

**Universidade Federal de Pelotas**  
**Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes**



**Dissertação**

**Resistência ao Arranquio de Plantas: Potencial Critério de Seleção em  
Programas de Melhoramento Genético de Soja.**

**Victor Sommer**

**Pelotas, 2016**

**Victor Sommer**

**Resistência ao Arranquio de Plantas: Potencial Critério de Seleção em Programas de Melhoramento Genético de Soja.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pelotas, sob a orientação do Prof. Dr. Luis Osmar Braga Schuch, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, para a obtenção do título de Mestre Profissional.

Orientador: Prof. Dr. Luis Osmar Braga Schuch

Coorientador: Eng. Agr. Dr. Géri Eduardo Meneghello

Pelotas, 2016

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

S697r Sommer, Victor

Resistência ao arranquio de plantas : potencial critério de seleção em programas de melhoramento genético de soja. / Victor Sommer ; Luis Osmar Braga Schuch, orientador ; Géri Eduardo Meneghello, coorientador. — Pelotas, 2016.

68 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2016.

1. Glycine max (l) merrill. 2. Rendimento. 3. Tração de plantas. 4. Exploração do solo. I. Schuch, Luis Osmar Braga, orient. II. Meneghello, Géri Eduardo, coorient. III. Título.

CDD : 633.34

Victor Sommer

Resistência ao Arranquio de Plantas: Potencial Critério de Seleção em  
Programas de Melhoramento Genético de Soja.

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: Outubro de 2016.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Luis Osmar Braga Schuch  
(FAEM/UFPeI)

---

Prof. Dr. Silmar Teichert Peske  
(FAEM/UFPEL)

---

Prof. Dr. Francisco Amaral Villela  
(FAEM/UFPEL)

---

Dr.<sup>a</sup> Andréia da Silva Almeida  
(Bolsista PNPd/UFPEL)

*Dedico este trabalho a Deus.*

*À minha família que sempre me incentivou e apoiou na condução deste trabalho que é o fruto de um antigo sonho que tornou-se realidade.*

*À Direção da empresa Fundação Pró-Sementes que me apoiou em todos os sentidos na realização deste curso.*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos professores Dr. Luis Osmar Braga Schuch e Dr. Géri Eduardo Meneghello pela dedicação e amizade que tiveram ao me orientar em todos momentos deste trabalho.

Aos meus pais, Rolando Constantino Sommer (in memoriam) e Inge Ursula Sommer, minha esposa, Silvia Regina Colito Sommer e minha sogra, Maria Clementina Espiler Colito, pelo apoio, incentivo, carinho e compreensão dedicados.

A todo apoio dispensado pela diretoria e demais colaboradores da Fundação Pró-Sementes.

À Universidade de Passo Fundo, em especial ao Dr. Hélio Rocha, Dr. Geraldo Luiz Chavarria Lamas Junior, Dr. Luiz Carlos Gutkoski, Dra. Norimar Denardin e Dr. Pedro Geraldo Escosteguy, por disponibilizarem orientações e infraestrutura necessárias.

A todos que de uma forma ou outra me apoiaram na realização deste trabalho.

Muito obrigado.

## Resumo

SOMMER, Victor. **Resistência ao Arranquio de Plantas: Potencial Critério de Seleção em Programas de Melhoramento Genético de Soja**. 2016. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016

Sabendo da importância que o sistema radicular representa no desempenho de uma planta de soja e das dificuldades enfrentadas para estudá-lo, sugere-se, neste sentido, uma nova metodologia, para apoiar e agilizar programas de melhoramento na seleção de linhagens e cultivares que apresentem rendimento diferenciado. Para tanto, foi utilizada uma nova metodologia simples e rápida. Este sistema foi aplicado no campo mensurando a força necessária para arrancar do solo plantas de cinco cultivares de soja e correlacioná-la com seus componentes de rendimento e demais características agrônômicas. Para isto, dois experimentos foram conduzidos no município de Passo Fundo, Estado do Rio Grande do Sul. O primeiro experimento foi conduzido em campo. No estágio fenológico R5.2 as parcelas foram submetidas ao sistema proposto de tração de plantas e no estágio fenológico R5.5 foram submetidas à câmara de pressão Scholander e ao termômetro infravermelho para determinar seu conteúdo hídrico e temperatura. Neste experimento foram também determinados a altura da planta, altura de inserção do primeiro legume, número de ramos por planta, diâmetro do caule e os componentes de rendimento. Sendo a metodologia de tração de plantas destrutiva foi conduzido, em casa de vegetação, um segundo experimento. As mesmas cultivares testadas no experimento conduzido em campo foram implantadas em vasos, com o objetivo de dimensionar o sistema radicular íntegro de cada cultivar testada. No estágio fenológico R5.5, o sistema radicular das unidades experimentais foi lavado e determinados sua matéria seca. Foram determinadas correlações lineares entre todas as variáveis estudadas. Concluiu-se que a resistência ao arranquio de plantas é uma ferramenta promissora na seleção de linhagens e cultivares de soja direcionadas a rendimento de grãos.

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L) Merrill; rendimento; tração de plantas; exploração do solo.

## Abstract

SOMMER, Victor. **Traction in Removing Plants of The Soil: Potential Criterion for Selection in Soybean Breeding Programs.** 2016. 68f. Thesis (Master in Seeds Science and Technology) – Graduate Program in Seeds Science and Technology, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2016

Knowing the importance that the root system represents the performance of a cultivar of soybean and the difficulties faced to study it, it was suggested, in this sense, a new methodology to support and accelerate breeding programs on lines and cultivars. For this it was used a new system, simply and quickly, that has been applied in the field measuring the traction required to pull the ground plants of five soybean cultivars and correlate it with its components of yield and other agronomic characteristics. For this, two trials were conducted in the city of Passo Fundo, Rio Grande do Sul State's. The first experiment was conducted in the field and at the phenological stage R 5.2 their plots were subjected to the proposed traction system. At the phenological stage R 5.5, plots were subjected to the Scholander chamber and the infrared thermometer to determine its water content and temperature respectively. In this experiment were also determined the plant height, first insertion vegetable height, number of branches per plant, stem diameter, and yield components. Taking into consideration that the use of the traction plants methodology is destructive, a second trial was conducted in a greenhouse. The same cultivars tested in the experiment developed in the field were deployed on vessels using sieved soil as substrate, in order to scale an entire root system of each tested variety. At the phenological stage R 5.5, the root system of the experimental units were washed and dry matter evaluated. Significant correlations among the variables studied were determined. It was concluded that the traction methodology in removing plants of the soil is a promising tool in soybean breeding programs.

**Keywords:** *Glycine max* (L.) Merrill; yield, root system; soil exploration

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Dos climáticos médios, precipitação pluvial mensal e temperatura mensal, registradas em Passo Fundo – RS no período compreendido entre novembro de 2014 e maio de 2015.....	35
Figura 2	Visualização esquemática do traciômetro por ocasião de sua utilização nas avaliações. A: Posição inicial quando a planta é amarrada em seu colo, B: Posição em que o operador exerce tração gradual na peça móvel do traciômetro até que a planta é completamente extraída do solo, C: Momento em que o operador registra a tração máxima exercida na extração de cada planta.....	37
Figura 3	Visualização cronológica da avaliação do potencial de água na folha determinada com auxílio da Câmara Scholander.....	38
Figura 4	Termômetro infravermelho utilizado para determinar a temperatura foliar.....	39
Figura 5	Visualização cronológica de condução do experimento desenvolvido na estufa. Estufa coberta com tela, A: Estrutura suporte dos vasos; B: Dreno de cada vaso; C: Emergência das plântulas da unidade experimental; D: Planta individual mantida na unidade experimental após desbaste; E: Imagem geral das unidades experimentais; F: Unidade experimental; G: Planta da unidade experimental retirada do vaso, estágio fenológico R 5.5; I: Bloco de terra da unidade experimental retirado do vaso; J: Detalhe do fundo do bloco de terra da unidade experimental expondo a extremidade do sistema radicular.....	43
Figura 6	Materiais utilizados na obtenção do sistema radicular. A: Proveta, peneiras, pinça e recipiente utilizado para lavagem das raízes.....	44
Figura 7	Equipamentos utilizados nas avaliações da matéria seca do sistema radicular. A: Estufa; B: Balança de precisão.....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Rendimento de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), tração aplicada na extração física das plantas de soja do solo (kg e percentagem da média), potencial de água na folha (bar) e temperatura da folha ( $^{\circ}\text{C}$ ), de plantas de cinco cultivares de soja. Fundação Pró-Sementes, 2016. Passo Fundo, RS.....	48
Tabela 2	Coefficiente de correlação linear simples ( $r$ ) estimada entre a tração de plantas, potencial de água na folha, temperatura da folha, rendimento, número de legumes por planta, número de grãos por planta, massa de mil grãos, número de ramos por planta, altura de planta, altura de inserção do primeiro legume, diâmetro do caule e massa seca do sistema radicular de plantas de cinco cultivares de soja. Fundação Pró-Sementes, 2016. Passo Fundo, RS.....	49
Tabela 3	Componentes do rendimento: número de legumes por planta ( $\text{legumes}\cdot\text{pl}^{-1}$ ), número de grãos por planta ( $\text{grão}\cdot\text{pl}^{-1}$ ) e massa de mil grãos (g) de plantas de cinco cultivares de soja. Fundação Pró-Sementes, 2016. Passo Fundo, RS.....	51
Tabela 4	Características agronômicas das cultivares testadas: número de ramos por planta ( $\text{ramos}\cdot\text{planta}^{-1}$ ), altura da planta (cm), altura de inserção do primeiro legume (cm), diâmetro do caule (mm), de plantas de cinco cultivares de soja. Fundação Pró-Sementes, 2016. Passo Fundo, RS.....	52
Tabela 5	Característica do sistema radicular das plantas de cinco cultivares testadas em casa de vegetação: massa seca (g) do sistema radicular. Fundação Pró-Sementes, 2016. Passo Fundo, RS.....	53

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
2.1. A Origem da Cultura da Soja .....	14
2.2. A Introdução da Soja no Brasil .....	14
2.3. Aspectos Econômicos da Cultura da Soja no Brasil .....	14
2.4. Aspectos Relevantes no Desenvolvimento do Sistema Radicular da Soja.....	15
2.4.1. A Importância da Água do Desenvolvimento da Cultura da Soja..	15
2.4.2. Importância das Condições Físicas do Solo.....	18
2.4.3. Aspectos Morfológicos e Fisiológicos da Planta que Afetam a Eficiência Nutricional.....	19
2.4.3.1. Mecanismos Fisiológicos que Afetam a Eficiência Nutricional da Planta.....	19
2.4.3.2. Mecanismos Morfológicos que Afetam a Eficiência Nutricional da Planta.....	20
2.4.4. Outros Fatores que Afetam a Eficiência Nutricional das Plantas.	21
2.4.4.1. Precipitação Pluvial.....	21
2.4.4.2. Temperatura do Solo.....	21
2.4.4.3. Alumínio.....	21
2.4.4.4. Alelopatia.....	22
2.4.4.5. Salinidade do Solo e da Água.....	22
2.4.4.6. Teor de Matéria Orgânica.....	22
2.4.4.7. Planta.....	23
2.4.4.7.1. Crescimento do Sistema Radicular.....	23
2.4.4.7.2. Micorrizas.....	24
2.4.4.7.3. Variabilidade Genética.....	24
2.5. Alguns Aspectos Importantes na Obtenção de Altos Rendimentos com a Cultura da Soja.....	25
2.5.1. Desenvolvimento de Novas Cultivares.....	25
2.5.2. Qualidade da Semente.....	26
2.5.3. Atividade do Sistema Radicular.....	26
2.5.4. Avaliação do Sistema Radicular.....	28
2.5.5. Inferências Sobre a Relação do Sistema Radicular e a Tração Necessária para Arrancar Plantas do Solo.....	30
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1. Localização dos Experimentos.....	32

3.2.Cultivares .....	32
3.3.Experimentos.....	33
3.3.1.Experimento Número 1.....	33
3.3.1.1.Determinações.....	36
3.3.1.1.1.Intensidade de Tração de Plantas do Solo.....	36
3.3.1.1.1.1.Objetivo da Utilização do Equipamento.....	36
3.3.1.1.1.2.Descrição do Equipamento.....	36
3.3.1.1.1.3.Funcionamento do Equipamento.....	38
3.3.1.1.2.Potencial Hídrico da Folha.....	38
3.3.1.1.3.Temperatura da Folha.....	40
3.3.1.1.4.Componentes de Rendimento.....	40
3.3.1.1.4.1.Número de Legumes por Planta e Número de Grãos por Planta.....	40
3.3.1.1.4.2.Massa De Mil Grãos.....	40
3.3.1.1.4.3.Rendimento de Grãos.....	41
3.3.1.1.5.Características Agronômicas.....	41
3.3.2.Experimento Número 2.....	43
3.3.2.1.Determinações.....	43
3.3.2.1.1.Massa Seca do Sistema Radicular .....	45
3.3.3.Análises Estatísticas.....	45
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1.Efeito Mecânico da Tração Aplicado às Plantas, Rendimento e Reações Fisiológicas.....	46
4.2.Componentes de Rendimento das Cultivares Testadas.....	50
4.3.Características Agronômicas.....	51
4.4.Características do Sistema Radicular.....	52
5.CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
ANEXOS	

## 1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill), cultura introduzida no Brasil no final do século XIX, tem representado, ano após ano, importância crescente na evolução do setor primário em várias regiões e melhorado considerável o seu ambiente socioeconômico. É uma das grandes responsáveis pelo sucesso de migrações populacionais da região sul para o centro-oeste e norte brasileiro e por também ter proporcionado melhoria no padrão de vida de milhões de pessoas através da geração de trabalho e renda.

A cultura da soja tem influenciado significativamente nos hábitos alimentares das populações e na disponibilização de matérias primas utilizadas na alimentação animal de várias espécies. Atualmente, tem sido também utilizada como matéria prima para impulsionar diversos complexos agroindustriais, e, ultimamente, na produção de biocombustível. No Brasil, é a base da balança comercial, sendo a principal cultura do agronegócio e das exportações agrícolas.

Graças a sua relevante importância, empresas de agroquímicos tem fortalecido significativamente suas estruturas no Brasil, assim como as empresas obtentoras de genética vegetal. Isto significa que vultosos investimentos tem sido feitos resultando em avanços significativos nos rendimentos da soja alcançados pelos agricultores brasileiros. Nas últimas décadas, imensos avanços tem sido registrados no meio agrícola em virtude desta nova realidade que a cultura da soja tem proporcionado. Foram sentidas também uma rápida evolução em técnicas relacionadas com o controle de invasoras, insetos, doenças, manejo do solo, mecanização agrícola, emprego intenso de eventos biotecnológicos e o desenvolvimento de cultivares de soja mais adaptadas a diferentes ambientes e situações.

Atualmente existe uma tendência da maioria das cultivares de soja serem mais eficientes, apresentarem ciclo mais curto para a maturação, melhor arquitetura de planta, índice de área foliar mais adequado, superior relação fonte-dreno, melhoria nos fatores de componentes de rendimento, aumento no número de ramificações por planta e também um melhor posicionamento técnico dado pelas empresas obtentoras, etc. Considerando-se as diferentes regiões produtoras da cultura da soja no Brasil, nos sete últimos anos, tem-se verificado

um incremento médio anual no rendimento de 50 kg.ha<sup>-1</sup>.

O Brasil dispõe de cultivares de soja com excelentes potenciais de rendimento de grãos, como demonstrado no concurso de produtividade da CESB 2014/2015, de 8.460 kg.ha<sup>-1</sup>.

Considerando que a prática da semeadura direta tem crescido anualmente, torna-se de grande importância, conhecer com mais profundidade, a extensão da contribuição química, física e biológica do sistema radicular das plantas de soja no solo (BORDIN et al., 2005) e principalmente identificar cultivares que possam, neste sentido, apresentar vantagens competitivas frente às demais. Levando-se em consideração as instabilidades climáticas, a compactação dos solos, fatores químicos limitantes ao desenvolvimento do sistema radicular (MENOSSO et al., 1988), condições de excesso hídrico em solo hidromórficos (PAZZIN, 2012) e a constante evolução dos agentes biológicos a que as lavouras de soja estão sujeitas, as empresas obtentores tem direcionando esforços crescentes no desenvolvimento de cultivares melhor adaptadas a estes agentes.

A grande maioria dos estudos tem sido direcionados à avaliação e ao conhecimento das diversas características agronômicas aéreas das cultivares de soja e uma atenção bem mais discreta tem sido dedicada a todo o contexto da planta que encontra-se abaixo da superfície do solo.

Levando-se em consideração que existem descritas inúmeras metodologias de avaliação do sistema radicular, desde as mais simples até as mais complexas, o desenvolvimento de uma nova metodologia de avaliação que seja expedita e de fácil aplicação nas condições de campo, seria muito bem-vinda. Sua aplicação na seleção de novas linhagens de soja e na caracterização das cultivares comerciais do mercado seria de grande utilidade para que os agricultores pudessem explorar cultivares com desempenho mais produtivo e estável.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi testar uma nova metodologia de avaliação do sistema radicular de cultivares de soja pela medição da resistência necessária para arrancar plantas do solo e estabelecer relações com suas características morfofisiológicas que auxiliarão na seleção e identificação de cultivares.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. A Origem da Cultura da Soja

A soja é uma espécie originária da China, região do Rio Yangtzé. Antes de ser domesticada, era uma planta rasteira que durante muitos séculos naturalmente sofreu cruzamentos com espécies selvagens que posteriormente foram domesticadas. A expansão geográfica da soja deu-se de forma lenta, e gradual, avançando até a Coreia e o Japão, no século III d.C. e outros países do sudeste asiático.

### 2.2. A introdução da cultura da soja no Brasil

A soja chegou ao Brasil por volta do ano de 1882 e o responsável pelos primeiros estudos com a cultura no país foi o professor Gustavo Dutra, da Escola de Agronomia da Bahia.

Cerca de uma década após iniciar estudos com a cultura, no começo do século XX, o Instituto Agrônomo de Campinas, IAC, começou distribuição de sementes para produtores do Estado de São Paulo. Relatos indicam que foi nesse período que produtores do Rio Grande do Sul começaram a cultivar a soja. Em virtude da semelhança com o clima do sul dos Estados Unidos, local de origem dos primeiros genótipos da soja brasileira, o Rio Grande do Sul apresentou as melhores condições para o desenvolvimento da cultura. O primeiro registro de cultivo comercial de soja no Brasil data de 1914, no município de Santa Rosa, RS. Mas, foi somente a partir do ano de 1940 que o seu cultivo adquiriu importância econômica, merecendo o primeiro registro estatístico nacional, em 1941, no Anuário Agrícola do Rio Grande do Sul.

### 2.3. Aspectos Econômicos da Cultura da Soja no Brasil

A soja é um dos produtos vegetais do Brasil de maior importância em suas exportações. Atualmente os estados que apresentam as maiores produções são

o Mato Grosso, Paraná e o Rio Grande do Sul. O volume de soja produzido no Brasil anualmente tem crescido e disputa a liderança mundial com os Estados Unidos.

Considerando que nas últimas safras os fatores climáticos tenham sido favoráveis para o desenvolvimento da cultura da soja nas diferentes regiões do Brasil e que o mercado internacional esteja apresentando boa valorização deste grão e seus derivados, a cultura da soja no Brasil vive atualmente um momento ímpar.

#### 2.4. Aspectos Relevantes no Desenvolvimento do Sistema Radicular da Soja

Considerando o objeto deste trabalho serão abordados alguns aspectos importantes relacionados ao desenvolvimento da cultura da soja:

##### 2.4.1. Importância da Água no Desenvolvimento da Cultura da Soja

A água constitui aproximadamente 85% do peso da planta, atuando, praticamente, em todos seus processos biológicos e bioquímicos. Desempenha a função de solvente, através do qual gases, minerais e outros solutos entram nas células, tecidos e movem-se através da planta. A demanda de água na cultura da soja é crescente com o seu desenvolvimento, atingindo o máximo durante a floração até o enchimento de grãos (7 a 8 mm.dia<sup>-1</sup>).

Uma das funções da água nas plantas é a absorção e dissipação de calor em virtude de seu alto calor específico, ou seja, a água requer um montante relativamente alto de energia para alterar a sua temperatura. Isto é particularmente importante nos processos metabólicos da planta, pois auxilia na estabilização de sua temperatura em situações de estresse hídrico e por ocasião do registro de ondas de calor.

Os sintomas iniciais mais comuns das plantas submetidas à deficiência hídrica, segundo McCree e Fernández (1989) e Taiz e Zeiger (1991), consiste no decréscimo da produção de área foliar, no fechamento dos estômatos, na aceleração da senescência e na abscisão das folhas. A limitação de crescimento da área foliar pode ser considerada a primeira reação das plantas sujeitas a

restrição hídrica (TAIZ; ZEIGER, 1991) que se traduz, no final do ciclo, em reduções de rendimento.

Considerando-se que boa parte das lavouras brasileiras de soja estão sujeitas a altos níveis tecnológicos de manejo, atualmente a maior limitação encontra-se ainda na disponibilidade de água e principalmente, distribuição das chuvas, especialmente no período reprodutivo. É o principal fator que contribui para que lavouras de determinadas regiões, apresentem, em diferentes safras, rendimentos comparativos tão discrepantes. Para exemplificar, na safra 2004/2005 foram registradas reduções de 78% nos rendimentos de grãos de soja nas lavouras do Estado do Rio Grande do Sul, em comparação com a safra 2002/2003. A grande diferença entre as duas safras foi a forte restrição hídrica registrada na safra 2004/2005.

A deficiência hídrica provoca alterações no comportamento vegetal cuja reversibilidade vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta. Segundo Levitt (1980), no entendimento das respostas das plantas ao déficit hídrico é de fundamental importância se quantificar a capacidade de armazenamento de água no solo e analisar a influência dos mecanismos de adaptação das plantas à redução da disponibilidade de água no solo pois, de acordo com Kiehl (1979), a quantidade de água armazenada no solo disponível às plantas varia com a textura e suas características físicas, levando a planta a apresentar diferentes respostas em seus mecanismos de resistência morfofisiológicos.

O volume de solo explorado e o contato entre a superfície das raízes e o solo são essenciais para a absorção efetiva da água pelas raízes. O contato é maximizado pela emissão dos pelos radiculares, com conseqüente aumento na área superficial e na capacidade de absorção de água. Durante o desenvolvimento das plantas, a densidade e o comprimento de raízes aumentam até o início da floração, decrescendo posteriormente, com diminuição na eficiência de absorção de água (PIMENTEL; ROSSIELO, 1995). O estudo de Ball et al. (1994) demonstrou que o maior desenvolvimento das raízes ocorre nas camadas de solo, cuja disponibilidade de água é maior. A expansão das raízes no campo foi mais afetada pelo déficit hídrico que a expansão das folhas, enquanto que raízes pequenas foram mais sensíveis ao estresse hídrico que as raízes médias e grandes. O desenvolvimento do sistema radicular nas camadas

mais profundas do perfil do solo possibilita às plantas, explorar melhor a umidade e a fertilidade do solo, dependendo das características morfológicas e genóticas da planta (GOLDMANN et al., 1989). O efeito do excesso de  $Al^{+3}$  na zona das raízes frequentemente impede seu desenvolvimento nas zonas mais profundas do solo, o que pode aumentar o efeito indireto do déficit hídrico (KAUFFMANN; GARDNER, 1978). Embora apresentando suficiente quantidade de água no solo para o pleno desenvolvimento das plantas, Zaifnejad et al. (1996) encontraram severos sintomas do efeito do estresse hídrico em plantas de trigo, devido à elevada concentração de  $Al^{+3}$  no solo. Davies e Zhang (1991) sugerem que em condições de déficit hídrico no solo há evidências de sinais químicos das raízes que agem diretamente no comportamento dinâmico dos estômatos.

Pimentel e Rossiello (1995) afirmaram que um ligeiro ressecamento do solo, mesmo que não afete as relações hídricas da parte aérea, causa um aumento na concentração de ácido abscísico (ABA) no xilema, provavelmente produzido na coifa das raízes, levando ao fechamento estomático e à diminuição da expansão celular. Segundo Zeevaart e Creelman (1988), o déficit hídrico promove uma rápida redistribuição e acumulação do ABA nos tecidos da planta; assim, de acordo com Santos e Carlesso (1998) ocorre um aumento na concentração do ABA no apoplasto das células-guarda, reduzindo a condutância estomatal. O ABA pode influenciar as respostas da planta ao estresse hídrico por regular as características morfofisiológicas das plantas, (TUBEROSA et al., 1994). Os experimentos de Lea et al. (1995), em plantas de milho cultivadas em campo e em laboratório, demonstraram que a acumulação de ABA originados nas raízes foi responsável pela restrição do desenvolvimento das folhas e pela manutenção do desenvolvimento do sistema radicular. Segundo Davies e Zhang (1991), o ABA pode desempenhar importante papel através de sinais químicos para comunicação das raízes com o dossel vegetativo, em resposta ao secamento do solo.

Segundo Carlesso (1995), considerando as grandes diferenças existentes entre as cultivares recomendadas para o mercado, a demanda hídrica da soja pode variar de 450 a 850 mm. Ritchie et al. (2003); Constantin et al. (2005); Ludwig et al. (2008) e Brugnera et al. (2006) reforçam que altos rendimentos somente serão obtidos se as condições hídricas forem favoráveis.

Conforme Cardoso et al. (2006), diferentes cultivares apresentam variações significativas no desenvolvimento do sistema radicular ao serem submetidas a regimes hídricos distintos.

O desempenho da cultura da soja em solos hidromórficos, ao ser submetido ao excesso hídrico, interfere negativamente no desenvolvimento das raízes e da parte aérea em virtude da redução do oxigênio presente no solo. A reação de diferentes cultivares de soja é distinta, podendo reduzir o rendimento em várias intensidades ou até mesmo implicar a morte da planta.

#### 2.4.2. Importância das Condições Físicas do Solo

O rearranjo da estrutura do solo, decorrente de sua compactação, se reflete no crescimento das raízes, que tendem a concentrar-se na camada superficial do solo, até 10 cm de profundidade (LAL, 1989). No sistema de semeadura direta, Genro Junior et al. (2004) observaram maior compactação nas camadas superficiais, comparado aos sistemas que envolveram a mobilização do solo entre 20 e 30 cm de profundidade.

O aumento da densidade do solo pode reduzir, ou até cessar, o desenvolvimento radicular, dependendo da espécie (BEULTER; CENTURION, 2003).

Conforme Cardoso et al. (2006), a presença de estruturas compactadas diminuem a exploração do solo pelo sistema radicular da soja. Existe uma estreita relação entre compactação e crescimento de plantas, bem como tendência de respostas inversamente proporcionais das plantas à compactação. Os maiores incrementos no crescimento da parte aérea são observados na faixa de densidade de solo compreendida entre  $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$  e  $1,2 \text{ g.cm}^{-3}$ , entretanto diferentes cultivares apresentam variações significativas no desenvolvimento do sistema radicular quando submetidas a solos compactados e regimes hídricos distintos. Segundo Rosolem et al. (1994), o aumento da resistência do solo à penetração das raízes implica redução linear no comprimento do sistema radicular demonstrando que a soja é uma cultura sensível à compactação do solo.

Conforme Klein e Camara (2007), uma escarificação esporádica em solos

sob semeadura direta proporciona condições físico-hídrico-mecânicas mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas, especificamente pela maior exploração do solo pelo sistema radicular. O aumento da compactação do solo, mesmo havendo água disponível, pode cessar o crescimento do sistema radicular afetando o desenvolvimento das plantas e sua produção.

#### 2.4.3 Aspectos Morfológicos e Fisiológicos da Planta que Afetam a Eficiência Nutricional

Existem vários mecanismos e processos da planta que contribuem para o uso eficiente dos nutrientes do solo que estão relacionados a características fisiológicas, morfológicas e fatores genéticos das plantas (FAGERIA; BALIGAR, 1993).

##### 2.4.3.1. Mecanismos Fisiológicas que Afetam a Eficiência Nutricional da Planta

Dentre os mecanismos fisiológicos que afetam a eficiência nutricional da planta destacam-se a habilidade do sistema radicular em modificar a rizosfera para superar baixa disponibilidade de nutrientes além da capacidade da planta em manter o metabolismo normal com baixo teor de nutrientes nos tecidos e a alta taxa fotossintética.

Em regimes de restrição hídrica as plantas apresentam, em suas estruturas, uma sensível redução no seu conteúdo hídrico que pode ser medido através da Câmara de Pressão descrita por Scholander et al. (1965).

Segundo Boyer, (1967) e Turner (1981), o potencial hídrico na célula, tecido ou órgão,  $\Psi_w$ , pode ser descrito pela seguinte equação:

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_m + \Psi_p + \Psi_g$$

Em que o potencial de água de um sistema,  $\Psi_w$ , é a somatória do potencial osmótico,  $\Psi_s$ , com é o potencial mátrico,  $\Psi_m$ , com o potencial de pressão,  $\Psi_p$ , e o potencial gravitacional,  $\Psi_g$ . Como o componente gravitacional, é de apenas  $0,01 \text{ MPa.m}^{-1}$ , pode ser desconsiderado em tecidos cortados e em

plantas de baixo porte. Assim, o potencial de água em um sistema é afetado apenas pelos efeitos osmótico, mátrico e do turgor das células, (BOYER, 1967); (KRAMER, 1974); (TUNNER, 1981), portanto, a equação acima mencionada pode ser simplificada para:

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_m + \Psi_p$$

Em um sistema em equilíbrio hídrico, o potencial total de água é similar em toda a planta: na parede celular, no citoplasma, nos vacúolos, etc.

#### 2.4.3.2. Mecanismos Morfológicas que Afetam a Eficiência Nutricional da Planta

Os mecanismos morfológicas que afetam a eficiência nutricional da planta são a alta relação entre raízes e parte aérea, o sistema radicular extensivo, explorando maior volume de solo, e a colonização do sistema radicular por micorrizas e bactérias que fixam o nitrogênio atmosférico (FAGERIA; BALIGAR, 1993).

Devido à irregularidade na distribuição dos recursos do solo, a arquitetura radicular é muito relacionada com a produtividade das culturas, Neste sentido, uma boa arquitetura e posicionamento do sistema radicular podem aumentar a capacidade da planta em explorar estes recursos, especialmente nos muitos ambientes caracterizados por baixa disponibilidade hídrica e nutricional (LYNCH, 1995). Segundo Taiz e Zeiger (2004), a habilidade das plantas em absorver água e nutrientes está relacionada à sua capacidade de desenvolver um extenso sistema radicular, crescendo em direção a um solo inexplorado. Dessa forma, o manejo do solo deve proporcionar às plantas condições adequadas para um bom desenvolvimento do sistema radicular, a fim de permitir a maior exploração possível do solo e seus recursos.

#### 2.4.4. Outros Fatores que Afetam a Eficiência Nutricional das Plantas

Existem vários fatores ligados à planta e às condições ambientais como clima e solo que afetam o desenvolvimento do sistema radicular das plantas que, por sua vez, interferem na eficiência nutricional e conseqüentemente no rendimento final.

A eficiência de utilização de nutrientes é definida de várias maneiras na literatura, mas os componentes mais comuns da eficiência são absorção e utilização de nutrientes. Em solo com baixa fertilidade, a eficiência de utilização é mais importante em comparação com a eficiência de absorção na produção de grãos, já em solo de alta fertilidade, ambas as eficiências são importantes na produção das culturas, (FAGERIA; BALIGAR, 1993).

##### 2.4.4.1. Precipitação Pluvial

Conforme já exposto no item 2.4.1., dentre os fatores biofísicos, a água é o principal fator que determina a produção das culturas. A deficiência hídrica pode causar a redução de vários processos fisiológicos e bioquímicos na planta (HSAIO, 1973), que podem inviabilizar cultivos.

##### 2.4.4.2. Temperatura do Solo

A temperatura do solo influencia diretamente na taxa de liberação de nutrientes provenientes da matéria orgânica, na sua absorção pelas raízes e na subsequente translocação e utilização em várias partes da planta.

##### 2.4.4.3. Alumínio

O excesso de alumínio no solo influencia negativamente na produtividade pois inibe o desenvolvimento normal do sistema radicular que interfere em reações enzimáticas e na absorção de nutrientes (FOY, 1974).

#### 2.4.4.4. Alelopatia

Segundo Rice (1974), define alelopatia como o efeito de interferência de uma planta sobre ela mesma ou sobre outra planta, através da produção de substâncias químicas. A liberação de substância química na rizosfera é feita, geralmente, através de excreções das raízes ou através da decomposição dos restos culturais (ROSE et al., 1984). Os restos culturais incorporados ao solo podem produzir aleloquímicos que inibem a germinação da semente e o crescimento inicial das plantas (MARTIN et al., 1990). Plantas sujeitas a efeito alelopático apresentam diminuição no desenvolvimento de pelos radiculares (RUSCHEL; PAULA, 1994).

#### 2.4.4.5. Salinidade do Solo e da Água

Salinização é o processo pelo qual sais solúveis se acumulam na zona radicular. Os sais solúveis que efetivamente contribuem para salinizar o solo consistem, normalmente, das várias proporções de cátions de cálcio, magnésio, sódio e dos ânions cloreto, sulfato, bicarbonato e, às vezes, carbonato (ALLISON, 1964).

A água de irrigação pode conter sais solúveis e seu uso constante, na ausência de lixiviação, faz com que o sal se deposite na zona do sistema radicular devido à evaporação. O efeito adverso da salinidade na absorção e utilização de nutrientes está relacionado com o aumento da pressão osmótica na solução do solo, com o acúmulo de certos íons no tecido vegetal, em concentrações tóxicas, e diminuição no crescimento do sistema radicular (ALLISON, 1964; PESSARAKALI et al., 1989).

#### 2.4.4.6. Teor de Matéria Orgânica

A matéria orgânica exerce uma influência acentuada sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e, como consequência, sobre a eficiência nutricional das plantas. As influências mais evidentes foram delineadas por Fageria (1989), ressaltando:

- melhoria das propriedades físicas, que auxiliam na granulação e na redução da plasticidade e da coesão do solo;
- aumento da capacidade de absorção de cátions;
- fornecimento de energia para a atividade dos microrganismos do solo;
- estabilização da temperatura do solo, melhorando as condições ambientais para o desenvolvimento das raízes;
- aumento da capacidade de retenção de água;
- diminuição da toxicidade do alumínio em solo ácido;
- redução da erosão.

As práticas de manejo mais correlacionadas com o aumento, ou manutenção da matéria orgânica no solo, são aquelas que promovem a manutenção da fertilidade do solo em níveis adequados na produção de culturas, no uso de rotação de culturas apropriadas e na implementação do cultivo mínimo na produção de culturas anuais.

#### 2.4.4.7. Planta

Os principais fatores que podem afetar a eficiência nutricional das plantas são a variabilidade genética que pode interferir no crescimento das raízes, micorrizas, na fixação biológica de nitrogênio, assim como no efeito alelopático de plantas invasoras, na reação às doenças e pela ação de pragas.

##### 2.4.4.7.1. Crescimento do Sistema Radicular.

O sistema radicular das plantas, se bem desenvolvido, é considerado fator de grande importante na produção. As principais funções das raízes das plantas são a absorção de nutrientes e de água do solo além do suporte mecânico da planta. A diferença varietal no desenvolvimento do sistema radicular das culturas anuais é relatada em vários estudos (CARADUS, 1981; ENNOS, 1985). Outros fatores que afetam o desenvolvimento do sistema radicular são o tipo e umidade do solo, níveis de nutrientes, manejo adotado, além da infestação de doenças, invasoras e pragas. Um sistema radicular extensivo explora maior volume do solo, absorvendo mais água e nutrientes que aumentam a eficiência nutricional da planta.

#### 2.4.4.7.2. Micorrizas

A associação simbiótica entre certos fungos do solo e raízes das plantas é denominada micorriza. Nesta associação, ambos os componentes são beneficiados. A infecção de micorrizas aumenta a capacidade das raízes das plantas na absorção de N, P, K, Ca, S, Fe, Cu e Zn (SAFIR, 1980). Dentre os nutrientes, a absorção de fósforo é o mais importante. Os fungos não solubilizam o fosfato, mas permitem que as plantas associadas absorvam mais fosfato pela exploração de um maior volume de solo e pelo aumento dos sítios de absorção deste nutriente nas raízes micorrizadas (CRESS et al. 1979; MOSSE, 1981; LOPES et al., 1983).

#### 2.4.4.7.3. Variabilidade genética

A variabilidade genética da planta refere-se às características hereditárias individuais de uma espécie vegetal ou cultivar que apresenta diferença no crescimento e produção em comparação com outra espécie ou cultivar, sob condições ideais ou adversas de ambiente, (FAGERIA; BARBOSA FILHO, 1981). Vários trabalhos evidenciam o comportamento diferencial entre espécies ou cultivares da mesma espécie na absorção e utilização de: N (FAGERIA; BARBOSA FILHO, 1982 ; MESSNER et al., 1984 ; SINCLAIR; HORIE, 1989 ; WUEST; CASSMAN, 1992; YOUNGQUIST et al., 1992); P (FAGERIA; BARBOSA FILHO, 1981 ; FAGERIA et al., 1988 e MARTINEZ et al., 1993); K (GLASS; PERLEY, 1980 ; SIDDIQI et al., 1987; WOODEND et al., 1987); Ca (FAGERIA, 1984); Mg (CLARK, 1982; FAGERIA; MORAIS, 1987); Fe (FAGERIA et al., 1990; HUGHES et al., 1992) e Zn (CLARK, 1978; PEASLEE et al., 1981). Devido à discrepante exigência nutricional existente entre cultivares da mesma espécie, é comum observar-se entre elas, distintas produtividades sob as mesmas condições de manejo e fertilidade do solo.

## 2.5. Alguns Aspectos Importantes na Obtenção de Altos Rendimentos com a Cultura da Soja

### 2.5.1. Desenvolvimento de Novas Cultivares

Segundo Peske (2009), o Brasil, de 1970 a 2009, conseguiu triplicar o rendimento médio das grandes culturas, sendo que a soja evoluiu neste período de 1.000 kg.ha<sup>-1</sup> para 3.300 kg.ha<sup>-1</sup>. Este avanço foi alcançado graças ao emprego do melhoramento genético tradicional, das técnicas agrônômicas básicas disponíveis e, modernamente, com a utilização de eventos biotecnológicos.

No Brasil, existem dezenas de empresas de melhoramento genético, dos mais variados portes e capacidades de investimentos. Todas apresentam objetivos bem definidos na obtenção de novas cultivares no intuito de disponibilizar ao mercado materiais geneticamente superiores aos concorrentes.

Para que os obtentores consigam desenvolver e identificar cultivares passíveis de registro são exigidos investimentos de vulto variável que dependem dos objetivos e da estrutura de cada empresa. Neste processo, por sua vez, são descartadas anualmente milhares de linhagens, que por vários motivos não atendem aos objetivos e metas estabelecidos pelos obtentores. O tempo necessário para o lançamento de uma cultivar de soja pode ser mensurado no mínimo em sete gerações que podem traduzir-se em um número variado de anos, dependendo da estrutura organizacional de cada empresa. Atualmente, existem obtentores que tem condições de avançar três gerações nos programas de melhoramento de soja em apenas 12 meses.

Anualmente são registradas e lançadas comercialmente no mercado dezenas de novas cultivares, entretanto, o tempo de vida útil médio de uma cultivar comercial no mercado de soja é bastante variado, pois depende muito do nível de aceitação manifestado pelos agricultores. Entretanto, por vários motivos, muitas cultivares lançadas no mercado não chegam a ser aceitas por ele e, em contrapartida, algumas poucas cultivares podem permanecer comercialmente ativas no mercado por mais de dez anos.

A utilidade da metodologia proposta neste trabalho na avaliação do sistema radicular de cultivares de soja pode ser aplicada no conhecimento mais apurado de cultivares comerciais do mercado. Entretanto, a maior importância da utilidade desta metodologia reside na ferramenta facilitadora que os melhoristas estarão recebendo na seleção prévia de linhagens irmãs promissoras que apresentem grande semelhança fenotípica nos atributos da parte aérea e possíveis diferenças do sistema radicular.

### 2.5.2. Qualidade da Semente

Segunda França-Neto et al. (1983), o sucesso da lavoura de soja depende de diversos fatores, mas sem dúvida, o mais importante é a utilização de sementes de elevada qualidade fisiológica que apresentarão uma rápida e uniforme germinação e emergência das plântulas, gerando plantas de alto vigor que resultarão em rendimentos diferenciados. Plantas de alto desempenho apresentam uma maior taxa de crescimento, uma melhor estrutura de produção e um sistema radicular mais profundo, que proporciona a produção de um maior número de vagens e sementes. Esse potencial superior é ampliado em condições de estresse hídrico. Em uma situação de seca, o sistema radicular mais profundo dessas plantas terá condições de supri-las, por mais tempo, com mais água e nutrientes, assegurando a produção (Tavares et al., 1999). A utilização de sementes de soja de alto vigor proporciona acréscimos de rendimentos superiores a 15%.

### 2.5.3. Atividade do Sistema Radicular

Com relação à eficiência fisiológica, raízes mais novas, finas e menos lignificadas são as mais eficientes. A quantidade e distribuição espacial dessas raízes no solo podem, entretanto, determinar uma variação na eficiência do aproveitamento das condições hídricas e nutricionais disponíveis no solo. Independentemente da forma como os nutrientes se movimentem no solo, ou da eficiência nos processos de captação desenvolvidos pela planta, quanto mais desenvolvido e ativo for o sistema radicular, maior será a capacidade da planta

suprir suas necessidades. Atualmente, a tendência em reduzir o ciclo das cultivares e aumentar seu potencial produtivo tem demandado das plantas uma elevada taxa de suprimento nutricional durante todo o desenvolvimento da cultura. Desta forma, a importância de um sistema radicular mais desenvolvido e eficiente pode impactar significativamente no rendimento. O solo é um grande reservatório de água mas o seu aproveitamento pelas plantas está diretamente relacionado com aspectos físicos, químicos e com o volume e profundidade explorado pelo sistema radicular da cultivar utilizada. De nada adianta um solo apresentar boa fertilidade e boa capacidade de armazenamento de água, se não tivermos cultivares capazes de aproveitar estes recursos através de um sistema radicular profundo e bem desenvolvido. Estas condições, além de garantir bons rendimentos, também são responsáveis pela estabilidade produtiva de uma lavoura quando as condições climáticas possam não ser as mais favoráveis.

Segundo Pivetta et al. (2011), considerando-se as várias culturas e manejos que podem anteceder à cultura da soja, a maior concentração da atividade radicular é encontrada na linha de semeadura e mais próxima da superfície do solo. Em condições de umidade e nutrição favoráveis, a planta dá preferência em manter mais ativas as raízes próximas ao colo da planta, no intuito de reduzir os gastos energéticos em transporte de foto-assimilados, pela redução na distância fonte-dreno.

Em condições normais de cultivo, aproximadamente 80% da massa das raízes de soja distribuem-se nos primeiros 15 cm do solo (GREGORY, 1992), com o desenvolvimento radicular ocorrendo através dos macroporos ou dos espaços vazios entre os agregados (ABREU et al., 2004). A continuidade desses espaços vazios, considerados fundamentais para o aprofundamento das raízes, é decorrente da presença de estruturas mais frágeis, fendas originadas dos movimentos de contração e expansão da fração coloidal, de canais formados pelas raízes em decomposição e pela atividade biológica da fauna do solo (NEVES et al., 2003; HOLLAND, 2004). Esses processos estão intimamente associados ao manejo do solo através das operações de seu preparo, rotação de culturas e atividades de descompactação (TORRES; SARAIVA, 1999).

#### 2.5.4. Avaliação do Sistema Radicular

Atualmente existe consenso acerca da importância de estudos com observações de raízes em campo que favorecem o manejo das lavouras e são fundamentais para a otimização das práticas de adubação, irrigação, entre outras (ZONTA et al., 2006).

Para a avaliação e quantificação dos sistemas radiculares existem muitos desafios a serem superados como a complexa arquitetura; a ampla faixa de variação na dimensão e no diâmetro; o rápido crescimento e decomposição de raízes finas; as diferenças na atividade fisiológica entre raízes de diferentes idades; os complexos processos microbiológicos que ocorrem na interface raiz-solo; as relações simbióticas na rizosfera e as variações químicas, físicas e biológicas que ocorrem no solo (DOURADO-NETO et al., 1998).

O estudo do sistema radicular pode ser realizado utilizando várias técnicas, desde aquelas mais simples até as mais sofisticadas, dependendo do objetivo do trabalho a ser realizado, das características avaliadas e principalmente dos recursos disponíveis.

As técnicas de análise radicular podem ser divididas em métodos diretos e indiretos (BÖHM, 1979).

Entre os métodos diretos, podem ser citados: trincheira, monólito, placa com pregos, trado, sacos telados, rhizotron e minirhizotron (POLAMSKI; KUHN, 2002). Os métodos diretos de avaliação do sistema radicular normalmente são bastante morosos exigindo o emprego de considerável mão-de-obra, tempo e mobilização de solo (ENCIDE-OLIBONE et al., 2008). Nesses métodos, as raízes são expostas, contadas e registradas, diferindo-se cada método em alguma particularidade de amostragem e avaliação. Nestes métodos entretanto, ocorrem um grande número de perda de parcelas no experimento em virtude do excessivo volume de solo mobilizado (ENCIDE-OLIBONE et al., 2008). Para contornar este problema é utilizado o método do trado que retira pequenas amostras de solo, sem destruição da área amostrada (BÖHM, 1979; FUJIWARA et al., 1994).

Além dos métodos diretos anteriormente citados, existem outros que são realizados em laboratórios, sob condições controladas, entre eles: hidroponia (POLAMSKI; KUHN, 2002), cultura de tecidos (DE KLERK, 2002) e aeroponia (WAISEL et al., 2002), sendo este último um dos métodos mais modernos que apresentam poucas restrições ao desenvolvimento radicular.

Dentre os métodos indiretos de avaliação do sistema radicular pode-se citar a técnica do elemento não marcado, que diferentemente do elemento marcado, apresenta simplicidade e baixo nível tecnológico. Esta sistemática entretanto possui alguns problemas como fitotoxicidade e distribuição irregular na planta, dependendo do elemento usado, (ENCIDE-OLIBONE et al., 2008). Para um elemento não marcado ser adequado para estimar a atividade radicular, as plantas devem absorvê-lo similarmente a um nutriente essencial, não pode ser tóxico na concentração em que é determinado, não ser facilmente lixiviável e apresentar baixa concentração natural no solo (PINKERTON; SIMPSON, 1979). Os elementos que cumprem estes requisitos em muitos solos são o estrôncio e o rubídio, análogos ao cálcio e ao potássio, respectivamente. Estrôncio e rubídio foram usados com sucesso para determinar a distribuição da atividade radicular no solo, por O'Sullivan (2008) e Encide-Olibone et al. (2008), respectivamente. Para os últimos autores, o uso do rubídio nos estudos de raízes é viável, por ser disponível nas formas de cloreto, fosfato, sulfato e nitrato, tornando as doses mais exatas, uma vez que o elemento não faz parte dos fertilizantes e corretivos e não ser essencial às plantas, além de não ser radioativo.

Na verdade, a forma perfeita de avaliar as raízes não existe, pois a adequação de um método para o estudo do sistema radicular depende da condição "in situ". Os resultados podem variar de acordo com a cultura, cultivar, manejo empregado, com o tipo de solo e suas condições físico-químicas e, principalmente, com os cuidados e uniformidade de procedimentos da equipe operacional. Neste sentido, em trabalho conduzido por Kücke et al. (1995), foram detectadas grandes diferenças de correlações e de coeficientes de variação para diferentes culturas, tipos de solo, profundidades e épocas de amostragem.

Em uma revisão sobre a atividade radicular de espécies arbóreas, Lehmann (2003) salienta que a distribuição vertical da absorção de água e nutrientes pelas plantas é um importante tópico de estudo, pois os recursos são

mal distribuídos no perfil do solo. Alguns trabalhos relacionaram a atividade radicular com parâmetros morfológicos, como massa e comprimento radicular, contudo, foram registradas variações nas relações encontradas, dependendo das condições experimentais. O autor salienta que a atividade radicular é o parâmetro mais adequado para avaliar sistemas radiculares, pois quanto mais profunda a atividade radicular das plantas utilizadas, menores são as perdas de nutrientes por lixiviação, representando maior reciclagem de nutrientes e sustentabilidade do sistema.

#### 2.5.5. Inferências Sobre a Relação do Sistema Radicular e a Tração Necessária para Arrancar Plantas do Solo

Considerando a intrínseca e fundamental relação do sistema radicular com todos os processos vitais envolvidos no crescimento e desenvolvimento da planta de soja e os prováveis aumentos de frequência e intensidade de eventos climáticos desfavoráveis ao desenvolvimento desta cultura, sugere-se a utilização da nova metodologia proposta de tração de plantas para identificar cultivares que possuem um sistema radicular diferenciado que venham interferir favoravelmente nos componentes de rendimento.

Supõe-se que uma cultivar identificada que apresente um sistema radicular diferencialmente avantajado poderá explorar, com maior intensidade, os aspectos nutricionais, físicos e hídricos disponíveis no solo.

Esta vantagem competitiva em uma determinada cultivar poderá significar inúmeros benefícios tais como:

- Tolerar períodos com deficiência hídrica;
- Utilizar, com maior intensidade, os recursos químicos disponíveis no solo;
- Atuar de forma incisiva sobre possíveis camadas compactadas identificadas no perfil do solo;
- Aumentar no sistema radicular o número de pontos possíveis para a ação de rizóbios simbiotes na fixação biológica do nitrogênio e outras associação simbióticas;
- Incrementar no solo o carbono da biomassa microbiana e a diversidade genética da comunidade bacteriana;

- Acelerar o incremento da matéria orgânica, também em horizontes mais profundos, trazendo consigo inúmeros benefícios químicos, físicos e hídricos ao sistema;
- Incrementar a capacidade de armazenamento de água no solo e a consequente redução da erosão superficial;
- Incrementar a atividade biológica de insetos no solo;
- Aumentar o rendimento.

Pelos aspectos mencionados vislumbra-se que com a utilização da metodologia proposta de tração de plantas, ter-se-á a disposição uma ferramenta eficiente para identificar cultivares portadoras de sistema radicular especiais que venham traduzir-se em rendimentos diferenciados. Neste sentido, o planejamento de uma exploração agrícola com cultivares de soja selecionadas com este objetivo poderão propiciar rendimentos superiores, além de melhorar a estabilidade de produção das lavouras.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Localização dos Experimentos.

A execução das atividades experimentais deste trabalho foram conduzidas em dois experimentos. O experimento número um foi conduzido em condição de campo, sem irrigação, no município de Passo Fundo, RS. O experimento número dois foi conduzido em vasos, em casa de vegetação coberta com telado, sujeita à irrigação diária, no município de Passo Fundo, RS.

#### 3.2. Cultivares.

Para aumentar a representatividade dos dados e explorar uma maior amplitude genética foram selecionadas, para este trabalho, cinco cultivares de soja, recomendadas para cultivo no Estado do Rio Grande do Sul, oriundas de quatro diferentes empresas obtentoras. No intuito de evitar possíveis interferências nos resultados obtidos foram escolhidos também cultivares que apresentassem o mesmo tipo de crescimento e grupo de maturidade relativa, variando de 5,8 a 5,9. Além disto, considerando que a disparidade na qualidade da semente utilizada pudesse interferir nas conclusões alcançadas, foram selecionados lotes de sementes de vigor, pelo teste de tetrazólio, situados entre 84% e 87% enquanto que a germinação situava-se entre 85% e 95%. A adoção destas medidas preventivas foram tomadas para evitar possíveis interferências que pudessem desabonar os dados gerados implicando em conclusões equivocadas. As sementes foram tratadas com fungicida a base de Carbendazin+Tiram (Derosal Plus<sup>®</sup>) na dose de 200 mL.100kg<sup>-1</sup> de semente e o inseticida/nematicida Imidacloprido+Tiodicarbe (Cropstar<sup>®</sup>) na dose de 500 mL.100kg<sup>-1</sup> de semente.

**FPS ATALANTA IPRO** – Cultivar cujo mantenedor é a empresa GDM Genética do Brasil Ltda. Transgênica, tolerante ao herbicida glifosato e resistente às principais lagartas da soja, soja Intacta RR2PRO<sup>®</sup>. Caracteriza-se por ter tipo de crescimento indeterminado, grupo de maturação relativa 5.8, ciclo precoce e estatura mediana.

**FPS JÚPITER RR** – Cultivar cujo mantenedor é a GDM Genética do Brasil Ltda. Transgênica, tolerante ao herbicida glifosato. Caracteriza-se por ter tipo de crescimento indeterminado, grupo de maturação relativa 5.9, material de ciclo precoce e estatura mediana.

**NS 5959 IPRO** – Cultivar cujo mantenedor é a empresa Nidera Sementes Ltda. Transgênica, tolerante ao herbicida glifosato e resistente às principais lagartas da soja, soja Intacta RR2PRO®. Caracteriza-se por ter tipo de crescimento indeterminado, grupo de maturação relativa 5.9, ciclo precoce e estatura mediana.

**SYN1059 RR** – Cultivar cujo mantenedor é a Syngenta Seeds Ltda. Transgênica, tolerante ao herbicida glifosato. Caracteriza-se por ter tipo de crescimento indeterminado, grupo de maturação relativa 5.9, cultivar de ciclo precoce, estatura mediana e bom engalhamento.

**TEC 5936 IPRO** – Cultivar cujo mantenedor é a empresa Bayer S. A. Transgênica, tolerante ao herbicida glifosato e resistente às principais lagartas da soja, soja Intacta RR2PRO®. Caracteriza-se por ter tipo de crescimento indeterminado, grupo de maturação relativa 5.9, ciclo precoce e porte alto.

Com relação ao sistema radicular destas cultivares não foram obtidas na bibliografia, ou com seus obtentores, qualquer informação adicional.

### 3.3. Experimentos.

#### 3.3.1. Experimento Número 1

O experimento foi conduzido, nas condições de campo, para conhecer o comportamento de cinco cultivares de soja submetidas a metodologia proposta de tração de plantas, estimando suas correlações existentes com os componentes de rendimento, temperatura e conteúdo hídrico das plantas.

O experimento foi semeado no dia 11 de novembro de 2014, na Fazenda Nossa Sra. Aparecida, localizada no Município de Passo Fundo, situado no Planalto Médio do Estado do Rio Grande do Sul, latitude 28° 13' 12,82" S, longitude 52° 19' 44,58" O, a 697 metros de altitude. Segundo a classificação de Köppen-Geiger (1936), o clima é Cfa I, subtropical úmido, com chuvas bem distribuídas durante o ano. O solo onde foi instalado o experimento é um

Latossolo Vermelho Distrófico húmico (SANTOS et al., 2005), relevo ondulado derivado de derrame basáltico, textura média com a seguintes composição granulométrica no horizonte superficial (0 a 0,10 m): argila – 32%, silte – 18% e areia – 50%. Na camada sub-superficial (0,10 a 0,20m) a composição granulométrica foi: argila – 33%, silte – 18% e areia – 49%. A densidade do solo na camada superficial (0 a 0,10m) foi de  $1,27 \text{ g.cm}^{-3}$  enquanto que a densidade na camada 0,10 a 0,20m foi de  $1,33 \text{ g.cm}^{-3}$ . A área do local do experimento de campo foi uniforme e plana, com declividade média de 1,2%. Por ocasião da instalação do experimento, o solo apresentava as seguintes propriedades químicas. Na camada de 0 a 0,10m de profundidade: pH (água) = 5,0; Índice SMP = 5,2; M.O. = 3,4%; Al =  $1,5 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ; Ca =  $3,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ; Mg =  $1,3 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ; P =  $23,2 \text{ mg.dm}^{-3}$ ; K =  $265 \text{ mg.dm}^{-3}$  e saturação de bases = 31%. Na camada de 0,10 a 0,20m de profundidade apresentava: pH (água) = 5,0; Índice SMP = 5,2; M.O. = 3,4%; Al =  $1,5 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ; Ca =  $3,3 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ; Mg =  $1,3 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ; P =  $16,7 \text{ mg.dm}^{-3}$ ; K =  $193 \text{ mg.dm}^{-3}$  e saturação de bases = 32%. Ambas amostras foram processadas e avaliadas pelos métodos descritos por Tedesco et al. (1985).

A semeadura foi conduzida em lavoura no sistema de semeadura direta sobre palha de aveia preta, utilizando-se semeadora pneumática, marca Vence Tudo, adaptada para a semeadura de experimentos.

Foi adotado o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. As unidades experimentais foram compostas de 10 linhas de 5,0 m de comprimento, espaçadas entre si em 0,45 m. As duas linhas externas das parcelas foram descartadas como bordadura. A área bruta da unidade experimental mediu  $22,5 \text{ m}^2$ . Aos 15 dias após a emergência, quando as plantas estavam no estágio V2, (FEHR; CAVINESS, 1977), foi realizado o desbaste das parcelas. Nesta mesma ocasião foi realizado o recorte mecânico das extremidades das linhas das unidades experimentais, padronizando o comprimento para 4,0 m. Após este ajuste a área total da unidade experimental foi de  $18,0 \text{ m}^2$ .

A adubação de base utilizada na semeadura do ensaio foi de  $350 \text{ kg.ha}^{-1}$  da fórmula 02-23-23.

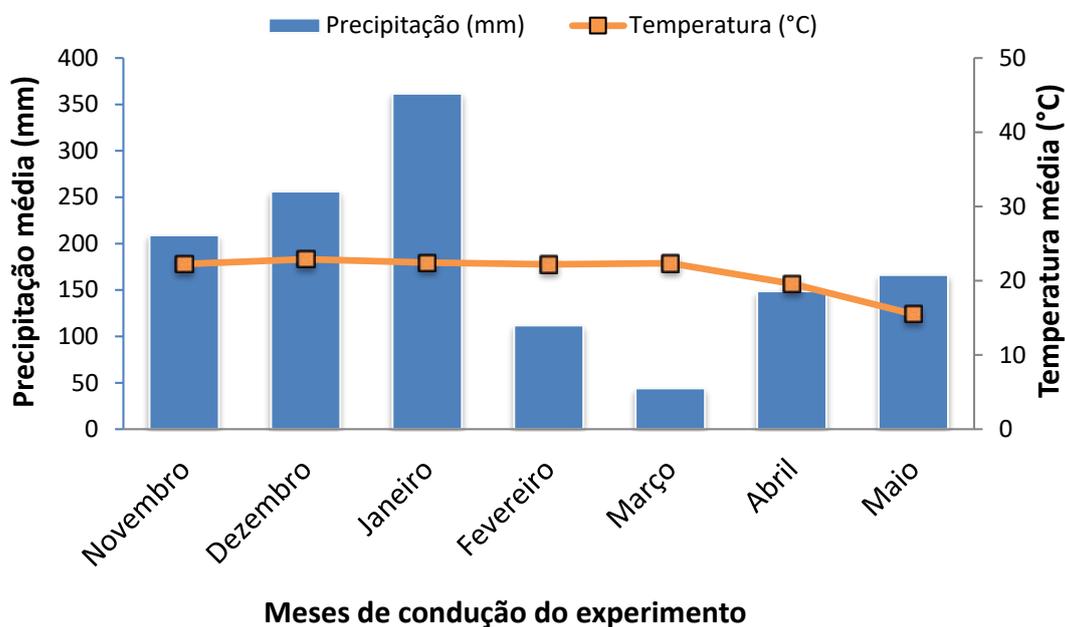
A dessecação da área foi realizada 20 dias antes da semeadura com o herbicida a base de glifosato (Glizmax<sup>®</sup>), na dose de  $2,5 \text{ L.ha}^{-1}$ . O mesmo produto

e dose foram reaplicados na área por ocasião da semeadura e 29 dias após.

O controle de doenças foliares foi efetuado em quatro momentos respeitando períodos regulares de 15 dias. Os fungicidas e doses utilizadas foram: Picoxistrobina+Ciproconazol (Approach Prima<sup>®</sup>) na dose de 300 mL.ha<sup>-1</sup>, Trifloxistrobina+Protioconazol (Fox<sup>®</sup>), na dose de 300 mL.ha<sup>-1</sup>, Tetraconazol+Azoxistrobina (Galileu XL<sup>®</sup>) na dose de 500 mL.ha<sup>-1</sup>, e Carbendazim (ImperadorBR<sup>®</sup>), na dose de 500 mL.ha<sup>-1</sup>.

Para o controle de insetos pragas foram realizadas quatro aplicações de inseticidas conforme a necessidade técnica. Os inseticidas e doses utilizadas foram: Zeta Cipermetrina (Mustang 350 EC<sup>®</sup>) na dose de 200 mL.ha<sup>-1</sup>, Imidacloprido+Beta-Ciflutrina (Connect<sup>®</sup>) na dose de 750 mL.ha<sup>-1</sup>, Bifentrina+Carbosulfano (Talisman<sup>®</sup>) na dose de 350 mL.ha<sup>-1</sup> e Tiametoxam+Lambda-Cialotrina (Platinum Neo<sup>®</sup>) na dose de 250 mL.ha<sup>-1</sup>.

Os dados climáticos médios de temperatura mensal e precipitação pluvial registradas durante a realização do Experimento número 1 estão expressos na Figura 1.



**Figura 1.** Dados climáticos médios, precipitação pluvial mensal e temperatura mensal, registradas em Passo Fundo – RS no período compreendido entre novembro de 2014 e maio de 2015.

Fonte: Centro de Meteorologia Aplicada da Fepagro.

### 3.3.1.1. Determinações

#### 3.3.1.1.1. Intensidade de Tração de Plantas do Solo

##### 3.3.1.1.1.1. Objetivo da Utilização do Equipamento

O traciômetro é uma ferramenta desenvolvida para ser utilizada no campo com objetivo de discriminar o desenvolvimento de diferentes sistemas radiculares de genótipos de soja no intuito de apoiar melhoristas na seleção de linhagens e cultivares.

O princípio utilizado para tal é a tração de plantas do solo determinada pelo emprego de um dinamômetro digital acoplado a uma alavanca manual.

##### 3.3.1.1.1.2. Descrição do Equipamento

O equipamento proposto é portátil e compreende um suporte provido de uma base de apoio no solo e uma haste vertical disposta ortogonalmente a partir da dita base. Na porção extrema superior da haste vertical existe um ponto de apoio sob a forma de um berço em “U”, onde é posicionada uma alavanca mancalizada à haste vertical através de uma articulação.

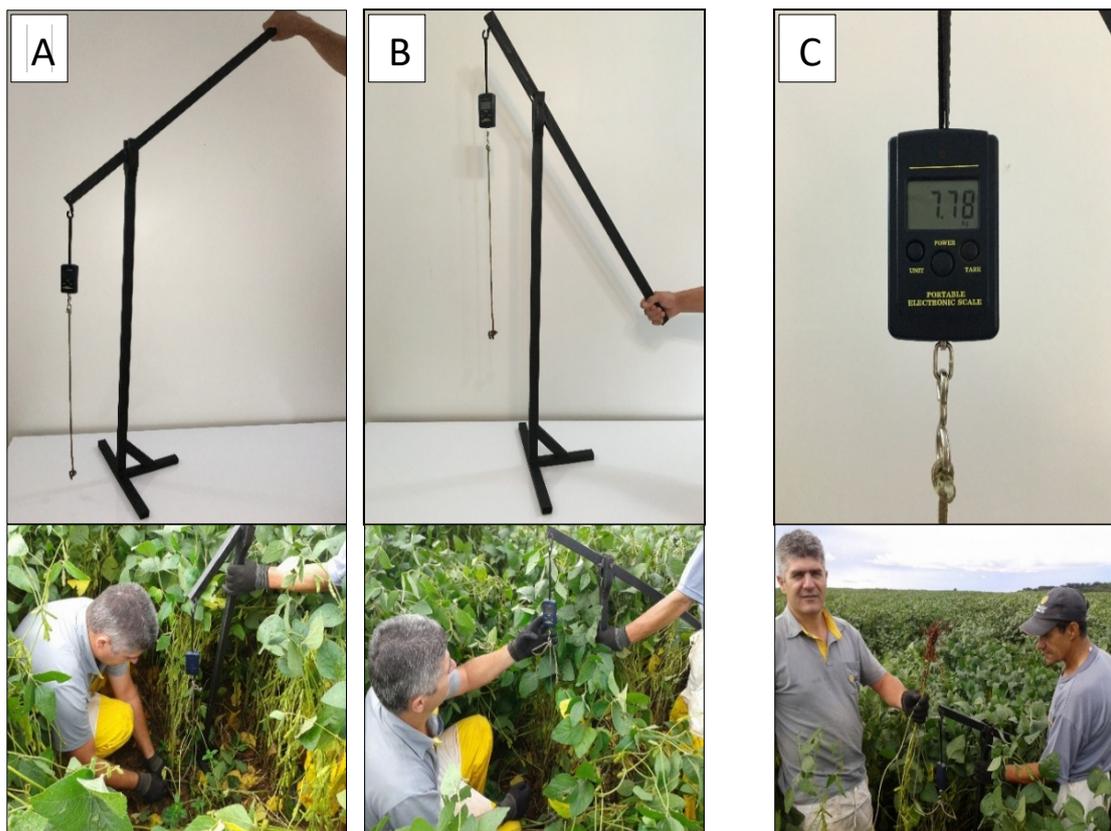
Na extremidade distal da alavanca é previsto um meio para o engate de um dinamômetro digital, ao qual é fixado um cabo, em cuja extremidade livre é disposto um meio de preensão que é acoplado, pelo operador, ao colo da planta.

##### 3.3.1.1.1.3. Funcionamento do Equipamento

A operação consiste inicialmente no posicionamento ortogonal do equipamento junto à planta a ser avaliada. Logo em seguida é realizada a preensão da planta em nível do solo, então o operador inicia a tração gradualmente crescente do cabo na extremidade proximal da alavanca. Esta ação progride até a completa extração da planta do solo. Isto concluído o

operador procede o registro do tracionamento máximo exercido visualizado no display do dinamômetro. Os dados obtidos, expressos em quilograma, permitem mensurar a reação do sistema radicular de cada planta por ocasião de sua extração do solo.

Na Figura 2 está demonstrado o traciômetro e a forma com que este equipamento é operado na prática.



**Figura 2.** Visualização esquemática do traciômetro por ocasião de sua utilização nas avaliações. A: Posição inicial quando a planta é amarrada em seu colo, B: Posição em que o operador exerce tração gradual na peça móvel do traciômetro até que a planta é completamente extraída do solo, C: Momento em que o operador registra a tração máxima exercida na extração de cada planta.

As avaliações foram realizadas no estágio fenológico R.5.2, um dia após a precipitação pluvial de 32 mm. Na terceira linha de cada unidade experimental foram avaliadas 12 plantas não contínuas, obedecendo a ordem dos tratamentos em cada repetição. Todas as avaliações foram realizadas no mesmo dia, iniciando às 9:00 h e findando às 16:30 h.

### 3.3.1.1.2. Potencial Hídrico na Folha

Para determinação do potencial hídrico total da planta foi utilizada a câmara de pressão, redescoberta por Scholander et al. (1965). Este equipamento é bastante prático, ágil, de fácil manuseio, não necessita de controle de temperatura, além de apresentar alta confiabilidade nos dados.

No intuito de posicionar as cultivares em uma situação de restrição hídrica, as avaliações foram realizadas após um período de 15 dias sem qualquer precipitação pluvial.

Considerando que nos diferentes horários do dia são registradas variações climáticas que afetam significativamente o potencial hídrico das plantas, as avaliações programadas no experimento foram realizadas com a maior brevidade possível, seguindo a ordem das cultivares dentro de cada repetição.

A estrutura da planta utilizada para a avaliação foi a folha central do antepenúltimo trifólio. As avaliações foram realizadas no estágio fenológico R5.5, em dez plantas não contínuas da oitava linha das unidades experimentais. O potencial de água avaliado na folha foi expresso em bar.



**Figura 3.** Visualização cronológica da avaliação do potencial de água na folha determinada com auxílio da Câmara Scholander.

### 3.3.1.1.3. Temperatura da Folha

Objetivando-se determinar um possível estresse hídrico sofrido pelas plantas das cultivares testadas foi determinada a temperatura do antepenúltimo trifólio das plantas.

Para Hirayama et al. (2006), plantas submetidas à deficiência hídrica respondem com o fechamento parcial dos estômatos, provocando a redução da taxa de transpiração e o conseqüente aumento da temperatura das folhas. O

efeito deve-se à absorção de calor do meio ambiente pelo processo de transformação da água do estado líquido para o gasoso, que será tanto maior quanto maior a transpiração. Neste sentido, a temperatura foliar é altamente correlacionada com a taxa de respiração e fotossíntese. Segundo Blum (1988) e Lafitte et al. (2003), a técnica de medição da temperatura do dossel de plantas constitui uma ferramenta útil na fenotipagem para resistência à seca. Além disto é um método rápido, não destrutivo que não demanda movimentação intensa dentro das unidades experimentais.

Com o auxílio de termômetro infravermelho foi determinada a temperatura de dez folhas por unidade experimental, expressa em °C.

Ambas avaliações, potencial hídrico da folha (câmara Scholander) e temperatura foliar (termômetro infravermelho) foram realizadas simultaneamente e nas mesmas folhas amostradas, estádio R5.5.



**Figura 4.** Termômetro infravermelho utilizado para determinar a temperatura foliar.

#### 3.3.1.1.4. Componentes de Rendimento

##### 3.3.1.1.4.1. Número de Legumes por Planta e Número de Grãos por Planta

As determinações do número de legumes por planta e número de grãos por planta foram baseadas em quarenta plantas aleatoriamente colhidas no estágio fenológico R.8, considerando as linhas de número dois e quatro das unidades experimentais. Estas avaliações foram realizadas após a colheita no laboratório da Fundação Pró-Sementes de Apoio à Pesquisa.

##### 3.3.1.1.4.2. Massa de Mil Grãos

A determinação da massa de mil grãos foi baseada em uma amostra representativa do grão colhido para obtenção do rendimento. As avaliações foram realizadas no laboratório da Fundação Pró-Sementes de Apoio à Pesquisa, de acordo com a metodologia descrita nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009), através da contagem mecânica de cem grãos em oito repetições. Os resultados foram expressos em grama, corrigida a umidade para 13,0%.

##### 3.3.1.1.4.3. Rendimento de Grãos

A colheita foi realizada mecanicamente no estágio fenológico R. 8, com auxílio de uma colheitadora de parcelas, 131 dias após a semeadura. Foram mecanicamente colhidas e debulhadas, todas as plantas das linhas de número sete, oito e nove de cada unidade experimental, representando uma área útil de 5,4 m<sup>2</sup>. Os grãos de cada parcela foram acondicionados em sacos de algodão sendo devidamente identificados. No laboratório da Fundação Pró-Sementes de Apoio à Pesquisa, em Passo Fundo, as amostras do grão colhido foram submetidas à secagem, pré-limpeza, determinação da umidade e pesagem. De posse destas informações foi determinado o rendimento de cada unidade

experimental, corrigida a umidade para 13,0% e expressa em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

#### 3.3.1.1.5. Características Agronômicas

As características agronômicas avaliadas foram: altura de planta, altura de inserção do primeiro legume, número de ramos por planta e diâmetro do caule a 5 cm da superfície do solo.

A determinação destas características foi realizada fazendo-se uso das mesmas quarenta plantas utilizadas na determinação do número de legumes e número de grãos por planta.

A altura de planta e altura de inserção do primeiro legume medidas foram expressos em centímetros, cm, enquanto que o diâmetro do caule foi determinado com o uso de um paquímetro e expresso em milímetros, mm.

Após contagem, o número de ramos produtivos por planta foi expresso em número.

A determinação de todas características agronômicas descritas foram realizadas no laboratório da Fundação Pró-Sementes de Apoio à Pesquisa.

#### 3.3.2. Experimento Número 2

Considerando que no experimento número um a metodologia de avaliação do sistema radicular é destrutiva, o experimento número dois foi planejado para determinar a massa seca e volume fresco do sistema radicular integral das plantas das mesmas cinco cultivares de soja testadas no experimento número 1.

O experimento foi conduzido na Universidade de Passo Fundo em casa de vegetação coberta com telado, semeado no dia 5 de dezembro de 2014. As unidades experimentais foram conduzidas em vasos de PVC com 0,50 m de altura e 0,20 m de diâmetro, perfazendo um volume interno total de 15,7 L. Foi adotado o delineamento experimental de blocos ao acaso em quatro repetições. Toda superfície interna dos vasos foi forrada com saco plástico de cor preta medindo 10  $\mu\text{m}$  de espessura. Lateralmente, na base de cada vaso, havia um

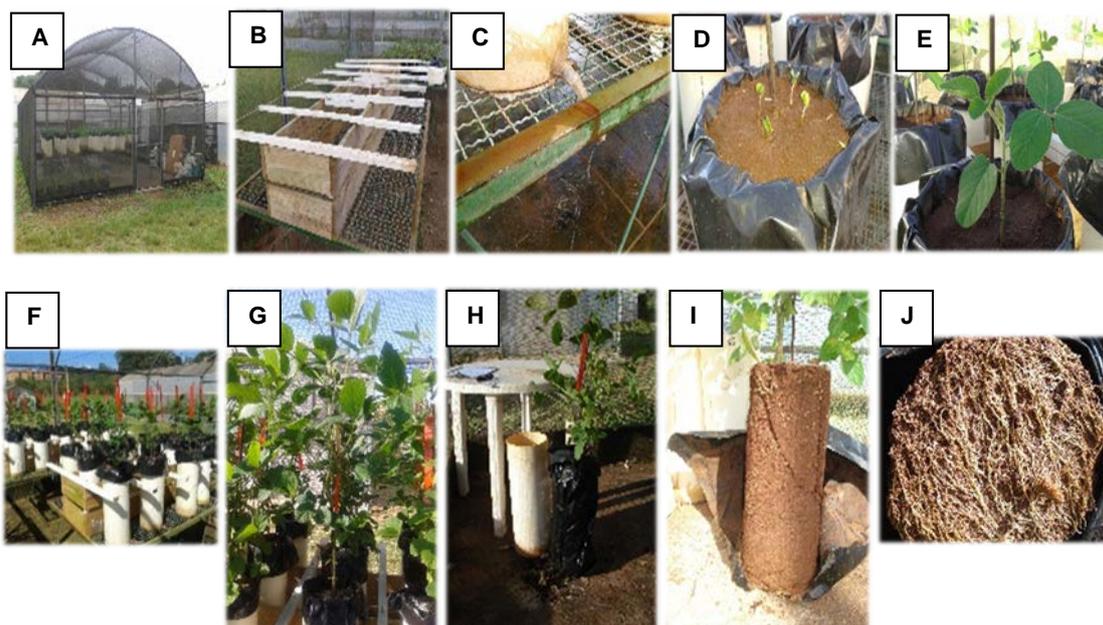
orifício de 6 mm que funcionava como dreno. No intuito de evitar possível entupimento deste foi colocado, no fundo de cada vaso, uma camada de 3 cm de areia média e sobre esta uma camada de 3 cm de brita fina. Sobre esta base os vasos foram preenchidos com solo peneirado, proveniente da lavoura onde o experimento número um foi conduzido. Neste experimento nenhum substrato ou adubação foi adicionado ao solo utilizado. Os vasos foram dispostos em blocos casualizados sobre uma bancada dentro da casa de vegetação, distanciados 0,1 m entre si.

No intuito de preservar a estabilidade das unidades experimentais construiu-se uma estrutura composta de madeira e cordas que foi disposta lateralmente aos vasos.

Em cada vaso foram semeadas manualmente quatro sementes de cada tratamento com posterior irrigação. Treze dias após a semeadura, quando as plântulas estavam no estágio fenológico V1, foram cortadas as plântulas menos vigorosas, permanecendo apenas uma planta por vaso. Diariamente a cada vaso era administrado 2000 mL de água. A água que não era retida no solo naturalmente fluía por gravidade através do dreno existente na base de cada vaso.

O controle de doenças foliares foi efetuado em três aplicações, respeitando períodos regulares de 15 dias. Os fungicidas utilizados foram Picoxistrobina+Ciproconazol (Approach Prima<sup>®</sup>) na dose de 300 mL.ha<sup>-1</sup>, Trifloxistrobina+Protioconazol (Fox<sup>®</sup>), na dose de 300 mL.ha<sup>-1</sup> e Tetraconazol+Azoxistrobina (Galileu XL<sup>®</sup>) na dose de 500 mL.ha<sup>-1</sup>.

Considerando que o este experimento foi conduzido em estrutura protegida por telado, não foi necessária a aplicação de inseticidas. Como o experimento continha cultivares de ciclo semelhante, foi conduzido até o estágio fenológico R5.5, quando todas unidades experimentais deixaram de ser irrigadas.



**Figura 5.** Visualização cronológica de condução do experimento desenvolvido na estufa. Estufa coberta com tela, A: Estrutura suporte dos vasos; B: Dreno de cada vaso; C: Emergência das plântulas da unidade experimental; D: Planta individual mantida na unidade experimental após desbaste; E: Imagem geral das unidades experimentais; F: Unidade experimental; G: Planta da unidade experimental retirada do vaso, estágio fenológico R 5.5; H: Bloco de terra da unidade experimental retirado do vaso; I: Detalhe do fundo do bloco de terra da unidade experimental expondo a extremidade do sistema radicular.

### 3.3.2.1. Determinações

#### 3.3.2.1.1. Massa Seca do Sistema Radicular

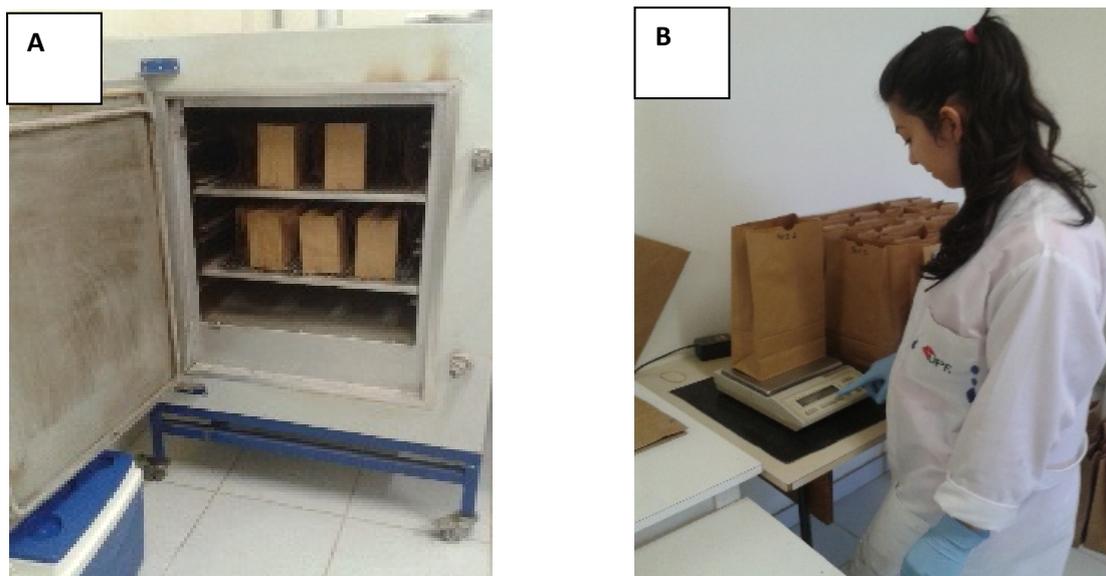
A coleta do sistema radicular foi realizada nas plantas que estavam no estágio fenológico R5.5. Todos os procedimentos executados objetivaram retirar do solo o volume integral da raiz desenvolvida em cada vaso. Para tanto, as plantas foram seccionadas no nível do solo e todo volume interno de cada vaso foi colocado em um saco tramado de polipropileno e introduzido em um reservatório com água onde permaneceu por trinta minutos. Transcorrido este período procedeu-se cuidadosamente a minuciosa lavagem do sistema radicular das plantas objetivando retirar todo o solo aderido às raízes e pelos radiculares. Posteriormente foram retirados todos os nódulos oriundos da ação simbiótica

das bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*.



**Figura 6.** Materiais utilizados na obtenção do sistema radicular. A: Proveta, peneiras, pinça e recipiente utilizado para lavagem das raízes

Para a avaliação da massa seca do sistema radicular foi utilizada a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983), as amostras foram introduzidas em uma estufa com circulação de ar forçado, regulado à temperatura de  $70\pm 5^{\circ}\text{C}$ , até alcançar massa constante. A massa seca do sistema radicular avaliada foi expressa em g.



**Figura 7.** Equipamentos utilizados nas avaliações da matéria seca do sistema radicular. A: Estufa; B: Balança de precisão.

### 3.3.3. Análises Estatísticas

No intuito de obter a maior representatividade possível na coleta de dados dos experimentos conduzidos, foram tomadas medidas para assegurar a homogeneidade do aspecto físico das unidades experimentais e a observância da coleta de dados em locais semelhantes dentro de cada parcela. No experimento conduzido em campo, o zelo foi amplificado visto que todas as operações e tratos culturais foram conduzidos com máquinas comumente utilizadas em lavouras comerciais.

Os dados experimentais de ambos experimentos foram submetidos à análise da variância (ANOVA) e, nos modelos significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Duncan com o uso do programa estatístico Assistat, Versão 7.6 beta (Silva, 2011), desenvolvido pela Universidade Federal de Campina Grande.

A análise de correlação entre as variáveis resposta foi realizada no Programa Estatístico Winstat, (Machado; Conceição), Programa estatístico WinStat Sistema de Análise Estatístico para Windows. Versão 1.0. Pelotas: UFPel, 2012.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Efeito Mecânico da Tração Aplicada às Plantas, Rendimento e Reações Fisiológicas

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da tração aplicada às plantas, rendimento, potencial hídrico e temperatura foliar, enquanto que na Tabela 2 estão expostas as correlações estabelecidas com as demais variáveis mensuradas.

De acordo com a Tabela 1 verificou-se que em termos de rendimento e tração exercida para arrancar as plantas do solo, houve diferença significativa entre as cultivares testadas.

Observando-se os dados apresentados na Tabela 2 verifica-se a existência de uma correlação negativa, significativa em nível de 10% de probabilidade, entre rendimento e a tração exercida para arrancar as plantas do solo. Assim sendo, considerando-se as cultivares testadas, nas condições descritas, confirma-se a hipótese de que a metodologia proposta de tração de plantas é uma ferramenta promissora para selecionar cultivares de soja objetivando rendimento.

Segundo Faroni (2004), o desenvolvimento do sistema radicular em cana-de-açúcar é típico de cada variedade, tanto em quantidade quanto em arquitetura, e em algumas variedades ele é tão pronunciado que compete com a parte aérea por fotoassimilados, comprometendo a plena expressão da produtividade. Considerando esta informação pode-se explicar o porquê das cultivares mais produtivas deste trabalho terem apresentado as menores leituras na tração de plantas.

A planta, através de seus mecanismos metabólicos, produz uma grande quantidade de energia que é destinada ao desenvolvimento de sua parte aérea e sistema radicular. As cultivares que neste trabalho apresentaram baixa tração necessária para arrancar as plantas do solo são consideradas mais eficientes pois, de forma ajustada, destinaram a energia suficiente para desenvolver um sistema radicular adequado enquanto que toda a energia residual da planta foi direcionada para a produção de grãos. Já as cultivares que exigiram as maiores

trações para arrancar as plantas do solo foram aquelas que priorizaram energia para o desenvolvimento de um sistema radicular avantajado, enquanto que a pouca energia remanescente foi traduzida em baixos rendimentos de grão. Este fato pode ser ratificado observando-se os dados da cultivar SYN 1059 RR apresentados na Tabela 4, pois suas plantas ajustaram-se para desenvolver um número expressivo de ramos por planta, e na Tabela 3, um grande número de legumes e grãos por planta. Entretanto, toda esta programação manifestada pela planta para alcançar um alto teto produtivo não pôde ser confirmada por apresentar uma baixa massa de mil grãos, conforme coeficiente de correlação na Tabela 2.

Salienta-se que o coeficiente de correlação negativo entre tração e o rendimento foram obtidos na ausência de qualquer período de estresse hídrico significativo durante o ciclo da cultura. Este comportamento pode não ser repetido se as condições de precipitação pluvial durante o ciclo da cultura forem restritivas.

Outra justificativa que contribuiu para ratificar o fato de que menores trações necessárias para arrancar plantas do solo estão correlacionadas a cultivares de maiores rendimentos está relacionado à densidade estratificada do solo (BEUTLER; CENTURION, 2003) e a aeração do sistema radicular (TAVARES FILHO et al., 1999; QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000.). Cultivares que concentraram a maior parte do sistema radicular na camada de 0 a 0,1 m de profundidade, solo menos denso, usufruíram de melhores condições físicas, químicas e hídricas. Desta forma, estas cultivares foram mais produtivas e a tração exercida para arrancá-las do solo foi menor. Entretanto, as cultivares cujos sistemas radiculares desenvolveram-se com o mesmo grau de intensidade no extrato superior, menos denso, e a camada de 0,1 m a 0,20 m, mais compactada, apresentaram menores rendimentos por terem explorado um solo com menor fertilidade e conteúdo hídrico, além de apresentar uma oxigenação reduzida do sistema radicular (MAPFUMO et al., 1998; ISHAQ et al., 2001). Estas cultivares apresentaram maior tração para serem arrancadas.

Considerando o exposto, pode-se propor a utilização da metodologia de tração de plantas na identificação de cultivares de alto rendimento de grãos.

Verificou-se que entre as cultivares não houve diferença significativa no potencial hídrico e temperatura da folha, Tabela 1. Segundo Guimarães et al.

(2006), Blum (1988) e Lafitte et al. (2003) estas características são indicadores de cultivares tolerantes ao estresse de seca, entretanto, neste trabalho, considerando as cultivares testadas, não diferiram entre si. A inexistência de diferença significativa entre as cultivares testadas nos quesitos potencial hídrico e temperatura da folha pode ser explicada em virtude do razoável montante e distribuição das precipitações pluviárias registradas durante o transcorrer do experimento.

Considerando o exposto pode-se inferir que as diferenças significativas registradas no rendimento das cultivares são dependentes da expressão de suas características genéticas e que não estão associadas com o potencial de água e temperatura da folha.

**Tabela 1.** Rendimento de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), tração aplicada na extração física das plantas de soja do solo (kg e percentagem da média), potencial de água na folha (bar) e temperatura da folha ( $^{\circ}\text{C}$ ), de plantas de cinco cultivares de soja. Fundação Pró-Sementes, 2016. Passo Fundo, RS.

Cultivar	Rendimento	Tração		Potencial de água na folha	Temperatura da folha
	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	kg	% da média	bar	$^{\circ}\text{C}$
TEC 5936 IPRO	4921 a	13,8 b	93,9	-15,3 a	29,9 a
NS 5959 IPRO	4839 a	13,7 b	93,2	-15,3 a	27,3 a
FPS ATALANTA IPRO	4758 ab	15,2 ab	103,4	-14,5 a	27,6 a
FPS JÚPITER RR	4467 bc	14,9 ab	101,4	-15,4 a	28,3 a
SYN 1059 RR	4311 c	16,0 a	108,8	-14,9 a	27,9 a
Média	4659*	14,7*	100,0	- 15,0	28,2
CV (%)	4,17	7,71		7,29	7,18

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem, entre si, pelo teste de Duncan em nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 2.** Coeficiente de correlação linear simples (r) estimado entre a tração de plantas, potencial de água na folha, temperatura da folha, rendimento, número de legumes por planta, número de grãos por planta, massa de mil grãos, número de ramos por planta, altura de planta, altura de inserção do primeiro legume, diâmetro do caule e massa seca do sistema radicular de plantas de cinco cultivares de soja. Fundação Pró-Sementes, 2016. Passo Fundo, RS.

	Tração	Potencial de água na folha	Temp. da folha	Rendimento	Legumes.planta <sup>-1</sup>	Grãos.planta <sup>-1</sup>	Massa de 1000 grãos	Ramos.planta <sup>-1</sup>	Altura de planta	Altura de inserção do 1º legume	Diâmetro do caule	Massa seca do sistema radicular
Tração	1,0000	-0,32826	-0,3291	-0,4300+	0,4780*	0,49294*	-0,6413**	0,4809*	-0,0731	-0,3722	0,2574	-0,0076
Potencial de água na folha		1,0000	0,6336**	-0,1193	-0,2278	-0,2127	0,1229	-0,0662	0,1133	0,1764	-0,2377	-0,2938
Temperatura da folha			1,0000	0,1211	-0,1796	-0,2227	0,1251	0,0964	0,2640	0,1927	0,0518	0,0337
Rendimento				1,0000	-0,5725**	-0,5231*	0,7494**	-0,3535	0,2621	0,3100	-0,4776*	0,0726
Legumes.planta <sup>-1</sup>					1,0000	0,9707**	0,7292**	0,6100**	0,0386	-0,6875**	0,8519**	-0,1913
Grãos.planta <sup>-1</sup>						1,0000	0,7370**	0,4891*	-0,1169	-0,7767**	0,7996**	-0,2264
Massa de 1000 grãos							1,0000	-0,3591	0,3894	0,6081**	-0,6757**	-0,2086
Ramos.planta <sup>-1</sup>								1,0000	0,3667	-0,1217	0,5901**	-0,3562
Altura de planta									1,0000	0,5294*	-0,1828	-0,1938
Altura de inserção do 1º legume										1,0000	-0,6312**	-0,0360
Diâmetro do caule											1,0000	-0,0360
Massa Seca do sistema radicular												1,0000

+ r significativo a 10% de probabilidade;

\* r significativo a 5% de probabilidade;

\*\* r significativo a 1% de probabilidade.

#### 4.2. Componentes de rendimento das cultivares testadas

Na Tabela 3 são apresentados os componentes de rendimento das cultivares, representados pelo número de grãos e legumes por planta e a massa de mil grãos.

Verifica-se que existe diferença significativa entre as cultivares com relação ao número de legumes produzidos por planta, número de grãos por planta e massa de mil grãos. Neste sentido, salienta-se a massa de mil grãos como sendo um dos componentes de rendimento de grande importância determinante do rendimento. A cultivar SYN 1059 RR, que apresentou o maior número de legumes e grãos por planta, alcançou a menor massa de mil grãos, enquanto que a cultivar TEC 5936 IPRO teve menor número de grãos por planta e maior massa de mil grãos.

Considerando-se as correlações significativas apresentadas na Tabela 2 observou-se que para rendimento foram identificadas correlações significativas com o número de legumes por planta, número de grãos por planta, massa de mil grãos e diâmetro do caule. Na literatura são relatadas correlações distintas do rendimento de grãos com as demais características avaliadas. Dalchiavon e Carvalho (2012) registraram correlação significativa do rendimento apenas com o número de vagens por planta. Entretanto, Peixoto et al. (2000), observaram correlação significativa de rendimento com o número de vagens por planta e massa de mil grãos enquanto que Nogueira et al. (2012) registraram correlação significativa do rendimento apenas com o número de vagens por planta.

Além das correlações significativas apresentadas, foram registradas outras relacionando o número de legumes por planta com rendimento, tração de plantas, número de grãos por planta, massa de mil grãos, número de ramos por planta, altura de inserção do primeiro legume e diâmetro do caule.

O número de grãos por planta correlacionou-se significativamente com tração, rendimento, número de legumes por planta, massa de mil grãos, altura de inserção do primeiro legume, número de ramos por planta e diâmetro do caule.

A massa de mil grãos apresentou correlação significativa com tração, rendimento, número de legumes por planta, número de grãos por planta, altura de inserção do primeiro legume e diâmetro do caule.

**Tabela 3.** Componentes do rendimento: número de legumes por planta (legumes.pl<sup>-1</sup>), número de grãos por planta (grão.pl<sup>-1</sup>) e massa de mil grãos (g) de plantas de cinco cultivares de soja. Fundação Pró-Sementes, 2016. Passo Fundo, RS.

Cultivar	Legumes.planta <sup>-1</sup>	Grãos.planta <sup>-1</sup>	Massa de 1000 grãos
	Número		g
TEC 5936 IPRO	37 b	81 c	183 a
NS 5959 IPRO	42 b	105 b	171 b
FPS ATALANTA IPRO	45 b	105 b	164 c
FPS JÚPITER RR	39 b	90 bc	158 d
SYN 1059 RR	60 a	142 a	142 e
Média	44,6*	105*	163,5*
CV (%)	12,63	11,82	2,19

\* Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem, entre si, pelo teste de Duncan em nível de 5% de probabilidade.

### 4.3. Características agronômicas

Na Tabela 4 são apresentados os dados das características agronômicas das cultivares, que foram o número de ramos por planta, altura de planta, altura de inserção do primeiro legume e diâmetro do caule, todas apresentando diferenças significativas.

As correlações significativas demonstradas na Tabela 2, relacionadas ao número de ramos por planta, foram verificadas com tração, número de legumes por planta, número de grãos por planta e diâmetro do caule.

Para altura de planta a única correlação significativa estabelecida foi com a altura de inserção do primeiro legume.

As correlações significativas obtidas para altura de inserção do primeiro legume foram verificadas com número de legumes e grãos por planta, massa de mil grãos e diâmetro do caule.

Salienta-se que o diâmetro do caule foi a característica agronômica da planta que apresentou correlações significativas com todos componentes de rendimento das cultivares testadas além da altura de inserção do primeiro legume.

A cultivar SYN 1059 R, embora tenha apresentado maior número de ramos por planta (Tabela 4), legumes por planta, grãos por planta (Tabela 3), foi a que alcançou menor rendimento, embora não diferencial da cultivar FPS JÚPITER RR (Tabela 2).

**Tabela 4.** Características agronômicas: número de ramos por planta (ramos.planta<sup>-1</sup>), altura da planta (cm), altura de inserção do primeiro legume (cm), diâmetro do caule (mm), de plantas de cinco cultivares de soja. Fundação Pró-Sementes, 2016. Passo Fundo, RS.

Cultivar	Ramos/planta	Altura de planta	Altura de inserção do primeiro legume	Diâmetro do caule
	ramos.planta <sup>-1</sup>	cm	cm	mm
TEC 5936 IPRO	2,9 b	117 a	31 a	7,2 c
NS 5959 IPRO	1,4 c	104 b	20 c	7,3 c
FPS ATALANTA IPRO	2,8 b	102 b	18 c	8,0 b
FPS JÚPITER RR	1,9 c	101 b	25 b	7,3 c
SYN 1059 RR	3,65 a	106 b	18 c	8,9 a
Média	2,53 *	106,1*	22,6*	7,73*
CV (%)	14,54	4,75	7,6	5,62

\* Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem, entre si, pelo teste de Duncan em nível de 5% de probabilidade.

#### 4.4. Características do sistema radicular.

Na Tabela 5 é apresentada a massa seca do sistema radicular.

Baseado nos dados do experimento conduzido na estufa, verifica-se que não existe diferença significativa na massa seca do sistema radicular das diferentes cultivares. Então, considerando que no experimento conduzido no campo observou-se diferença significativa nos dados de tração de plantas pode-se, a priori inferir que não existe relação entre matéria seca do sistema radicular conduzido na estufa e os dados do traciômetro conduzido no campo.

**Tabela 5.** Característica do sistema radicular das plantas de cinco cultivares testadas em casa de vegetação: massa seca (g) do sistema radicular. Fundação Pró-Sementes, 2016. Passo Fundo, RS.

Cultivar	Massa seca do sistema radicular
	g
TEC 5936 IPRO	10,1 a
NS 5959 IPRO	10,3 a
FPS ATALANTA IPRO	10,3 a
FPS JÚPITER RR	11,8 a
SYN 1059 RR	10,3 a
Média	10,56*
CV (%)	10,24

\* Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem, entre si, pelo teste de Duncan em nível de 5% de probabilidade.

Levando-se em consideração as inúmeras combinações possíveis entre fatores climáticos, edáficos e fisiológicos, sugere-se a condução de novos trabalhos empregando a metodologia de extração de plantas de soja em distintos estádios fenológicos, regimes pluviais além de tipos e manejos de solos.

## **5. CONCLUSÃO**

A resistência ao arranquio de plantas de soja é uma ferramenta promissora na seleção de cultivares direcionadas a rendimento de grãos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.519-531, 2004.
- ALLISON, L.E. Salinity in relation to irrigation. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.16, p.139-178, 1964.
- BALL, R.A.; OOSTERHUIS, D.M.; MAUROMOUSTAKOS, A. Growth dynamics of the cotton plant during water-deficit stress. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p. 788-795, 1994.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. **Campinas: Instituto Agrônômico**, p. 48, 1983.
- BARELI, L.D.; DO VALE, N.M.; DA ROCHA, F.; ROZETTO, D.S.; COAN, M.M.D.; COIMBRA, J.L.M.; COELHO, C.M.M.; DE SOUZA, C.A. **Componentes do rendimento em acessos de feijão**. CTSBF - Comissão Técnica Sul-Brasileira de Feijão, 2012.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.849-856, 2003.
- BLUM, A. **Plant breeding for stress environments**. Boca Raton: CRC, Cold resistance, cap. 5, p.99-132,1988.
- BÖHM, W. **Methods of studing root systems**. In: DURHAM, W.D.B., ATHENS, F.G., WÜRZBURG, O.L.L., OAK RIDGE, J.S.O. (eds). Ecological Studies: analysis and syntesis. vol. 33. Brühlsche Universitätsdruckerei. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, p. 188, 1979.
- BORDIN, I.; NEVES, C.S.V.J.; AINDA, F.T.; SOUZA, W.R.; DAVOGLIO JÚNIOR, A.C.; FURLANETO, T.L.R.; TAVARES FILHO, J. Sistema radicular de plantas cítricas e atributos físicos do solo em um Latossolo argiloso submetido à escarificação. **Ciência Rural**, Santa Maria, N.35, p.820-825, 2005.
- BOYER, J.S. Leaf water potentials measured with a pressure chamber. **Plant Physiology**, Rockville, v.42, N.1, p.213-217, 1967.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes. Secretaria de Defesa Agropecuária.** Brasília: Mapa/ACS, p. 399, 2009.

BRASIL, **CENTRO DE METEOROLOGIA APLICADA – FEPAGRO.** Disponível em: <[http://www.fepagro.rs.gov.br/conteudo/Fepagro/Centro\\_de\\_Meteorologia Aplicada](http://www.fepagro.rs.gov.br/conteudo/Fepagro/Centro_de_Meteorologia_Aplicada)>. Acesso em: 18 dez 2015.

BRUGNERA, A.; LOPES, P.V.L.; PORAZZI, L.A.; OLIVEIRA, L.R. Competição de Cultivares de soja avaliados em diferentes regiões do cerrado safra 2005/2006. **Fundação de apoio à pesquisa e desenvolvimento do oeste baiano.** Disponível em: <[http://www.fundacaoba.com.br/comunicado\\_soja01.pdf](http://www.fundacaoba.com.br/comunicado_soja01.pdf)>. Acesso em: 8/08/2009.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas.** Piracicaba: Esalq,p. 132, 1997.

CARADUS, J.R. Root growth of white clover (*Trifolium repens* L.) lines in glass-fronted containers. **New Zealand Journal of Agricultural Research,** Wellington, v.24, p.43-54, 1981.

CARDOSO, E.G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J.L.; TORRES, E.; SARAIVA, O.F.; GUIMARÃES, M.F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, n. 41, p.493-501, 2006.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: Água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural,** Santa Maria, v.25, n.1, p.183-188, 1995.

CLARK, R.B. Differential response of maize inbreds to Zn. **Agronomy Journal,** Madison, v.70, p.1057-1060, 1978.

CLARK, R.B. **Plant response to mineral element toxicity and deficiency.** In: CHRISTIANSEN, M.N.; LEWIS, C.F., ed. Breeding plants for less favorable environment. New York: John Wiley, p.71-142, 1982.

COSTAMILAN, L.M.; BERTAGNOLLI, P.F.; YORINORI, J.T. Perda de rendimento de grãos de soja causada por ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). **Fitopatologia Brasileira,** Brasília, v.27 (Suplemento), p.100, 2002.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA, R.S. Dessecação antecedendo a semeadura direta pode afetar a produtividade. **Potafós: Informações Agronômicas,** N.109, p.14-15, 2005.

CRESS, W.A.; THRONEBERRY, G.D.; LINDSEY, D.L. Kinetics of phosphorus absorption by mycorrhizal and nonmycorrhizal tomato roots. **Plant Physiology**. Rockville, N.64, p.484-487, 1979.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, N. 2, p. 541-552, 2012.

DAVIES, W.J.; ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in rying soil. **Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology**, Palo Alto, p.55-76, 1991.

DE KLERK, G.J. **Rooting of microcuttings**: Theory and practice. In *Vitro Cellular and Developmental Biology*, v. 38, p.415-422, 2002.

DOURADO-NETO, D.; TERUEL, D.A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J.A.; BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation. I. Uses of mathematical models in agricultural science. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.55, p.46-50, 1998.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2004**. ISSN Versão eletrônica, 2004. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: dezembro 2015.

ENCIDE-OLIBONE, A.P.; OLIBONE, D.; ROSOLEM, C.A. Atividade radicular da soja: definição de um método. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.899-903, 2008.

ENNOS, R.A. The significance of genetic variation for root growth within a natural population of white clover (*Trifolium repens* L.). **Journal of Ecology**, Oxford, v.73, p.615-624, 1985.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. Avaliação de cultivares de arroz para maior eficiência na absorção de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.16, N.6, p.777-782, 1981.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. Avaliação preliminar de cultivares de arroz irrigado para a maior eficiência de utilização de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, p.1709-1712, 1982.

FAGERIA, N.K. Resposta de cultivares de arroz à aplicação de calcário em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n. 19, p. 883-889, 1984.

FAGERIA, N.K.; MORAIS, O.T. Avaliação de cultivares de arroz na utilização de cálcio e magnésio em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, p.667-672, 1987.

FAGERIA, N.K.; MORAIS, O.P.; BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J. Response of rice cultivars to phosphorus supply on an oxisol. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.16, p.195-206, 1988.

FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: Embrapa-DPU, p. 425, 1989.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; EDWARD, D.G. **Soil-Plant nutrient relationships at low pH stress**. In: BALIGAR, V.C.; DUNCAN, R.R., ed. Crops as enhancers of nutrient use. New York: Academic Press, p.475-507, 1990.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR V.C. **Screening crop genotypes for mineral stresses**. In: Workshop on adaptation of plants to soil stress. Lincoln, Proceedings. Lincoln, University of Nebraska. p.142-159, 1993.

FARONI, C.E. **Sistema radicular de cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas**. 2004. 68f. Dissertação (Mestrado) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, p.12, 1977.

FOY, C.D. Effect of aluminum on plant growth. In: CARSON, F.W. (Ed.) **The plant root and its environment**. Charlottesville: University Press of Virginia, p.601-642, 1974.

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; COSTA, N.P.; BARRETO, J.N. Efeito de níveis de vigor das sementes sobre diversas características agrônômicas da soja. In: **Resultados de Pesquisa de Soja 1982/83**. EMBRAPA-CNPQ, Londrina, p.70-73. 1983.

FUGIWARA, M.; KURACHI, S.A.H.; ARRUDA, F.B.; PIRES, R.C.M.; SAKAI, E. A técnica de estudo de raízes pelo método do trado. Campinas, **Instituto Agrônomo de Campinas**, p. 9, 1994.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 28, N.3, p.477-484, 2004.

GLASS, A.D.M.; PERLEY, J.E. Varietal differences in potassium uptake by barley. **Plant Physiology**, Rockville, n.65, p.160-164, 1980.

GOLDMANN, I.L.; CARTER, T.E. Jr.; PATTERSON, R.P. A detrimental interaction of subsoil aluminum and drought estress on the leaf water status of soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, N.3, p.461-463, 1989.

GREGORY, P.J. Crecimiento y funcionamiento de las raíces. In: WILD, A. **Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. p.121-175.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris L.*) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, p.70-75, 2006.

HIRAYAMA, M.; WADA, Y.; NEMOTO, H. Estimation of drought tolerance based on leaf temperature in upland rice breeding. **Breeding Science**, Tokio, v.56, p.47-54, 2006.

HOLLAND, J.M. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.103, p.1-25, 2004.

HOOGENBOOM, G.; HUCK, M.G.; PETERSON C.M. Root growth rate of soybean as affected by drought stress. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, p.697-614, 1987.

HUGHES, D.F.; JOLLEY, V.D.; BROWN, J.C. Role of potassium in the iron-stress response mechanism of iron-efficient oat. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.830-835, 1992.

ISHAQ, M.; IBRAHIM, M.; HASSAN, A.; SAEED, M.; LAL, R. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: II. Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, n. 60, p.153-161, 2001.

KAUFFMANN, M.D.; GARDNER, E.H. Segmental liming of soil and its effect on the growth of wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v.70, p.331-336, 1978.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo, Agronômica Ceres, p. 262, 1979.

KLEIN, V.A.; CAMARA, R.K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 31, p. 221-227, 2007.

KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T. Vigor de sementes e competição intra-específica em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, N.6, p.1248-1256, 2005.

KOPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. In: KOPPEN W, GEIGER (eds) Handbuch der Klimatologie. Gebrüder Borntraeger, Berlin, p 1-44. 1936.

KRAMER, P. J. Fifty years of progress in water relations research. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 54, N. 4, p. 463-471, 1974.

KÜCKE, M.; SCHMID, H.; SPIESS, A. A comparison of four methods for measuring roots in field crops in three contrasting soils. **Plant Soil**, Rockville, n. 172, p.63-71, 1995.

LAFITTE, R.; BLUM, A.; ATLIN, G. **Using secondary traits to help identify drought-tolerant genotypes**. In: FISCHER, K. S.; LAFITTE, R.; FUKAI, S.; ATLIN, G.; HARDY, B. Breeding rice for drought-prone environments. Los Baños: International Rice Research Institute, p. 37- 48, 2003.

LAL, R. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics versus temperate environments. **Advances in Agronomy**, Wageningen, v.42, p.85-97, 1989.

LEA, P.J.; AI-SULAIT, A.; PALMER, S.; DAVIE, W.J. **Absorção e metabolismo de nitrogênio sobre estresse hídrico**. In: Simpósio Internacional sobre estresse ambiental: O milho em perspectiva, 1995. Belo Horizonte, MG. Anais...EMBRAPA/CNPMS, 1995. v.1, p.163-194, 1995.

LEHMANN, J. Subsoil root activity in tree-based cropping systems. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.255, p.319-331, 2003.

LEVITT, J. Responses of plants to environmental stresses. Volume II. **Water, radiation, salt, and other stresses**, 1980.

LOPES, A.S.; SIQUEIRA, J.O.; ZAMBOLIM, L. Caracterização das micorrizas vesicular-arbusculares (MVA) e seus efeitos no crescimento das plantas.

**Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.7, 1-19. 1983.

LUDWIG, M.P.; SCHUCH, L.O.B.; LUCCA FILHO, O.A.; AVELAR, S.A.G.; MIELEZRSKI, F.; PANOZZO, L.E.; OLIVO, M.; SEUS, R. Desempenho de plantas de feijão, originadas de lotes de sementes com diferentes níveis de qualidade fisiológica. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v.5, n.2, p.44-52. 2008.

LYNCH, J.; NIELSEN, K.L.; Simulation of root system architecture. In Y Waisel, A Eshel, U Kafkafi, eds, **Plant Roots: The Hidden Half**, Ed 2. Marcel Dekker, New York, 1995.

MACHADO, A.A.; CONCEIÇÃO, A.R. **WinStat** – Sistema de Análise Estatística para Windows versão 1.0. Universidade Federal de Pelotas, 2007.

MAPFUMO, E.; CHANASYK, D.S.; NAETH, M.A.; BARON, V.S. Forage growth and yield components as influenced by subsurface compaction. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, N.4, p.805-812, 1998.

MARTIN, V.L.; MCCOY, E.L.; DICK, W.A. Allelopathy of crop residues influences corn seed germination and early growth. **Agronomy Journal**, Madison, n.82, p. 555-560, 1990.

MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.F.; RODRIGUES, L.A.; SACRAMENTO, L.V.S. Comportamento de variedades de soja cultivadas em diferentes doses de fósforo: I. Cinética de absorção de fósforo e ajustes morfológicos da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 231-238, 1993.

McCREE, K.J.; FERNÁNDEZ, C.J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v.29, p.353-360, 1989.

MENOSSO, O.G.; PALHANO, J.B.; MARTINS, E.G.; KIIHL, R.A.S.; LANTMAN, A.F. **Desenvolvimento de cultivares tolerantes ao complexo de acidez com alta capacidade de extração de fósforo do solo: produção de genótipos tolerantes à acidez do solo**. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). Resultados de pesquisa de soja 1986/87. Londrina, p.213-215, 1988.

MESSMER, M.J.; LAMBERT, R.J.; HAGEMAN, R.H. Classification of certain N traits as criteria for the identification of productive maize genotype. **Crop Science**, Madison, v.24, p.605-610, 1984.

MOSSE, B. Vesicular-arbuscular mycorrhizae research for tropical agriculture. **Hawai Institut for Tropical Agriculture and Human Resources**, Honolulu, p. 82, 1981.

NEVES, C.S.V.J.; FELLER, C.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C.; TAVARES FILHO, J.; FORTIER, M. Soil bulk density and porosity of homogeneous morphological units identified by the cropping profile method in clayey oxisols in Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.71, p.109-119, 2003.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; SOUSA, B.; HAMAACKI, O. T.; CRUZ, C. D.; PEREIRA, D. G.; MATSUO, E. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, N. 6, p. 877-888, 2012.

O'SULLIVAN, J.N. Root distribution of yam (*Dioscorea alata*) determined by strontium tracer. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v.44, p.223-233, 2008.

PAZZIN, D. **Comportamento de cultivares de soja em solo de várzea submetidas a períodos de excesso hídrico**, Dissertação de Mestrado em Agronomia - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

PEASLEE, D.E.; ISARANGKURA, R.; LEGGET, J.E. Accumulation and translocation of zinc by two corn cultivars. **Agronomy Journal**, Madison, v.73, p.729-732, 1981.

PESKE, S.T. Comprando além da semente. **Revista SEEDnews**, Pelotas, v.13, N.2, p.22-27, 2009.

PESKE, S.T.; BARROS, A.C.S.A.; SCHUCH, L.O.B. Benefícios e obtenção de sementes de alta qualidade. **Revista SEEDnews**, Pelotas, v.14, N.5, p.22-28, 2010.

PESSARAKALI, M.; HUBER, J.T.; TUCKER, T.C. Protein synthesis in green beans under salt stress conditions. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.12, p.1105-1121, 1989.

PIMENTEL, C.; ROSSIELO, R.O.P. Entendimento sobre relações hídricas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O MILHO EM PERSPECTIVA, 1995, Belo Horizonte, MG. **Anais...**, v.1. 449p. p.131-146, 1995.

PINKERTON, A.; SIMPSON, J.R. O uso de estrôncio estável como um marcador químico para a penetração da raiz. **Australian Journal of Agricultural Research**, Sidney, n. 30, p. 239-250, 1979.

- PIVETTA, L.A.; CASTOLDI, G.; dos SANTOS, G.P.; ROSOLEM, C.A. **Avaliação do sistema radicular da soja sob sistemas de manejo do solo.** p.11-13, 2011.
- POLOMSKI, J.; KUHN, N. Root Research methods. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Orgs.). **Plant roots: the hidden half.** New York: Marcel Dekker, p. 295-322, 2002.
- QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n.35, p.929-938, 2000.
- RICE, E.L. **Allelopathy.** Academic Press Inc., New York, p. 353, 1974.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. **Arquivo do Agrônomo**, São Paulo, n.15, p.1-20, 2003.
- ROSE, S.J.; BURNSIDE, O.C.; SPECHT, J.E.; SWISH, B.A. Competition and allelopathy between soybeans and weeds. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, p.523-528, 1984.
- ROSOLEM, C.A.; ALMEIDA, A.C.S.; SACRAMENTO, L.V.S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v.53, n.2, p. 259-266, 1994.
- RUSCHEL, A.P.; PAULA, M.M. de. **Alelopatia e autotoxicidade em arroz de sequeiro.** In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA AMÉRICA LATINA E O CARIBE, 9, 1994, Goiânia. Resumos. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF/CIAT, 1994.
- SAFIR, G.R. **Vesicular-arbuscular mycorrhizae and crop productivity.** In: CARLSON, P.S., ed. The biology of crop productivity. New York: Academic Press, 1980. p.231-282.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Embrapa Solos, p.80-85, 2005.
- SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, n.2, p.287-294, 1998.

SCHOLANDER P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. **Science**, Washington, n.148, p.339–346, 1965.

SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M.; HSIAO, A.I.; NINJAS, A.N. Genetic differences among wild oat lines in potassium uptake and growth in relation to potassium supply. **Plant Soil**, Madison, n.99, p.93-106, 1987.

SILVA, F. de A.S. **Assistat. Versão 7.6 beta** (2011). Disponível em: <<http://www.assistat.com/indexp.html>> Acesso em: 07 Mai. 2013.

SINCLAIR, T.R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**, Madison, v.29, N.1, p.90-98, 1989.

TAIZ, L.; ZEIGER. *Plant Physiology*. California: **The Benjamin / Cummings Publishing Company**, Inc., Redwood City, 1991.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, p.449-484, 2004.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C.; BALBINO, L.C.; NEVES, C.S.V.J. Método do Perfil Cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.23, p.393-399, 1999.

TEDESCO, M. J.; VOLKSWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS-Departamento de Solos, p. 188 1985.

THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.9, p.1389-1396, 1994.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, p. 58, 1999.

TUBEROSA, R. Abscisic acid concentration in leaf and xylem sap, leaf water potential, and stomatal conductance in maize. **Crop Science**, Madison, v.34, N.4, p.1537-1563, 1994.

TUNNER, N.C.; BEGG, J.E. Plant-water relations and adaptation to stress. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.58, p.97-131, 1981.

WASEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U., eds. **Plant roots - the hidden half**. 3.ed. New York, Marcel Dekker, p; 1136, 2002.

WOODEND, J.J.; GLASS, A.D.M.; PERSON, C.O. **Genetic variation under potassium stress**. In: GABELMAN, H.W.; LAUGHMAN, B.C., eds. Genetic aspects of plant mineral nutrition. Dordrecht, Martinus Nijhoff, p.381-391, 1987.

WUEST, S.B.; CASSMAN, K.G. Fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated wheat. I. Uptake efficiency of pre-plant versus late-season application. **Agronomic Journal**, New York, n.84, p.682-688, 1992.

YOUNGQUIST, J.B.; COX, P.B.; MARANVILLE, J.W. Evaluation of alternative screening criteria for selecting nitrogen-use efficient genotypes in sorghum. **Crop Science**, Madison, v. 32, n. 6, p. 1310-1313, 1992.

ZEIFNEJAD, M.; CLARK, R.B.; RITCHEY, K.D.; BALIGAR, V.C.; PARRISH, D.J. Growth, photosynthesis and water relations of wheat grown on acid soil amended with coal combustion by-products. **Crop Science**, Madison, v.36, p.968-974, 1996.

ZEEVAART, Z.R.; CREELMAN, R.A. Metabolism and physiology of abscisic acid. **Annual Review Plant Physiology**, Palo Alto, v.39, p.439-473, 1988.

ZONTA, E. et al. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico, In.: Nutrição Mineral de Plantas. (Ed.) Fernandes, M. S., **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, p. 7-52, 2006.

## **ANEXOS**

**Tabela A.** Estádios de desenvolvimento fenológico da cultura da soja.

Período	Estádio	Descrição
Vegetativo	VE	Cotilédones acima da superfície do solo
	VC	Cotilédones completamente abertos
	V1	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas <sup>1</sup>
	V2	Primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida
	V3	Segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida
	Vn	Ante-enésima folha trifoliolada completamente desenvolvida
Reprodutivo	R1	Início do florescimento - Uma flor aberta em qualquer nó do caule <sup>2</sup>
	R2	Florescimento pleno - Uma flor aberta num dos 2 últimos nós <sup>3</sup> do caule com folha completamente desenvolvida
	R3	Início da formação da vagem - Vagem com 5 mm de comprimento num dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
	R4	Vagem completamente desenvolvida - Vagem com 2 cm de comprimento num dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
	R5	Início do enchimento do grão - Grão com 3 mm de comprimento em vagem num dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
	Subdivisões do Estágio R5	R5.1 - grãos perceptíveis ao tato (o equivalente a 10% da granação); R5.2 – 11% a 25% da granação; R5.3 – 26% a 50% da granação; R5.4 – 51% a 75% da granação; R5.5 – 76% a 100% da granação.
	R6	Grão cheio ou completo - vagem contendo grãos verdes preenchendo as cavidades da vagem de um dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida.
	R7	Início da maturação - Uma vagem normal no caule com coloração de madura
	R8	Maturação plena - 95% das vagens com coloração de madura

Fonte: Escala de Fehr; Caviness (1977), associada ao detalhamento do estágio R5 proposto por Ritchie et al. (1977).

<sup>1</sup> Uma folha é considerada completamente desenvolvida se as bordas dos trifólios da folha seguinte (acima) não mais se tocam.

<sup>2</sup> Caule significa a haste principal da planta.

<sup>3</sup> Últimos nós referem-se aos últimos nós superiores.