunto mudanças climáticas foi o maior tema de debates do século 20, com previsões de aumento de riscos de deficiência hídrica e de temperaturas muito elevadas, causadoras de danos às plantas, como por exemplo, aborto de flores. Marengo et al. (2011) afirmaram que no Brasil houve um aquecimento de 0,7 °C nos últimos 50 anos e que os modelos de previsões de temperaturas indicam maiores aumentos para as próximas décadas. Neste cenário ganham importância buscas por novas alternativas para contornar ou minimizar estes problemas. Uma delas seria o aprofundamento de estudos específicos sobre as raízes das espécies cultivadas, no sentido de buscar a tolerância a estresses ambientais como deficiência hídrica e nutricional, selecionando-se plantas com base nas diferenças genotípicas existentes em diferentes traços de raízes, entre eles a densidade e o comprimento dos pelos radiculares. Lynch (2007) afirma que existe a necessidade de uma segunda revolução verde, agora feita a partir das raízes das plantas, selecionando-se os tipos de raízes ideais para diferentes tipos de ambientes e que possibilitem os rendimentos esperados, mesmo em condições adversas. Assim, tudo indica que mais uma vez os pelos radiculares das plantas terão a sua importância no papel de melhor adaptação das plantas às restrições hídricas previstas.

Os pelos radiculares são células em forma tubular, sendo projeções de células epidérmicas da raiz chamadas tricloblastos. Isso ocorre na maioria das dicotiledôneas e em algumas monocotiledôneas (GREGORY, 2006; RIDGE, 1995). Apesar do destacado acima, o

fator hídrico não é o único de importância relacionado aos pelos radiculares. No aspecto nutricional, são mais importantes ainda, visto que são extremamente eficientes na absorção de fósforo e de outros nutrientes imóveis localizados na superfície dos solos (BONSER et al., 1996). A importância torna-se maior quando se considera as crescentes limitações nas reservas mundiais de fertilizantes e a redução do seu uso. O fósforo já é um motivo de preocupação, visto que é um recurso natural não renovável e as suas reservas passarão a ser consideradas limitantes já nas próximas décadas (CORDELL et al., 2009; GILBERT, 2009). E, muito do fósforo aplicado no solo é perdido, uma vez que grande parte dele, depositado em forma de fertilizante comercial, acaba se transformando em fósforo indisponível para as plantas (GAHOONIA & NIELSEN, 2004). Somando-se a isso, o aumento da população humana em todo o globo é tal que seremos nove bilhões em 2050, gerando grandes preocupações na área de segurança alimentar. Além disso, muitos países do mundo apresentam baixo rendimento das culturas agrícolas devido à baixa fertilidade dos solos, à crescente diminuição da utilização de adubos e à deficiência hídrica. Nestas situações os pelos radiculares tornam-se mais importantes ainda. Gahoonia et al. (2001) mostraram a importância dos pelos radiculares para absorver fósforo quando ele é limitado. Relataram que uma cultivar de cevada com longos pelos radiculares absorveu o dobro de fósforo que uma cultivar mutante, sem pelos, num solo pobre em fósforo, mostrando, na zona dos pelos radiculares, uma intensa atividade de ácidos (ácido fosfatases ou apases), tendo maior absorção de fósforo orgânico que a mutante. Parece haver maior atividade das apases na região dos pelos, sugerindo que a presença dos pelos aumenta a atividade delas e, conseqüentemente, ajuda a absorção de fósforo, bem como promovem a mobilização de fósforo orgânico nos solos. Os mesmos autores destacaram que o aumento da superfície de absorção da raiz, via aumento do comprimento dos pelos, significa economia de carbono, que pode ser utilizado na produção de grãos aumentando o rendimento das plantas, mesmo sem o aumento da massa da raiz. A acidificação

da rizosfera é necessária, uma vez que o fósforo orgânico (Po), antes de ser usado pela planta, tem que ser mineralizado pelas fosfatases, sendo importantes as associações e os sinergismos entre os pelos radiculares e as micorrizas (BROWN et al., 2013). Estes autores propõem um modelo de pelo radicular, cujo ideal para as plantas seria o de pelos mais longos e com mais tempo de vida do que pelos curtos e em grande densidade. Além do relatado acima, Brechenmacher et al. (2010) concluíram que os pelos radiculares possuem um papel importante no processo de fixação biológica de nitrogênio em plantas leguminosas como a soja, identificando pequenas moléculas produzidas na raiz e nos pelos radiculares durante o processo de infecção das bactérias fixadoras de nitrogênio, mostrando que eles têm participação decisiva na troca de moléculas que possibilita o processo de simbiose entre a planta e a bactéria. Todos estes fatores são de grande importância para o melhoramento de plantas, visto que existe variabilidade genética para estes traços de raízes, sendo possível a seleção de genótipos com características de interesse agrônomo, como fizeram Bonser et al. (1996), Vieira et al. (2007) e Jochua (2013), para feijão.

Historicamente pouco se estudou a respeito de pelos radiculares de plantas, devido às dificuldades em se trabalhar com raízes. Dificuldades de visualização, manuseio, entre outros fatores, transformaram o estudo sobre raízes num trabalho moroso, dispendioso e de difícil execução, fazendo com que sempre ficassem relegadas a segundo plano no campo da pesquisa agrônoma. Consequentemente, trabalhos específicos, principalmente o de seleção de genótipos ricos em pelos radiculares são raros. No entanto, nas últimas décadas, as técnicas de estudos de raízes foram evoluindo, surgindo novos equipamentos com a criação de novos métodos para trabalhos realizados em casas de vegetação, em meios hidropônicos ou em laboratório. Surgiram, também, novos substratos e novas soluções nutritivas. Atualmente, existem técnicas de avaliação de raízes ainda jovens e pequenas, obtidas em laboratório e em papel de germinação, com o uso de imagens fotográficas e de microscópios estereoscópios, além de

modelos de computador para estimativas do desenvolvimento de raízes. São, também, encontrados softwares específicos para a realização de medições e avaliações de traços de raízes importantes para a seleção de genótipos agronomicamente interessantes. As duas principais avaliações feitas nos pelos radiculares são a medição do comprimento e a avaliação da sua densidade por unidade de área. Alguns trabalhos apresentam a densidade por meio de contagem da quantidade de pelos por milímetro quadrado (JOCHUA, 2013) e outros por milímetro linear, como Mackay & Barber (1985).

O objetivo deste trabalho foi selecionar genótipos de soja, trigo e girassol, baseando-se no comprimento dos pelos radiculares. E, além disso, testar a utilização de microscópios digitais portáteis para a obtenção das imagens e a determinação do comprimento dos pelos radiculares, como parte de metodologia de “screenings” iniciais para a escolha de genótipos com boa capacidade de absorção de nutrientes e com potencial de tolerância à deficiência hídrica.

## **Material e Métodos**

Para este trabalho foram utilizados 56 genótipos de soja, trigo e girassol, obtidos nas coleções de germoplasma do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Os genótipos escolhidos tiveram origens nos seguintes países: soja - 19 genótipos dos Estados Unidos e seis do Brasil; trigo - 16 genótipos dos Estados Unidos e um do Canadá e girassol - três genótipos dos Estados Unidos e um genótipo de cada um dos seguintes países: Austrália, Brasil, Canadá, Chile, França, Marrocos, Paraguai, Peru, Uruguai e Zâmbia. O experimento foi realizado no laboratório de raízes, da Pennsylvania State University, localizado em State College, Pennsylvania, EUA. Os 56 genótipos foram semeados no ano de 2013, organizado em forma de rotina semanal, onde para cada espécie foram feitas sementeiras e coletas de dados semanais. O delineamento experimental foi o de blocos totalmente casualizados, tendo sido feitas quatro repetições para a soja e o girassol e cinco repetições para o trigo. Semanalmente,

antes da sementeira, as sementes foram esterilizadas por 1-2 minutos com 10% de hipoclorito de sódio, lavadas com água deionizada e germinadas em rolos de papel marrom para germinação N° 78 (Anchor Paper Company, St. Paul, MN, EUA). Os rolos, contendo de cinco a seis sementes cada um, foram colocados verticalmente em bekers contendo 1 L de CaSO<sub>4</sub> 0,5 mM e cobertos por um filme plástico transparente. Logo em seguida as sementes foram colocadas para germinar no escuro, a 28 °C, por três a quatro dias. Após a germinação, as plântulas foram deixadas numa sala para cultura de plantas, a 26 °C, durante quatro dias, com 12 horas de luz. Ficou estabelecido que no sexto ou no sétimo dia seria o momento para as avaliações do comprimento dos pelos radiculares das raízes principais de soja e girassol e das raízes seminais de trigo. Este procedimento foi feito por meio de realização da tomada de imagens das plântulas para posterior análise. Foi utilizado o microscópio digital portátil Celestron para a tomada dessas imagens, sempre obtidas à mesma distância entre o foco do microscópio e a raiz, juntamente com uma escala de plástico, graduada em milímetros. Tais imagens obtidas tiveram um aumento de 40 x e foram armazenadas num banco de dados, todas organizadas num arquivo em formato jpg, cujo nome foi dado em código, de forma a conter a inicial da cultura, o nome da cultivar, o número da planta, o número da repetição e o local da raiz de onde foi obtida a imagem. Isto serviu para a determinação do comprimento médio dos pelos da raiz principal de soja e girassol e o comprimento dos pelos radiculares das raízes seminais de trigo. Esta nomenclatura de raízes está de acordo com o descrito por Nielsen (2013) para o sistema radicular das monocotiledôneas, particularmente milho, e Zobel (1986) e Gregory (2006), para dicotiledôneas. O passo seguinte foi a determinação do comprimento médio dos pelos radiculares a partir das referidas imagens. Para isto foi necessária a utilização de um software específico para as medições, a partir da imagem obtida no Celestron. Para isso foi utilizado o software Micro-measure, que permitiu a determinação do comprimento médio dos pelos nas imagens, obtendo-se outra imagem, que também foi salva em arquivo com extensão jpg. Assim, a realização da determinação do comprimento dos pelos

radiculares foi feita pelo seguinte procedimento: O primeiro passo foi a abertura da imagem obtida inicialmente no Celestron; o segundo passo iniciou-se a partir da imagem da escala de plástico onde foi feita uma calibragem, lendo-se o número de pixels existentes em cada milímetro da escala para a respectiva calibragem, que teve o objetivo de informar ao software a quantidade de pixels existente em 1 mm da escala. No terceiro passo foram feitas as leituras do comprimento de três a cinco pelos por imagem. Ao final o arquivo da imagem foi salvo na planilha eletrônica Excel, pela mudança da extensão para xls, onde foram organizados todos os dados necessários à análise estatística. Nos 56 genótipos estudados foram realizadas as determinações do comprimento de pelos em aproximadamente 1200 plântulas, com a medição de aproximadamente 4000 pelos radiculares. Foram aplicados os testes de Shapiro & Wilk (1965) para avaliar a normalidade dos erros, o teste de Tukey (1949) na avaliação da aditividade do modelo e o teste de Burr & Foster (1972) para a verificação da homogeneidade de variâncias dos erros dos tratamentos. Atendidos estes requisitos foi possível realizar a análise de variância (ANOVA) e o teste de comparações múltiplas de médias por Tukey a 5% de probabilidade (STEEL & TORRIE, 1960). As análises foram realizadas pelo software SAS (2009).

## **Resultados e Discussão**

Na Tabela 1 são encontrados os genótipos de soja, girassol e trigo utilizados neste trabalho e as diferenças entre genótipos obtidos na análise estatística. Os genótipos FT Cometa, FT Xavante, BRS Tiana, UFV Sucupira, IAC 11 e IAC 17 são materiais brasileiros; os outros materiais são americanos.

Para a soja, o genótipo FT Cometa foi o que mostrou o pelo mais longo, não diferindo estatisticamente de Musen, Prichard, NC Raleigh, NC Roy, FT Xavante e Freedom. Embora existam outras diferenças estatísticas entre outros genótipos é possível afirmar que este grupo poderia ser selecionado como um grupo potencial para estudos posteriores na procura dos genótipos desejados. Por outro lado, as

cultivares Skylla e Titan demonstraram possuir os pelos radiculares mais curtos de todos os materiais testados.

**Tabela 1.** Comprimento médio dos pelos radiculares (mm) da raiz principal de genótipos de soja e girassol e de pelos radiculares da raiz seminal de trigo.

Soja		Girassol		Trigo	
FT Cometa	0,65 a	Sunfola	1,04 a	Baker	1,15 a
Musen	0,64 ab	CMG Saturn	1,02 ab	Express	1,02 ab
Prichard	0,62 abc	Hopi Dye	0,99 abc	Amidon	0,95 abc
NC Raleigh	0,58 abcd	ZFA	0,95 abc	Vandal	0,88 bcd
NC Roy	0,57 abcde	N. 116	0,87 abc	Sharp	0,85 bcd
FT Xavante	0,54 abcdef	Mandan	0,85 abc	Eureka	0,84 bcd
Freedom	0,53 abcdefg	Colliguay	0,85 abc	Chena	0,83 bcd
Daksoy	0,48 bcdefgh	Gir PI318468	0,85 abc	Celtic	0,82 bcd
LD00-3309	0,46 cdefghi	Estanzuela	0,84 abc	Ingal	0,81 bcd
Apex	0,46 cdefghi	Sel Ra	0,79 abc	Sylvan	0,79 bcd
Stride	0,45 cdefghi	Marianne	0,73 abc	Mc Neal	0,78 bcd
Pembina	0,45 defghi	Guaran	0,70 bc	Vance	0,75 bcd
Desha	0,45 defghi	DS 1474	0,69 c	Cavalier	0,72 cd
BRS Tiana	0,45 defghi			Poco Red	0,72 cd
Motte	0,44 defghi			Nordic	0,72 cd
UFV Sucup.	0,44 defghi			Ac Karma	0,72 cd
NE 2701	0,43 defghi			Stoa	0,66 d
Benning	0,42 defghi				
La Moure	0,42 defghi				
IAC 11	0,40 efghi				
Saluki4910	0,38 fghi				
Boggs	0,36 ghi				
IAC 17	0,33 hi				
Skylla	0,30 i				
Titan	0,30 i				

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p$  menor ou igual a 0,05)

Nas análises, os genótipos de girassol estudados não mostraram grandes diferenças estatísticas, podendo-se dizer que os dois materiais de pelos mais longos (Sunfola e Saturn), a rigor, diferiram estatisticamente apenas dos dois com pelos mais curtos (Guaran e DS 1474-3). Houve um número de nove genótipos, com leituras absolutas de comprimento de pelos, que não diferiram estatisticamente dos dois com pelos mais compridos.

Por fim, ainda na Tabela 1, são encontrados os genótipos de trigo estudados. Os genótipos Baker, Express e Amidon foram os que



mostraram os pelos mais longos, não diferindo estatisticamente entre si. Assim, este grupo poderia ser selecionado como um grupo potencial para estudos posteriores na procura de genótipos com pelos longos, com maior potencial de tolerância à seca e mais eficiente em termos absorção de nutrientes. Por outro lado, o genótipo Stoa demonstrou possuir os pelos radiculares mais curtos de todos os materiais testados.

Tradicionalmente, o procedimento de semeadura de sementes no papel, obtenção das imagens e a determinação de medição de traços de raízes é mais demorado do que a metodologia proposta aqui. Quando se usa o método tradicional do estereoscópio, as etapas são: Após a obtenção da plântula, a raiz da mesma é armazenada em álcool e após um tempo ( entre uma e duas semanas) é obtida a imagem no microscópio estereoscópio, com o uso de corantes, como por exemplo a toluidina, para melhor visualizar os pelos, como na metodologia de Jochua (2013). Numa terceira etapa é realizada a determinação do comprimento do pelo em um software e numa quarta etapa a passagem dos dados da medição para uma planilha, como por exemplo, o Excel. Quando são utilizados microscópios digitais portáteis, como no caso deste trabalho, no entanto, todo o procedimento, após a obtenção da plântula em papel pode ser feito rapidamente. Ou seja, é feita a imagem no microscópio digital portátil (salva em formato jpg), não sendo necessário o armazenamento em álcool. As plântulas são descartadas após a obtenção da imagem e o banco de dados formado é utilizado em todas as análises posteriores. E durante a determinação do comprimento dos pelos radiculares não é preciso o uso de corantes, além de não ser necessário esperar uma semana ou mais para a realização da tarefa, havendo aí um grande ganho de tempo e custos reduzidos, sem perda da qualidade do trabalho. Há assim uma economia de tempo e redução de gastos com álcool, corantes, vidros e local para armazenagem. Além disso, os aparelhos utilizados neste trabalho são de baixo custo de aquisição e podem ser transportados facilmente em viagens, podendo ser utilizados no campo, em salas de aula, escritórios e laboratórios. Portanto, a utilização do equipamento

foi útil no estudo aqui realizado, mostrando-se muito viável e abrindo novas possibilidades de uso em outros tipos de trabalhos envolvendo raízes, inclusive possibilitando imagens com maiores detalhes do que aqueles utilizados nesta pesquisa. A exemplo disso, a Figura 1 mostra uma foto dos pelos de uma raiz seminal de trigo.



Foto: Sergio Luiz Gonçalves

**Figura 1.** Detalhe de pelos radiculares de raiz seminal de trigo

De modo geral, os dados da análise estatística obtidos indicaram que a diferença mínima significativa das espécies estudadas é pequena. No entanto, isso não reduz a importância do estudo do comprimento dos pelos radiculares. Isto porque as regiões do solo mais ricas em nutrientes são as camadas superficiais, principalmente em nutrientes pouco móveis como fósforo e potássio, que são absorvidos pela planta por difusão (LYNCH, 2007); assim para serem absorvidos precisam de um contato bem próximo com a raiz. Por isso, raízes com arquitetura propensas a serem mais superficiais (principalmente raízes basais e nodais) tendem a ocupar uma área maior no topsoil (camadas superficiais do solo), aumentando a probabilidade de absorção destes e outros nutrientes (MIGUEL et al., 2013). Além disso, raízes com essa

arquitetura e ricas em pelos, de preferência longos, complementam o sinergismo com a arquitetura sendo responsáveis por absorção de água, liberação e absorção de fósforo. Por sua vez, raízes com arquitetura propensas a serem mais profundas, quando ricas em pelos, aumentam a tolerância da planta à deficiência hídrica. E quando os pelos são longos, levando-se em consideração toda a área de absorção da raiz, uma diferença significativa no comprimento deles, representa uma área de absorção significativamente maior também, quando se analisa a dimensão da raiz como um todo.

Outro ponto a ser considerado é que, como no manuseio das raízes, as mesmas correm grandes riscos de serem quebradas, ou em parte quebradas, os trabalhos feitos em casas de vegetação e no campo devem ser executados com o maior número de repetições possível para dar maior confiabilidade à análise estatística (GREGORY, 2006). A metodologia utilizada aqui, de obtenção de plântulas em papel, torna-se uma vantagem, pela rapidez na obtenção da raiz; neste caso, seis a sete dias e da não destruição da raiz, que sempre estão intactas no momento exato da obtenção das imagens, permitindo que um número de quatro a seis repetições apresente uma boa confiabilidade para análises estatísticas. É importante lembrar, que as técnicas feitas em papel e em laboratório, por si só, podem não ser suficientes para que as conclusões sejam definitivas. Isso porque não existe garantia de que os dados obtidos em laboratório sejam reproduzidos também no campo. Por isso devem ser validados nos ambientes de cultivo. Wasson et al. (2012) sugerem que estas técnicas devam ser sempre parte de um programa e não todo o programa em si. Por estes motivos este trabalho é uma sugestão de “screening” inicial de seleção de genótipos com potencialidade de sucesso. Na verdade um meio de eliminar os genótipos que não tem potencial algum e selecionar aqueles que continuam sendo promissores. Um importante ponto a ser considerado neste tipo de trabalho reside no vigor das sementes utilizadas. Em função das condições ambientais e da tecnologia da produção das sementes e das condições e tempo de armazenamento é comum haver variações significativas no poder de germinação e no vigor de

plântulas dentro de um mesmo genótipo. Segundo Nakagawa (1999), o vigor das sementes pode ser avaliado com base no desempenho de plântulas, sendo possível fazer uma classificação de plântulas normais e anormais. Assim, do trabalho aqui realizado fica a sugestão de que seja feita a seleção das maiores sementes e a classificação prévia das plântulas vigorosas normais, para a posterior análise dos traços das raízes. Isto seria útil para a uniformização dos ensaios, principalmente para os estudos de raízes laterais, separando melhor os efeitos ambientais dos genéticos nos materiais analisados.

Donald (1968) definiu que a planta ideal é aquela que consegue produzir o máximo de matéria seca com o menor custo energético possível. Porém, atualmente, as plantas investem grande parte da sua energia em crescimento de raízes em função da sua manutenção, sendo importantes os estudos sobre o metabolismo celular e a eficiência das raízes na utilização de assimilados fotossintéticos (GREGORY & GEORGE, 2011). Os pelos radiculares representam um sinal de grande importância na evolução das plantas, sendo sinônimo de baixo custo metabólico e sempre são descritos e considerados nos ideótipos de raízes, conforme Lynch (2007; 2013) e White et al.(2013). Diante de estresses nutricionais, por exemplo, a planta tende a promover o crescimento de raízes, na busca de nutrientes (CHAPIN III et al., 1987). Mas neste processo, a energia gasta é muito alta. Assim, um número excessivo de raízes, principalmente laterais curtas e com um grande diâmetro, pode ser um fator negativo. O ideal seria o genótipo possuir um bom número de raízes laterais, porém não em excesso, com diâmetros menores e, principalmente, possuir grande número e longos pelos radiculares. Isso reduziria em muito o custo metabólico total das plantas, que poderiam gastar menos energia em manutenção de raízes e órgãos e, conseqüentemente, teriam melhores condições de investir em aumento de produção de grãos, por exemplo.

O que se sabe a respeito das raízes ainda é muito pouco em comparação aos conhecimentos que temos sobre as outras partes das plantas. É muito sobre o que sabemos hoje está restrito ao

conhecimento em nível de espécie. Inicia-se agora, um momento em que muitos avanços podem ser alcançados sobre diferenças entre genótipos dentro de uma mesma espécie, visto que existe variabilidade genotípica para diferentes traços de raízes. A germinação de sementes em papel e os estudos ainda com plântulas permitem “screenings” iniciais que possibilitam as primeiras seleções dos genótipos desejados. Por fim, o melhoramento de plantas, que sempre selecionou genótipos adaptados a ótimos ambientes em termos nutricionais e hídricos, terá um papel importante na seleção de plantas adaptadas a ambientes estressantes, buscando nos bancos de germoplasma, nas variedades ou nas cultivares comerciais, as raízes de plantas que poderão ter uma importante contribuição para a solução de problemas relacionados à superpopulação humana e à segurança alimentar. Os pelos radiculares, particularmente devido à sua importância na absorção de fósforo, conforme afirmaram Brown et al. (2013), passam a ter uma significância global e sendo fundamentais para a sustentabilidade agrícola do ponto de vista científico, político e ambiental.

## **Agradecimentos**

À Embrapa e ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento pela oportunidade da realização do treinamento como “visiting scholar” e a liberação de auxílio econômico durante o período de estudo.

À Pennsylvania State University, localizada em State College, Pennsylvania – EUA, na figura do Dr. Jonathan P. Lynch, pela oportunidade do treinamento e do aprendizado, do tempo despendido para produtivas discussões, da estrutura de pesquisa sempre à disposição, pela positiva convivência e amizade.

Ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), na figura dos curadores Randall Nelson (soja), Harold Bockelman (trigo) e Laura Marek (girassol) pela cessão das sementes dos genótipos utilizados neste estudo.

## Referências

- BONSER, A.; LYNCH, J.; SNAPP, S. Effect of phosphorus deficiency on growth angle of basal roots in *Phaseolus vulgaris*. **New Phytologist**, v. 132, p. 281-288, 1996.
- BRECHENMACHER, L.; LEI, Z.; LIBAULT, M.; FINDLEY, S.; SUGAWARA, M.; SADOWSKY, M.J.; SUMNER, L.W.; STACEY, G. Soybean metabolites regulated in root hairs in response to the symbiotic bacterium *Bradyrhizobium japonicum*. **Plant Physiology**, v. 153, p. 1808-1822, 2010. DOI: 10.1104/pp.110.157800.
- BROWN, L.K.; GEORGE, T.S.; DUPUY, L.X.; WHITE, P.J. A conceptual model of root hair ideotypes for future agricultural environments: what combination of traits should be targeted to cope with limited P availability? **Annals of Botany**, v. 112, p. 317-330, 2013. DOI: 10.1093/aob/mcs231.
- BURR, I.W.; FOSTER, L.A. **A test for equality of variances**. West Lafayette: University of Purdue, 1972. 26 p. (Mimeo series, 282).
- CHAPIN III, F.S.; BLOOM, A.J.; FIEL, C.B.; WARING, R.H. Plant responses to multiple environmental factors: physiological ecology provides tools for studying how interacting environmental resources control plant growth. **BioScience**, v. 37, n. 1, p. 49-57, 1987.
- CORDELL, D.; DRANGERT, J. O.; WHITE, S. The story of phosphorus: global food security and food for thought. **Global Environmental Change**, v. 19, p. 292-305, 2009. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009
- DONALD, C.M. The breeding of crop ideotypes. **Euphytica**, v. 17, p. 385-403, 1968.

GAHOONIA, T.S.; NIELSEN, N.E. Barley genotypes with long root hairs sustain high grain yields in low-P. **Plant and Soil**, v. 262, p. 55-62, 2004.

GAHOONIA, T.S.; NIELSEN, N.E.; JOSHI, P.A.; JAHOOR, A. A root hairless barley mutant for elucidating genetic of root hairs and phosphorus uptake. **Plant and Soil**, v. 235, p. 211-219, 2001.

GILBERT, N. The disappearing nutrient. **Nature**, v. 461, p. 716-718, 2009. DOI:10.1038/461716a.

GREGORY, P. **Plant roots: growth, activity and interaction with soils**. Oxford: Blackwell Publishing, 2006. 318 p.

GREGORY, P.J.; GEORGE, T.S. Feed nine billion: the challenge to sustainable crop production. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 15, p. 5233-5239, 2011. DOI: 10.1093/jxb/err232

JOCHUA, C.N. **Deploying root traits for african bean breeding**. 2013. 129f. Dissertation in Horticulture (Degree of Doctor of Philosophy) - The Pennsylvania State University, The Graduate School, College of Agricultural Sciences, USA.

LYNCH, J.P. Roots of second green revolution. **Australian Journal of Botany**, v. 55, p. 493-512, 2007.

LYNCH, J.P. Steep, cheap and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize roots systems. **Annals of Botany**, v. 112, p. 347-357, 2013. DOI: 10.1093/aob/mcs293.

MACKAY, A.D.; BARBER, S.A. Effect of soil moisture and phosphate level on root hair growth of corn roots. **Plant and Soil**, v. 86, p. 321-331, 1985.

MARENGO, J.; NOBRE, C.; CHOU, C.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES, L.M.; OBREGON, G.; SOARES, W.; BETTS, R.; KAY, G.

**Riscos das mudanças climáticas no Brasil:** análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas na Amazônia. São José dos Campos: INPE, 2011. 56p.

MIGUEL, A.; WIDRIG, A.; VIEIRA, R.F.; BROWN, K.M.; LYNCH, J.P. Basal root whorl number: a modulator of phosphorus acquisition in common bean (*Phaseolus vulgaris*). **Annals of Botany**, v. 112, n. 6, p. 973-82, 2013. DOI: 10.1093/aob/mct164.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p.2.1-2.24.

NIELSEN, R.L. **Root development in young corn**. West Lafayette: Purdue University, 2013. (Purdue University. Department of Agronomy, Corny news network articles). Disponível em: <<http://www.kingcorn.org/news/timeless/Roots.html>>. Acesso em 2 mai. 2013.

RAVEN, J.A.; EDWARDS, D. Roots: evolutionary origins and biogeochemical significance. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, p. 381-401, 2001.

RIDGE, R. W. Recent developments in the cell and molecular biology of root hairs. **Journal of Plant Research**, v. 108, p. 399-405, 1995.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT: user's Guide**. Version 9.2. Cary: SAS Institute, 2009. 786p.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality. **Biometrika**, v. 52, p. 591-611, 1965.

STEEL, R.G.G; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics: with special reference to the Biological Sciences**. New York: McGraw-Hill, 1960. 481 p.



TUKEY, J.W. One degree of freedom for non-additivity. **Biometrics**, v. 5, p. 232-242, 1949.

VIEIRA, R. F.; JOCHUA, C.N.; LYNCH, J.P. Method for evaluation of root hairs of common bean genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p.1365-1368, 2007.

WASSON, A.P.; RICHARDS, R.A.; CHATRATH, R.; MISRA, S.C.; SAI PRASAD, S.V.; TEBETZKE, G.J.; KIRKEGAARD, J.A. CHRISTOPHER, J.; WATT, M. Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 9, p. 3485-98, 2012. DOI: 10.1093/jxb/ers111.

WHITE, P.J.; GEORGE, T.S. GREGORY, P.; GLYN BENGOUGH, A.; HALLET, P.D.; McKENZIE, B.M. Matching roots to their environment. **Annals of Botany**, v. 112, p. 207-222, 2013. DOI: 10.1093/aob/mct123.

YADAV, S.S.; McNEIL, D.; REDDEN, R.; PATIL, S.A. (Ed.). **Climate change and management of cool season grain legume crops**. Dordrecht: Springer, 2010. 460 p.

ZOBEL, R.W. Rhizogenetics (root genetics) of vegetable crops. **HortScience**, v. 21, n. 4, p. 956–959, 1986.