

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA

CURSO BIOTECNOLOGIA

DIVERSIDADE GENÉTICA E RESPOSTAS DE GENÓTIPOS DE SOJA SOB DÉFICIT
HÍDRICO INDUZIDO POR PEG 6000

Isabella de Castro Silveira

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Biotecnologia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do
grau de Bacharel em Biotecnologia.

Uberlândia - MG

Março - 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA

CURSO BIOTECNOLOGIA

DIVERSIDADE GENÉTICA E RESPOSTAS DE GENÓTIPOS DE SOJA SOB DÉFICIT
HÍDRICO INDUZIDO POR PEG 6000

Isabella de Castro Silveira

Ana Paula Oliveira Nogueira
Orientadora

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Biotecnologia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do
grau de Bacharel em Biotecnologia.

Uberlândia - MG

Março - 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA

CURSO BIOTECNOLOGIA

DIVERSIDADE GENÉTICA E RESPOSTAS DE GENÓTIPOS DE SOJA SOB DÉFICIT
HÍDRICO INDUZIDO POR PEG 6000

Isabella de Castro Silveira

Ana Paula Oliveira Nogueira
Orientadora

Homologado pela coordenação do Curso
de Biotecnologia em __/__/__

Edgar Silveira Campos
Coordenador do Curso de Biotecnologia

Uberlândia - MG

Março - 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA

CURSO BIOTECNOLOGIA

DIVERSIDADE GENÉTICA E RESPOSTAS DE GENÓTIPOS DE SOJA SOB DÉFICIT

HÍDRICO INDUZIDO POR PEG 6000

Isabella de Castro Silveira

Aprovado pela Banca Examinadora em: 23 / 03 / 2018

Nota: 100

Ana Paula Oliveira Nogueira
Presidente da Banca Examinadora

Uberlândia - MG

Março - 2018

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me proporcionado mais essa conquista e me dado a força e determinação necessárias para alcançá-la.

A meus pais Cleonice e Marcos César e ao meu irmão João Marcos por todo o apoio, carinho e paciência durante esses 4 anos. Saibam que tudo isso foi essencial para o meu sucesso e que sem vocês nada seria possível.

A todos os meus familiares que torceram e me apoiaram durante essa caminhada.

Aos amigos Laura, Leticia, Marlize, Beliza, Gabriel, Vitor, Rodrigo, Gustavo, Higo, Sheyla, Luana, Gabriela, Ana Carolina, Clara, Heitor, Lucas, Ian e todos os demais que viveram comigo essa experiência, sem dúvidas a amizade e suporte de vocês fez com que tudo fosse melhor e mais divertido.

À Luiza Medeiros, te agradeço por todo o companheirismo, paciência, carinho, as horas de estudo, caronas e ajuda nos experimentos. Saiba que sua amizade foi parte fundamental dessa conquista.

À Prof. Ana Paula, por ter aceitado me orientar durante esses quatro anos, ter acreditado no meu potencial e me dado a chance de mostrá-lo.

Ao Prof. Carlos Machado dos Santos e ao técnico do laboratório de sementes Adílio de Sá Junior, por terem me cedido o espaço, materiais e ensinamentos para a realização desse projeto.

Ao Programa de Melhoramento Genética de Soja da UFU por todo o conhecimento adquirido e amizades construídas.

À FAPEMIG pelo apoio financeiro que possibilitou a realização desse projeto.

RESUMO

O estresse hídrico é um dos fatores limitantes para a obtenção da máxima produção na cultura da soja, o que torna a identificação de genótipos tolerantes uma abordagem importante nos programas de melhoramento. Neste sentido, os objetivos deste trabalho foram avaliar genótipos de soja em condição de déficit hídrico; determinar caracteres que permitem a identificação dos genótipos tolerantes ao déficit hídrico e sugerir parentais promissores para hibridação. Dezesesseis genótipos de soja foram submetidos a dois potenciais osmóticos (0,0 MPa e -0,2 MPa) induzidos por PEG 6000, e avaliou-se os caracteres comprimento de parte aérea, radicular e total, matéria fresca e seca (parte aérea, radicular e total) e germinação. Verificou-se a existência de interação significativa para comprimento de raiz, matéria fresca de parte aérea e total e matéria seca de raiz. Os genótipos foram divididos em grupos pelos métodos de UPGMA, Tocher e análise de componentes principais, o que permitiu uma análise da dissimilaridade genética entre eles. As cultivares BRS 7270 IPRO, TMG 2158 IPRO, UFUS Tikuna e UFU_P32 apresentaram desempenho superior nas características avaliadas sob condição de estresse e são indicadas como parentais promissores para realização de cruzamentos. O comprimento de raiz permitiu a discriminação de genótipos tolerantes ao déficit hídrico.

Palavras-chave: *Glycine max*, análise multivariada; estresse hídrico.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	1
2.REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Aspectos botânicos, morfológicos, germinação e emergência da soja	3
2.2 Influência de fatores abióticos para a produção da soja.....	5
2.3 Disponibilidade hídrica e seu impacto sobre a cultura da soja	6
2.4 Estratégias para distinção de genótipos de soja tolerantes ao déficit hídrico.....	9
2.5 Metodologias multivariadas para estudo da diversidade genética	12
3.MATERIAL E MÉTODOS	14
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5.CONCLUSÕES.....	34
6.REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

A soja é uma planta originária de clima temperado, que apresenta uma ampla adaptação agrônômica aos climas subtropicais e tropicais. Considerada uma das mais importantes leguminosas cultivadas no mundo, desenvolvendo-se em quase todas as latitudes de cultivo (SARTI et al., 2011).

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2017), na safra de 2016/2017 foram cultivados cerca de 33,88 milhões de hectares no Brasil, gerando uma produção de aproximadamente 107,61 milhões de toneladas. Dessa forma, a soja é um dos produtos de maior destaque na agricultura brasileira e na balança comercial do país (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2015).

Segundo Mohammadi et al. (2012), o crescimento das plantas de soja tem sido amplamente afetado por fatores bióticos e abióticos. Dentre os fatores abióticos, destacam-se o déficit hídrico, as concentrações de sal presentes no solo, as baixas temperaturas, inundações, calor, estresse oxidativo e toxicidade de metais pesados. Porém, do ponto de vista econômico, a seca é o estresse abiótico mais importante, afetando de modo direto e implacável a produtividade das culturas.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2015), a água constitui aproximadamente 90% do peso da planta, sendo um fator chave e essencial em praticamente todos os processos bioquímicos e fisiológicos da soja. Além disso, desempenha a função de solvente, através do qual gases, minerais e outros solutos entram nas células e movem-se no interior da planta. Também apresenta papel importante na regulação térmica, agindo tanto no resfriamento como na manutenção e na distribuição do calor no interior da planta.

O estresse hídrico em soja ocasiona diversas transformações em suas características, como o surgimento de plantas de baixa estatura, redução da área foliar e encurtamento dos

entrenós (CASTEEL, 2012). Portanto, para que não ocorra tais problemas, a disponibilidade hídrica adequada é fundamental durante todo crescimento e desenvolvimento da planta, principalmente no período crítico, isto é, na fase de germinação-emergência e floração-enchimento de grãos (EMBRAPA, 2009).

Diversos estudos vêm sendo conduzidos para avaliar o comportamento morfofisiológico das plantas em relação ao déficit hídrico. Porém, há poucos relatos sobre os impactos da disponibilidade de água sobre a germinação, crescimento e desenvolvimento de novas cultivares de soja que possuam uma maior tolerância ao estresse hídrico. Portanto, pesquisas que envolvam a identificação de genótipos promissores são de extrema importância nos programas de melhoramento de plantas e seus resultados tem impacto direto na economia e desenvolvimento.

Os estudos de diversidade genética são úteis para os melhoristas, contribuindo para identificar e selecionar genitores divergentes, especialmente na cultura da soja cuja base genética é estreita (MIRANDA et al., 2007; PRIOLLI et al., 2010; WYSMIERSKI; VELLO, 2013). Diversas análises multivariadas têm sido empregadas em soja, mas incluem principalmente caracteres agronômicos e/ou moleculares. Nesse sentido, os estudos de diversidade genética utilizando caracteres relacionados à tolerância a estresse hídrico contribui para seleção de genitores potenciais para desenvolvimento de populações segregantes visando esse estresse abiótico.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas de genótipos de soja em condição de déficit hídrico induzido por PEG 6000, determinar caracteres que permitam a identificação de genótipos de soja tolerantes ao déficit hídrico e identificar genótipos de soja tolerantes ao déficit hídrico e sugerir parentais promissores para realização de cruzamentos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Aspectos botânicos, morfológicos, germinação e emergência de plântulas de soja

A soja cultivada (*Glycine max* (L.) Merrill) é originária do Nordeste da China, ao longo do Vale do Rio Amarelo. Pertence ao reino *Plantae*, divisão *Magnoliophyta*, classe *Magnoliopsida*, ordem *Fabales*, família *Leguminosae*, subfamília *Papilionoideae*, tribo *Phaseolae*, gênero *Glycine* (SEDIYAMA; OLIVEIRA; SEDIYAMA, 2016).

No Brasil, o primeiro cultivo da soja foi registrado na Bahia, em 1882, por Gustavo Dutra, sendo logo depois alvo de estudos do Instituto Agrônomo de Campinas. Naquela época, o interesse era a utilização como forrageira e apenas em 1941, no Rio Grande do Sul, foi iniciado seu uso como grão (ROCHA, 2009). O sucesso da soja no Brasil se deve ao sofisticado pacote tecnológico desenvolvido para a cultura no país, resultado dos esforços de instituições de pesquisa, sendo destacados os programas de melhoramento genético de soja, que ao longo dos anos disponibilizaram centenas de cultivares no mercado (NOGUEIRA; SEDIYAMA; GOMES, 2015).

A soja é uma planta ereta, autógama, anual e que apresenta grande variabilidade de suas características morfológicas, a qual é influenciada por condições ambientais. Sua estatura varia de 0,2 a 2,0 m, podendo apresentar ramificações. O seu ciclo (número de dias da emergência até a maturação) varia de 70 (para as cultivares mais precoces) a 200 dias (para as mais tardias) (SEDIYAMA; OLIVEIRA; SEDIYAMA, 2016).

O sistema radicular é pivotante, com uma raiz principal e ramificações laterais, e é capaz de estabelecer simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio. O caule é pubescente e ereto, frequentemente ramificado. As plantas de sojas apresentam tipo de crescimento indeterminado, semi-determinado ou determinado. As folhas primárias são unifolioladas e opostas, de forma que as demais são trifolioladas alternadas. As flores são completas, contendo cálice, corola, androceu e gineceu, ocorrendo em ráceros terminais e axilares e

variando de 2 a 35 por ráculo (NOGUEIRA et al., 2009).

Os frutos são vagens que contêm de 1 a 5 sementes, podendo ser retos, curvados ou achatados, com coloração da pubescência cinza, marrom clara, marrom média e marrom escura. A semente possui diferentes formatos, sendo classificada em esférica, esférica-achatada, alongada e alongada-achatada, com a cor do tegumento amarela, amarela esverdeada, verde, marrom clara, marrom média, marrom escura, preta e marrom avermelhado (SEDIYAMA; OLIVEIRA; SEDIYAMA, 2016).

O processo de germinação é caracterizado de diferentes formas. Do ponto de vista fisiológico, consiste na retomada do metabolismo e do crescimento e no reinício da transcrição do genoma; do ponto de vista bioquímico se refere à diferenciação sequencial dos caminhos oxidativos e de síntese e à retomada de processos característicos do crescimento vegetativo e do desenvolvimento; e do ponto de vista morfológico, é a transformação do embrião em uma plântula (MARCOS FILHO, 2005).

A água é fundamental na ativação de processos metabólicos que culminam com a germinação das sementes. Cada espécie possui seu teor crítico de água para que ocorra a germinação, além da capacidade específica de retirá-la do ambiente, no caso da soja é necessária uma absorção de 50% do peso seco da semente (ÁVILA et al., 2007).

Segundo Andrade et al. (2006), a germinação das sementes se inicia com um mecanismo de absorção de água, chamado de embebição. A embebição é um processo puramente físico e depende da ligação da água à matriz da semente. O principal responsável pelo movimento de água no início da embebição é o componente matricial, seguido pelo componente osmótico (CARDOSO, 2004).

A absorção de água é fundamental na retomada das atividades metabólicas e segue padrão trifásico na maioria das espécies, onde a primeira etapa ocorre de forma rápida, devido à diferença de potencial hídrico entre substrato e semente (MARCOS FILHO, 2005).

A fase II do processo de germinação é caracterizada por redução drástica na velocidade de absorção, marcada pela reativação do metabolismo, com aumento da difusão de solutos para onde o metabolismo é intenso, principalmente, na região do embrião. A fase III inicia-se com a emissão da raiz primária. Essas três fases originam a curva de absorção de água pela semente (MARCOS FILHO, 2005).

2.2 Influência de fatores abióticos para produção de soja

Apesar da produção nacional de soja apresentar elevado potencial, combinações de estresses bióticos e abióticos têm constantemente ocorrido em quase todo o país e gerado significativas perdas produtivas (HIRAKURI, 2014).

O ciclo da soja é afetado por vários fatores abióticos, dentre esses, a disponibilidade hídrica, a temperatura e o fotoperíodo são os mais importantes por provocarem alterações significativas no ciclo da soja (RODRIGUES et al., 2001).

A sensibilidade que a leguminosa possui ao fotoperíodo define a porção vegetativa e reprodutiva do ciclo da soja. Para que a soja atinja o florescimento, é necessário que a quantidade de luz recebida seja inferior ou igual ao fotoperíodo crítico máximo, sendo este pertinente a cada cultivar, o que caracteriza a soja como uma planta de dias curtos (NOGUEIRA et al., 2009). Além do controle do florescimento e maturação, a reação fotoperiódica também controla outras funções da planta, como altura, peso de sementes, número de ramificações, vagens por planta, etc. (SEDIYAMA; BARROS, 2009).

Na soja, a temperatura age sobre processos de germinação, crescimento, floração, frutificação, nas reações químicas da respiração e da fotossíntese e, ainda, na absorção de água e nutrientes. Sendo assim, a temperatura é uma das variáveis meteorológicas mais importantes, afetando não apenas o acúmulo de fitomassa como, também, a duração dos vários estádios de crescimento e desenvolvimento da espécie, uma vez que, para completar

cada estágio, as plantas necessitam de um determinado acúmulo térmico (SEDIYAMA; BARROS, 2009).

As plantas de soja se desenvolvem bem em temperaturas entre 20°C e 30°C e deve-se evitar a semeadura quando a temperatura do solo estiver abaixo dos 20°C, pois isso pode prejudicar a germinação e a emergência das plântulas, sendo que em temperaturas menores ou iguais a 10°C, o crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo. Por outro lado, temperaturas acima dos 40°C têm efeitos adversos na taxa de crescimento, as quais provocam danos a floração e diminuem a capacidade de retenção de vagens, levando a perdas de produtividade (EMBRAPA, 2013).

A floração da soja é induzida quando ocorrem temperaturas acima de 13°C, e temperaturas abaixo de 24°C normalmente retardam o florescimento em dois ou três dias para cada decréscimo de 0,5°C. A floração precoce ocorre, principalmente, em decorrência de temperaturas mais altas, podendo acarretar diminuição na altura de planta. Esse problema se agrava se houver, paralelamente, insuficiência hídrica ou fotoperiódica durante a fase de crescimento. Na fase de colheita, temperaturas baixas e alta umidade podem levar a atrasos, bem como a plantas com haste verde e retenção foliar, já temperaturas elevadas e alta umidade são desfavoráveis à qualidade da semente (SEDIYAMA; BARROS, 2009).

Como a água representa cerca de 90% do peso da planta, atuando em todos os processos fisiológicos e bioquímicos existentes nesta cultura, a disponibilidade de água no solo é um fator determinante para o seu desenvolvimento, principalmente nas fases de germinação/emergência e floração/enchimento de grãos, sendo assim, o déficit hídrico ocasiona grandes perdas produtivas nos cultivos de soja (MORANDO et al., 2014).

2.3 Disponibilidade hídrica e seu impacto sobre a cultura da soja

A água é o recurso natural de maior presença na constituição das células vegetais,

perfazendo entre 80 a 95% do peso, dependendo da espécie. Assim, suas propriedades tornam-se fundamentais nos processos físicos, biológicos e químicos da planta. Além disso, contribui diretamente para a difusão de solutos, no desenvolvimento e sustentação dos tecidos vegetais (BROETTO; GOMES; JOCA, 2017).

Dentre inúmeros recursos essenciais para as plantas, a água é um dos mais restritivos para a produtividade agrícola, devido sua importância a distintos processos metabólicos, sobretudo no período inicial de desenvolvimento (FERNANDES; CAIRO; NOVAES, 2015).

As plantas submetidas ao déficit hídrico possuem uma combinação de mecanismos, como constituintes celulares protegidos ou reparados, que permitem a sua sobrevivência e limitam os danos da desidratação. Esses mecanismos de resistência à seca podem ser divididos em três categorias: fuga da seca, evitar a seca e tolerância a seca. A fuga da seca é a habilidade da planta em terminar seu ciclo antes que o déficit hídrico atinja um nível crítico. O mecanismo para se evitar a seca consiste na habilidade em manter o potencial hídrico elevado nos tecidos mesmo que haja falta de umidade no solo, e a tolerância a seca é a habilidade de suportar o déficit de água, mantendo baixos potenciais de água nos tecidos (MITRA, 2001).

Cada espécie vegetal reage de uma forma frente ao déficit hídrico, e essa reação depende da intensidade e duração do estresse, bem como do seu estágio de desenvolvimento (RAHNAMA et al., 2011). Em geral, as respostas ao déficit hídrico se caracterizam pela redução da expansão foliar e taxa fotossintética, aumento na taxa respiratória, ajuste osmótico, fechamento de estômatos, modificações na eficiência de uso da água e ativação de mecanismos de defesa contra danos oxidativos (SHINOZAKI; YAMAGUSHO-SHINOZAKI, 2007).

Na soja, para que se tenha o rendimento máximo a necessidade de água durante todo o ciclo varia de 450 a 800 mm, dependendo do clima, manejo e cultivar. A perda de

produtividade de grãos em função da deficiência hídrica depende diretamente do estágio fenológico, duração e intensidade da escassez de água, sendo a fase de floração e enchimento de grãos, os mais exigentes em termos de necessidade hídrica, com exigência de 7 a 8 mm/dia⁻¹ (GAVA, 2014).

O resultado da deficiência hídrica em soja se dá pelo aparecimento de plantas com baixa estatura, folhas murchas e pequenas, entrenós curtos, reduzida taxa de crescimento e de área e expansão foliar, atividade fotossintética reduzida e impactos na fixação de nitrogênio. A ocorrência de secas principalmente no pós-florescimento causa drásticas reduções no rendimento de grãos, devido ao abortamento de flores e legumes, menor número de grãos por legume, menor período de enchimento de grãos, diminuição da qualidade de grãos e aumento da senescência foliar (GAVA, 2014).

O processo de germinação da soja se inicia após a embebição da semente com água, seguindo o perfil trifásico e a curva de absorção de água da cultura. Caso a umidade seja insuficiente para o processo, a semente pode permanecer viável por mais algum tempo, porém se torna susceptível ao ataque de fungos, o que faz com que ela perca sua viabilidade (SEDIYAMA; GLASENAPP; MATSUO, 2015).

Durante o crescimento vegetativo, a deficiência hídrica ocasiona redução na área foliar, por diminuir severamente a expansão celular, além disso, há uma menor translocação de fotoassimilados na planta em razão da redução da fotossíntese, resultando em plantas com folhas pequenas, caule com diâmetro reduzido e menor altura de planta (SEDIYAMA; GLASENAPP; MATSUO, 2015).

No estágio reprodutivo o déficit hídrico ocasiona abortamento de flores e vagens, bem como redução do tamanho dos grãos, o que pode ser atribuído parcialmente aos efeitos do déficit hídrico sobre a fotossíntese, o que reduz o suprimento de fotoassimilados e leva a redução do tamanho dos grãos (SEDIYAMA; GLASENAPP; MATSUO, 2015).

Segundo a CONAB (2016), na safra 2015/16 foram identificados problemas na maioria das regiões produtoras do Centro-Oeste em vista da falta de chuvas, o que acarretou a necessidade de replantio da soja e quedas de produtividade, principalmente na soja mais precoce, sendo que a produtividade média do estado do Mato Grosso sofreu uma queda 1,3% em relação à safra anterior. Nas regiões Norte e Nordeste, a escassez de chuvas ocasionada pelo fenômeno “El Niño” também acarretou queda de 23,2% na produção, principalmente nos estados do Maranhão, Tocantins e Bahia. As quedas na produção devem-se a sensibilidade da cultura da soja a déficit hídricos, além do seu requerimento hídrico ser relativamente alto para obtenção de altas produtividades por isso, qualquer distribuição de chuvas abaixo das expectativas gera prejuízos financeiros aos produtores (MORANDO et al., 2014).

2.4 Estratégias para distinção de genótipos de soja tolerantes ao déficit hídrico

A qualidade fisiológica das sementes é uma das alternativas para a distinção de genótipos de soja mais tolerantes ao déficit hídrico, e algumas das metodologias mais utilizadas para determinar essa qualidade fisiológica são os testes de germinação e de vigor (TEIXEIRA et al., 2008).

De acordo com as Regras para Análise de Sementes, o processo de germinação consiste na emergência e no desenvolvimento da plântula até determinado estágio, em que o aspecto de suas estruturas essenciais indica se esta será capaz ou não de se tornar uma planta normal sob condições favoráveis em campo. Já os testes de vigor são uma ferramenta complementar ao teste de germinação, tornando possível a identificação de diferenças na qualidade fisiológica entre sementes que apresentem poder germinativo semelhante (MARCOS FILHO, 2005).

Entre os testes de vigor, os mais utilizados para a cultura da soja são o de comprimento e o de peso de matéria seca de plântulas. No primeiro se avalia o comprimento

médio das plântulas normais ou de uma de suas estruturas (raiz, hipocótilo, epicótilo), e no segundo avalia-se a massa média da matéria seca das plântulas normais (VIEIRA et al., 2013).

Diversos experimentos têm utilizado compostos químicos nos testes de germinação e vigor para simular situações de déficit hídrico em laboratório. Entre os compostos mais utilizados estão o Polietilenoglicol 6000 (PEG 6000), Manitol, NaCl, KCl, entre outros, que por suas características físico-químicas são capazes de impor estresse osmótico às plantas e possibilitar assim uma caracterização de genótipos tolerantes (TEXEIRA, et al. 2008).

O Polietilenoglicol (PEG) é comumente utilizado em experimentos como um agente osmótico que simula condições de déficit hídrico semelhantes à secagem do solo, além de ser um composto inerte, não tóxico, apresentar alto peso molecular e não ser absorvido pelas sementes (MACHADO et al., 2016).

Em um estudo realizado por Vieira et al. (2013), foram avaliados aspectos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de soja sob estresse hídrico induzido por PEG 6000. Cinco cultivares foram submetidas a cinco potenciais osmóticos diferentes, e as características fisiológicas avaliadas foram comprimento de parte aérea, comprimento de parte radicular, comprimento total, biomassa seca e biomassa fresca. Ao final de todos os testes, os autores observaram que os genótipos avaliados apresentaram comportamentos diferenciados perante o estresse hídrico, e que a cultivar UFUS Riqueza apresentou melhor desempenho nos testes de comprimento de plântulas, biomassa fresca e seca.

Machado et al. (2016) conduziram um experimento no qual foi avaliada a germinação de sementes de soja sob estresse hídrico induzido por PEG. Neste estudo, utilizaram três cultivares em cinco níveis de potenciais osmóticos. Esses autores concluíram que a germinação e o crescimento de plântulas de soja são reduzidos à medida que a concentração de PEG aumenta e o potencial osmótico diminui, e que estes fatores estão

relacionados à qualidade inicial do lote de sementes. Além disso, a cultivar UFUS Xavante apresentou maior estabilidade de germinação e crescimento em condições de déficit hídrico.

Por outro lado, Zoz et al. (2013) avaliando a atividade da enzima peroxidase como um indicador de tolerância ao déficit hídrico em cultivares de soja, avaliaram quatro cultivares em dois regimes de água diferentes e concluíram que as cultivares apresentaram respostas variáveis à atividade da enzima peroxidase e que esta variável pode ser utilizada na seleção de genótipos de soja com maior tolerância a seca.

Dantas et al. (2017) realizaram um experimento com 13 cultivares de soja submetidas a quatro potenciais osmóticos induzidos por PEG 6000, visando a identificação do potencial ideal e das principais características que permitem a discriminação de genótipos de soja com tolerância ao estresse hídrico durante testes de germinação e vigor. Os pesquisadores concluíram que o potencial $-0,2$ MPa possibilitou a identificação de variabilidade genética entre as cultivares e que o percentual de germinação e as análises de reservas das sementes são variáveis potenciais a serem consideradas no processo de seleção de genótipos tolerantes ao estresse hídrico durante a germinação.

Silva (2017) avaliou respostas morfológicas, anatômicas e fisiológicas em folhas e raízes de duas cultivares de soja pelo cultivo das mesmas em solução nutritiva com adição de PEG 6000 como agente simulador do déficit hídrico. Foram utilizadas três situações, sendo controle (sem PEG 6000), déficit moderado ($-0,3$ MPa) e déficit severo ($-0,6$ MPa). Os autores concluíram que a cultivar BRS16 apresentou maior relação massa seca raízes/parte aérea, maior eficiência no uso da água e na concentração de carbono interno, enquanto que a cultivar E48 apresentou maior densidade estomática, maior peroxidação lipídica e atividade enzimática e redução da eficiência no uso da água e concentração de carbono interno.

2.5. Metodologias multivariadas para estudo da diversidade genética

A diversidade genética é uma forma importante das espécies manterem sua capacidade natural de responder a todos os tipos de estresses bióticos e abióticos. O conhecimento da diversidade genética de uma espécie é essencial para a utilização, gerenciamento e conservação dos recursos genéticos. Estudos de diversidade têm sido utilizados como uma ferramenta na identificação de combinações híbridas adequadas, avaliação da evolução das plantas, identificação de conjunto gênico mais amplo e a viabilidade de cruzamentos (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2011).

Os estudos de diversidade genética auxiliam na escolha dos genitores utilizados nas hibridações, uma vez que cruzamentos entre genótipos distintos geneticamente são considerados mais promissores para originar descendentes superiores por terem uma maior probabilidade de rearranjar alelos em novas combinações favoráveis (NOGUEIRA, 2011).

Nos estudos de diversidade genética podem ser empregadas diversas metodologias, sendo que as mais utilizadas são os métodos multivariados, como agrupamentos hierárquicos e de otimização, as variáveis canônicas e os componentes principais, onde consegue-se unificar múltiplas informações de um conjunto de variáveis de interesse (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2011).

Os métodos de agrupamento dependem de medidas de dissimilaridade que são previamente estimadas entre os genótipos, sendo as mais utilizadas a distancia Euclidiana e a distancia generalizada de Mahalanobis (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Nos métodos hierárquicos os genótipos são agrupados por um processo que se repete sucessivamente até que seja construído um dendrograma, sendo que dentro as diversas metodologias, a da ligação média entre pares de grupos não ponderado (UPGMA) é uma das mais utilizadas para a identificação de grupos de genótipos similares (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

Nos métodos de agrupamento de otimização ocorre uma partição do conjunto de

genótipos em subgrupos não vazios e mutuamente exclusivos, pela maximização ou minimização de alguma medida de dissimilaridade preestabelecida. Entre estes, o método de Tocher é o mais utilizado no melhoramento genético e usa o critério de estabelecimento de grupos de forma que a média intragrupo seja sempre inferior a qualquer distância média intergrupo (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

A análise de componentes principais é um método multivariado que consiste em transformar um conjunto de p variáveis originais $X_1, X_2, \dots, X_p$, pertencentes a n indivíduos ou populações, em um novo conjunto de variáveis, $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$, de dimensão equivalente, chamados de componentes principais. Cada componente principal é uma combinação linear das variáveis originais, construído de maneira a explicar o máximo da variabilidade total dessas variáveis originais. Os componentes principais são obtidos em ordem decrescente de máxima variância, ou seja, o componente principal 1 detém mais informação estatística que o componente 2, que por sua vez tem mais informação que o 3 e assim por diante (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Dantas et al. (2017), em estudo com treze cultivares de soja submetidas a quatro potenciais osmóticos induzidos por PEG 6000, utilizaram a metodologia de agrupamento UPGMA para identificar o potencial mais adequado para a distinção de genótipos tolerantes. Os pesquisadores concluíram que o potencial $-0,2$ MPa é o mais eficiente para a exploração da variabilidade genética entre genótipos de soja.

Partheeban et al. (2017) utilizaram a análise de componentes principais para estudar os efeitos do déficit hídrico em características de emergência e crescimento de quatro genótipos de milho, e a utilização desta metodologia permitiu a separação dos genótipos em grupos caracterizados como sensíveis e tolerantes, além da identificação de duas cultivares tolerantes e promissoras para serem utilizadas em hibridações futuras.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Análise de Sementes (LASEM), pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) localizado na Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.

Foram avaliados 16 genótipos de soja (TMG 801, TMG 2158 IPRO, BRS 7270 IPRO, NA 5909 RG, NS 6909 IPRO, UFUS Tikuna, UFUS 7415, UFUS 7401, BMX Desafio RR, BRSMG 68, UFU_P18, UFU_P39, UFU_P34, UFU_P2, UFU_P32, UFU_P10) submetidos a duas condições de disponibilidade hídrica (0 MPa e -0,2 MPa), constituído um fatorial 2x16 avaliado em delineamento de blocos completos casualizados com quatro repetições. Os potenciais osmóticos foram obtidos com a adição de PEG 6000 nas soluções.

Anterior à instalação do experimento, foram avaliadas a porcentagem de germinação e emergência das cultivares pela semeadura de 200 sementes em rolo de papel (*Germistet*) em germinadores durante 5 dias a 25°C, conforme determinação das Regras para Análise de Sementes (RAS). Apenas as cultivares que apresentaram porcentagem de germinação e emergência superiores a 80% foram selecionadas para o experimento.

A quantidade de PEG 6000 solubilizada em água deionizada foi determinada recorrendo-se à equação proposta por Michel e Kaufmann (1973), bem como pelos procedimentos empregados por Braccini et al. (1996) e Teixeira et al. (2008), de acordo com a fórmula a seguir:

$$\Psi_{os} = - (1,18 \times 10^{-2}) C - (1,18 \times 10^{-4}) C^2 + (2,67 \times 10^{-4}) CT + (8,39 \times 10^{-7}) C^2$$

Em que:

Ψ_{os} : potencial osmótico (bar);

C: concentração do agente osmótico (gramas de PEG 6000 L⁻¹ de água);

T: temperatura (° C)

Após o preparo das soluções com PEG 6000, as folhas *Germistet* foram embebidas em suas respectivas soluções. O experimento foi dividido em duas etapas, sendo um teste de germinação de sementes e um teste de crescimento de plântulas.

As parcelas foram constituídas por rolos formados por três folhas de papel *Germistet*, sendo que duas foram sobrepostas e serviram de suporte, e a terceira foi utilizada para cobrir as sementes, evitando que estas caíssem. Para o teste de germinação foram distribuídas 50 sementes uniformemente por toda a extensão das folhas, já no teste de crescimento de plântulas distribuí-se 20 sementes na porção central das folhas, com as micrópilas voltadas para baixo.

Os tratamentos foram colocados em sacos plásticos para que fosse formado um microambiente, preservando dentro da embalagem apenas o potencial a ser testado naquela parcela. As parcelas foram mantidas no germinador por um período de cinco dias em temperatura constante de 25°C.

Após os cinco dias, foram realizadas as seguintes avaliações, seguindo as determinações da Regra para Análise de Sementes (RAS):

a) Teste de germinação (GERM): foi feita a contagem de plântulas normais (plântulas como todas as suas estruturas essenciais - sistema radicular, parte aérea, cotilédones - bem desenvolvidas, completas, proporcionais e sadias) e anormais (plântulas que não mostram potencial para continuar seu desenvolvimento e dar origem a plantas normais, mesmo em condições favoráveis)

b) Comprimento total de plântulas (CT): todas as plântulas normais tiveram seu comprimento total aferido com o auxílio de uma régua milimetrada.

c) Comprimento radicular de plântulas (CR): aferição da porção radicular de todas as plântulas normais.

d) Comprimento de parte aérea de plântulas (CPA): todas as plântulas normais tiveram sua parte aérea (excluindo-se os cotilédones) aferida.

e) Matéria fresca de parte aérea de plântulas (MFPA): após a avaliação todas as plântulas normais foram divididas em parte aérea e radicular, os cotilédones foram descartados e foi determinada a massa de matéria fresca da parte aérea.

f) Matéria fresca de raiz de plântulas (MFR): foi realizada a determinação da massa de matéria fresca das raízes das plântulas normais.

g) Matéria fresca total de plântulas (MFT): determinação da massa de matéria fresca da parte aérea e radicular das plântulas normais, excluindo-se os cotilédones.

h) Matéria seca de parte aérea de plântulas (MSPA): cada amostra de plântulas normais, após a determinação da massa da matéria fresca de parte aérea, foi colocada em uma estufa de circulação forçada de ar por um período de 24 horas à 80°C, e, por fim, foi feita a determinação da massa da matéria seca.

i) Matéria seca de raiz de plântulas (MSR): foi feita a determinação da massa de matéria seca da porção radicular das plântulas normais após secagem em estufa de circulação forçada, de forma semelhante ao método utilizado para a parte aérea.

j) Matéria seca total de plântulas (MST): determinação da massa de matéria seca das porções de parte aérea e raízes das plântulas normais após procedimento de secagem em estufa de circulação forçada.

Para todas os procedimentos de determinação de massa de matéria fresca e seca foi utilizada balança analítica com precisão de três casas decimais.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, agrupamento de médias e análises multivariadas utilizando o Programa GENES (CRUZ, 2016).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se a existência de interação significativa entre genótipos e potenciais osmóticos para os caracteres comprimento de raiz, matéria fresca de parte aérea, matéria fresca total e matéria seca de raiz (Tabela 1), indicando que o comportamento de cada genótipo depende do potencial osmótico. Os demais caracteres avaliados foram influenciados pelos fatores isoladamente.

Tabela 1. Resumo da análise de variância de caracteres de plântulas de soja provenientes de dezesseis genótipos submetidos a dois potenciais osmóticos induzidos PEG 6000

Fonte de variação	GL	QUADRADOS MÉDIOS				
		CPA	CR	CT	MFPA	MFR
Blocos	3	4,125	11,665	28,229	0,732	0,151
Genótipos (G)	15	1,320**	4,956**	9,340**	0,711**	0,152**
Potenciais osmóticos (PO)	1	374,258**	354,754**	1457,676**	146,438**	4,005**
PO x G	15	0,210 ^{ns}	1,394*	1,341 ^{ns}	0,564**	0,048 ^{ns}
Erro	93	0,333	0,744	1,405	0,165	0,032

Fonte de variação	GL	QUADRADOS MÉDIOS				
		MFT	MSPA	MSR	MST	%GERM
Blocos	3	1,459	0,005	0,000	0,011	230,064
Genótipos (G)	15	1,326**	0,004**	0,001**	0,009**	948,788**
Potenciais osmóticos (PO)	1	198,866**	0,312**	0,001 ^{ns}	0,349**	11577,360**
PO x G	15	0,767**	0,001 ^{ns}	0,000*	0,002 ^{ns}	155,754 ^{ns}
Erro	93	0,275	0,001	0,000	0,002	171,697

GL: graus de liberdade; CPA: comprimento da parte aérea; CR: comprimento de raiz; CT: comprimento total da plântula; MFPA: matéria fresca de parte aérea; MFR: matéria fresca de raiz; MFT: matéria fresca total; MSPA: matéria seca de parte aérea; MSR: matéria seca de raiz; MST: matéria seca total; GERM: percentual de germinação de sementes.

** e *: Significativo pelo teste F ao nível de 1 e 5%, respectivamente.

Vieira et al. (2013), em experimento com cinco cultivares submetidas a cinco potenciais osmóticos, também verificaram a existência de interação significativa entre potenciais e cultivares para a matéria fresca total, enquanto que Machado et al. (2016) em estudo com três cultivares de soja e cinco potenciais relatam existência de interação significativa para o percentual de germinação e comprimento total de plântulas.

O coeficiente de variação (CV) consiste numa estimativa do erro experimental em relação à média geral do ensaio, considerando-se que quanto menor a estimativa do CV, maior a precisão do experimento, e, quanto maior a precisão, maior a qualidade experimental e menores diferenças entre estimativas de médias serão significativas (FILHO

CARGNELUTTI; STORCK, 2007).

Na Tabela 2 observou-se que os coeficientes de variação oscilaram de 12,36 a 33,29%, sendo que os menores valores foram obtidos para comprimento total (12,36%) e comprimento radicular (13,33%), indicando boa precisão experimental para estas características. Teixeira et al (2008) também obtiveram valores de CV semelhantes, variando de 9 a 24% para o potencial -0,2 MPa, avaliando a redução no comprimento total, matéria seca total e germinação de 21 cultivares de soja submetidas a quatro potenciais osmóticos.

Tabela 2. Coeficientes de variação e determinação genotípica para germinação e caracteres de plântulas em cultivares de soja

Caracteres	CV (%)	H ² (%)
Comprimento de parte aérea	18,51	74,75
Comprimento de raiz	13,33	84,99
Comprimento total	12,36	84,95
Matéria fresca de parte aérea	29,14	76,73
Matéria fresca de raiz	29,40	78,67
Matéria fresca total	26,10	79,25
Matéria seca de parte aérea	33,29	67,93
Matéria seca de raiz	26,25	77,37
Matéria seca total	25,20	77,92
Germinação	17,51	81,90

CV: coeficiente de variação; H²: coeficiente de determinação genotípica.

Os coeficientes de determinação genotípica (H²) oscilaram de 67,93% (MSPA) a 84,99% (CR), sendo que resultados acima de 70% expressam a proporção da variabilidade fenotípica que se deve às variações genéticas. Estes resultados indicam que existe maior influência do componente genético nesses caracteres, e uma menor interferência ambiental (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Resultados semelhantes foram obtidos por Martins et al. (2016) em experimento realizado para identificação de testes laboratoriais adequados para seleção de linhagens de soja com sementes de maior germinação, vigor e desempenho em campo.

Para todos os genótipos houve redução do comprimento radicular em condição de déficit hídrico (-0,2 MPa) quando comparado a condição de controle (0,0 MPa) (Tabela 3).

Tabela 3. Comprimento de raiz de plântulas de soja (cm) submetidas a dois potenciais osmóticos induzidos por PEG 6000

Genótipos	Potenciais osmóticos (MPa)		Média
	0,0	-0,2	
UFU_P18	6,72Ab	2,65Bc	4,69
UFU_P39	8,79Aa	4,22Bb	6,51
UFU_P34	7,14Ab	4,15Bb	5,65
UFU_P2	7,80Ab	5,53Ba	6,67
TMG 801	7,59Ab	4,12Bb	5,86
NS 6909 IPRO	8,58Aa	5,40Ba	6,99
BRSMG 68	9,20Aa	5,37Ba	7,29
UFU_P32	8,69Aa	5,98Ba	7,33
BRS 7270 IPRO	8,49Aa	6,71Ba	7,60
TMG 2158 IPRO	8,13Aa	4,81Ba	6,47
BMX Desafio RR	7,39Ab	3,17Bc	5,28
NA 5909 RG	8,96Aa	4,89Ba	6,93
UFUS 7401	8,23Aa	5,14Ba	6,68
UFUS 7415	8,76Aa	4,28Bb	6,52
UFUS Tikuna	8,09Aa	5,86Ba	6,97
UFU_P10	7,58Ab	4,58Bb	6,08
Média	8,13	4,80	

Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Observou-se a formação de dois grupos para o potencial 0,0 MPa, cujas médias do primeiro grupo oscilaram de 8,09 a 9,20 para as cultivares UFUS Tikuna e BRSMG 68, respectivamente. As médias do segundo grupo oscilaram de 6,72 a 7,80 respectivamente para as cultivares UFU_P18 e UFU_P2.

Para o potencial -0,2 MPa observou-se a formação de três grupos, nos quais o primeiro grupo teve médias oscilando de 5,14 a 6,71 para as cultivares UFUS 7401 e BRS 7270 IPRO, o grupo dois de 4,12 a 4,58 para os genótipos TMG 801 e UFU_P10, respectivamente, e o grupo três foi composto pelos genótipos BMX Desafio RR e UFU_P18, com médias de 3,17 e 2,65, respectivamente.

Vieira et al. (2013) e Teixeira et al. (2008) observaram redução do comprimento radicular de plântulas de soja a medida que o potencial osmótico se tornava negativo, e, portanto, a restrição hídrica mais severa. Tal redução se deve ao fato de que diversos processos relacionados ao crescimento, alongamento celular e síntese de parede são

extremamente sensíveis ao déficit hídrico e a interferência nesses processos causa uma diminuição da expansão celular, que por sua vez afeta o processo de crescimento da plântula.

Diversos trabalhos têm considerado o comprimento radicular o caráter mais sensível para a diferenciação da qualidade fisiológica de sementes, pois os genótipos tolerantes à seca emitem raízes mesmo em condições adversas, permitindo sua diferenciação dos genótipos sensíveis, que só emitem raízes em condições ideais de cultivo. (ECHER et al., 2010).

Com relação a matéria fresca de parte aérea (Tabela 4) e matéria fresca total (Tabela 5) observou-se que para o potencial -0,2 MPa não foi possível distinguir os genótipos em grupos.

Tabela 4. Matéria fresca de parte aérea de plântulas de soja (g) submetidas a dois potenciais osmóticos induzidos por PEG 6000

Genótipos	Potenciais osmóticos (MPa)		Média
	0,0	-0,2	
UFU_P18	2,45Ac	0,25Ba	1,35
UFU_P39	2,02Ac	0,26Ba	1,14
UFU_P34	1,86Ac	0,34Ba	1,10
UFU_P2	2,26Ac	0,44Ba	1,35
TMG 801	2,90Ab	0,23Ba	1,57
NS 6909 IPRO	2,27Ac	0,48Ba	1,37
BRSMG 68	2,77Ab	0,38Ba	1,57
UFU_P32	2,82Ab	0,32Ba	1,57
BRS 7270 IPRO	3,72Aa	0,57Ba	2,15
TMG 2158 IPRO	3,46Aa	0,26Ba	1,86
BMX Desafio RR	2,07Ac	0,26Ba	1,17
NA 5909 RG	2,52Ac	0,27Ba	1,40
UFUS 7401	1,98Ac	0,31Ba	1,14
UFUS 7415	2,51Ac	0,30Ba	1,41
UFUS Tikuna	1,99Ac	0,41Ba	1,20
UFU_P10	1,86Ac	0,15Ba	1,01
Média	2,47	0,33	

Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Para a matéria fresca de parte aérea (Tabela 4) em potencial 0,0 MPa os genótipos se dividiram em três grupos, sendo que o primeiro grupo foi constituído apenas pelas cultivares TMG 2158 IPRO e BRS 7170 IPRO, com médias de 3,46 e 3,72, respectivamente. O segundo grupo teve médias oscilando de 2,77 a 2,90 respectivamente para as cultivares BRSMG 68 e TMG 801, já o terceiro grupo teve médias oscilando de 1,86, para as linhagens UFU_P34 e

UFU_P10, a 2,52 para a cultivar NA 5909 RG.

No caso da matéria fresca total também ocorreu a formação de três grupos em potencial 0,0 MPa. O primeiro grupo foi novamente constituído pelas cultivas TMG 2158 IPRO e BRS 7270 IPRO, com as médias de 4,43 e 4,71, respectivamente. O segundo grupo teve médias oscilando de 3,48 a 3,88 para os genótipos UFUS 7415 e BRSMG 68, respectivamente, e o grupo três foi composto por nove genótipos, com médias oscilando de 2,43 a 3,09.

Tabela 5. Matéria fresca total de plântulas de soja (g) submetidas a dois potenciais osmóticos induzidos por PEG 6000

Genótipos	Potenciais osmóticos (MPa)		Média
	0,0	-0,2	
UFU_P18	3,06Ac	0,54Ba	1,80
UFU_P39	2,67Ac	0,65Ba	1,66
UFU_P34	2,43Ac	0,66Ba	1,54
UFU_P2	2,90Ac	0,83Ba	1,87
TMG 801	3,81Ab	0,63Ba	2,22
NS 6909 IPRO	3,09Ac	1,06Ba	2,08
BRSMG 68	3,88Ab	0,95Ba	2,42
UFU_P32	3,57Ab	0,99Ba	2,28
BRS 7270 IPRO	4,71Aa	1,16Ba	2,94
TMG 2158 IPRO	4,43Aa	0,72Ba	2,57
BMX Desafio RR	2,67Ac	0,47Ba	1,57
NA 5909 RG	3,54Ab	0,79Ba	2,16
UFUS 7401	2,73Ac	0,87Ba	1,80
UFUS 7415	3,48Ab	0,61Ba	2,04
UFUS Tikuna	2,62Ac	0,74Ba	1,68
UFU_P10	2,50Ac	0,53Ba	1,52
Média	3,26	0,76	

Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Schuab et al. (2007) em estudo para avaliação de seis cultivares de soja submetidas a seis potenciais osmóticos induzidos por PEG 6000, observaram a formação de três grupos para o caráter matéria fresca de plântulas, com médias oscilando de 0,0356 a 0,0499 g. Os resultados diferem dos encontrados neste estudo para matéria fresca total de plântulas.

A matéria seca de raiz (Tabela 6) segue o mesmo padrão de resultados já mencionado para os caracteres anteriores, apresentando redução no potencial de -0,2 MPa para todos os

genótipos avaliados.

Observou-se a formação de dois grupos para os dois potenciais osmóticos, sendo que em 0,0 MPa o primeiro grupo foi composto por cinco genótipos e apresentou médias oscilando de 0,07 (NS 6909 IPRO) a 0,09 (NS 5909 RG, BRSMG 68 e BRS 7270 IPRO), e o segundo grupo foi composto por onze genótipos e teve médias oscilando de 0,05 (UFU_P10, UFUS Tikuna, UFU_P34 e UFU_P39) a 0,07 (TMG 2158 IPRO, NS 6909 IPRO e UFU_P2).

Em potencial osmótico de -0,2 MPa o primeiro grupo foi constituído por sete genótipos, com médias oscilando de 0,06 (TMG 801) a 0,08 (NS 6909 IPRO, BRS 7270 IPRO, TMG 2158 IPRO e NS 5909 RG). Já o segundo grupo foi composto por nove genótipos, com médias oscilando de 0,04 (UFU_P18 e UFU_P34) a 0,07 (UFU_P39 e UFUS 7401).

Tabela 6. Matéria seca de raiz de plântulas de soja (g) submetidas a dois potenciais osmóticos induzidos por PEG 6000

Genótipos	Potenciais osmóticos (MPa)		Média
	0,0	-0,2	
UFU_P18	0,06Ab	0,04Ab	0,05
UFU_P39	0,05Bb	0,07Aa	0,06
UFU_P34	0,05Ab	0,04Ab	0,04
UFU_P2	0,07Ab	0,05Ab	0,06
TMG 801	0,06Ab	0,06Aa	0,06
NS 6909 IPRO	0,07Aa	0,08Aa	0,07
BRSMG 68	0,09Aa	0,05Bb	0,07
UFU_P32	0,06Ab	0,06Ab	0,06
BRS 7270 IPRO	0,09Aa	0,08Aa	0,08
TMG 2158 IPRO	0,07Ab	0,08Aa	0,07
BMX Desafio RR	0,06Ab	0,05Ab	0,05
NA 5909 RG	0,09Aa	0,08Aa	0,09
UFUS 7401	0,06Ab	0,07Aa	0,06
UFUS 7415	0,08Aa	0,05Bb	0,07
UFUS Tikuna	0,05Ab	0,06Ab	0,05
UFU_P10	0,05Ab	0,05Ab	0,05
Média	0,07	0,06	

Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

De acordo com Vieira et al. (2013), a matéria seca nas plântulas consiste em tudo que se encontra na planta (carboidratos, proteínas, lipídeos e nutrientes minerais) com exceção da

água, e, portanto, o desenvolvimento das plântulas pode ser medido pela quantidade de matéria seca nas mesmas. A baixa disponibilidade de água reduz a velocidade de processos fisiológicos, levando as plântulas a terem um menor desenvolvimento, o que resulta em menor comprimento e menor acúmulo de biomassa seca, no entanto, plântulas que apresentam tolerância ao déficit hídrico tem aumento nessas variáveis.

Na Tabela 7 encontram-se os resultados cuja interação foi não significativa, e observou-se a formação de dois grupos distintos para todas as características, exceto para matéria seca de parte aérea.

Tabela 7. Caracteres fenotípicos de plântulas de soja submetidas a dois potenciais osmóticos induzidos por PEG 6000

Genótipos	CPA	CT	MFR	MSPA	MST	GERM
UFU_P18	2,73b	7,42b	0,45b	0,10a	0,16b	62,75b
UFU_P39	3,15b	9,66a	0,52b	0,09a	0,15b	81,17a
UFU_P34	2,85b	8,49b	0,45b	0,09a	0,13b	58,00b
UFU_P2	3,51a	10,17a	0,52b	0,10a	0,16b	71,50b
TMG 801	2,84b	8,70b	0,65a	0,15a	0,22a	58,00b
NS 6909 IPRO	3,51a	10,50a	0,70a	0,15a	0,23a	81,75a
BRSMG 68	3,02b	10,31a	0,84a	0,14a	0,21a	78,50a
UFU_P32	3,22b	10,55a	0,71a	0,12a	0,18b	83,33a
BRS 7270 IPRO	3,87a	11,47a	0,79a	0,15a	0,24a	93,75a
TMG 2158 IPRO	3,57a	10,04a	0,71a	0,14a	0,21a	82,33a
BMX Desafio RR	2,82b	8,10b	0,40b	0,11a	0,17b	77,00a
NA 5909 RG	3,04b	9,96a	0,77a	0,12a	0,21a	88,67a
UFUS 7401	2,60b	9,28b	0,66a	0,09a	0,15b	79,92a
UFUS 7415	2,71b	9,23b	0,64a	0,12a	0,19a	61,75b
UFUS Tikuna	3,74a	10,72a	0,48b	0,10a	0,15b	71,83b
UFU_P10	2,71b	8,79b	0,51b	0,08a	0,13b	66,75b
Potenciais						
0,0	4,83A	12,96A	0,79A	0,17A	0,23A	84,32A
-0,2	1,41B	6,21B	0,44B	0,07B	0,13B	65,30B

Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas entre genótipos e maiúsculas entre potenciais, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

CPA: comprimento da parte aérea; CT: comprimento total da plântula; MFR: matéria fresca de raiz; MSPA: matéria seca de parte aérea; MST: matéria seca total; GERM: percentual de germinação de sementes.

A distribuição dos genótipos nos grupos ocorreu de forma semelhante para todos os caracteres, sendo que as cultivares BRS 7270 IPRO, NS 6909 IPRO e TMG 2158 IPRO pertenceram ao primeiro grupo em todas as características, e as linhagens UFU_P18, UFU_P34 e UFU_P10 pertenceram ao segundo grupo em todas as características, com exceção da matéria seca de parte aérea, onde houve a formação de apenas um grupo.

A caracterização de cultivares de soja quanto às respostas fenotípicas frente aos estresses abióticos, como o déficit hídrico, é fundamental para disponibilizar informações sobre o potencial de cada genótipo para fins de melhoramento. Neste contexto, o uso de análises multivariadas, como os estudos de divergência genética, permite uma análise global dos resultados, sendo assim útil para tomada de decisão, especialmente na fase de seleção de genitores. A divergência genética fornece parâmetros para a identificação de combinações híbridas cujos cruzamentos proporcionem maiores efeitos heteróticos e maior probabilidade de obtenção de genótipos superiores nas gerações segregantes (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

Existem diversas metodologias multivariadas que podem ser utilizadas para o estudo da divergência genética, entre elas a análise por componentes principais, as variáveis canônicas e os métodos de agrupamento. Os métodos de agrupamento separam um grupo original em vários subgrupos, de forma a obter homogeneidade dentro dos subgrupos e heterogeneidade entre eles. Entre os métodos de agrupamento, os hierárquicos e os de otimização são os mais empregados pelos melhoristas de plantas (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Os métodos de agrupamento hierárquico ou de otimização são realizados a partir de medidas de dissimilaridade, como por exemplo a distância euclidiana. (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014). Na Tabela 8 consta a matriz de dissimilaridade genética dos 16 genótipos de soja submetidos a dois potenciais osmóticos obtida com base na distância euclidiana média padronizada.

Tabela 8. Matriz de dissimilaridade genética com base na distância euclidiana média padronizada para 16 genótipos de soja em dois potenciais osmóticos

Genótipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
UFU_P18		1,84	0,70	0,75	0,95	1,82	3,53	1,67	4,66	2,76	0,26	2,54	1,01	1,72	1,47	0,63
UFU_P39	0,31		1,07	0,57	2,05	1,10	3,18	0,87	4,61	3,04	0,82	2,21	0,60	1,63	0,13	0,68
UFU_P34	0,23	0,28		1,00	2,36	2,61	5,27	2,38	7,09	4,68	0,3	3,8	0,50	2,73	0,86	0,08
UFU_P2	0,47	0,34	0,27		1,04	0,51	2,27	0,58	3,10	1,98	0,38	1,34	0,67	0,94	0,35	0,68
TMG 801	0,44	0,33	0,38	0,48		0,85	1,17	0,63	1,90	0,62	1,17	1,07	1,77	0,66	1,92	1,81
NS 6909 IPRO	0,73	0,52	0,58	0,45	0,43		0,80	0,28	1,67	1,07	1,34	0,46	1,56	0,43	1,07	1,89
BRSMG 68	0,45	0,31	0,29	0,25	0,38	0,41		1,08	0,97	0,83	3,37	0,28	3,3	0,52	3,42	4,16
UFU_P32	0,54	0,34	0,40	0,3	0,47	0,44	0,15		1,63	0,72	1,23	0,86	1,49	0,62	0,94	1,72
BRS 7270 IPRO	0,80	0,56	0,63	0,43	0,57	0,21	0,41	0,4		0,50	4,83	1,49	5,38	1,96	4,44	6,06
TMG 2158 IPRO	0,49	0,20	0,39	0,32	0,34	0,38	0,32	0,32	0,42		2,89	1,25	3,59	1,25	2,92	3,85
BMX Desafio RR	0,19	0,28	0,24	0,45	0,30	0,63	0,44	0,53	0,72	0,41		2,34	0,49	1,54	0,62	0,16
NA 5909 RG	0,50	0,22	0,41	0,38	0,28	0,35	0,29	0,3	0,4	0,13	0,41		2,01	0,13	2,40	2,88
UFUS 7401	0,44	0,23	0,34	0,34	0,31	0,40	0,16	0,19	0,43	0,25	0,40	0,17		1,26	0,73	0,24
UFUS 7415	0,26	0,24	0,18	0,36	0,24	0,54	0,31	0,41	0,60	0,36	0,15	0,33	0,28		1,83	1,95
UFUS Tikuna	0,55	0,37	0,36	0,14	0,50	0,45	0,35	0,38	0,43	0,30	0,50	0,39	0,40	0,43		0,60
UFU_P10	0,24	0,24	0,23	0,39	0,43	0,68	0,36	0,40	0,71	0,40	0,29	0,41	0,34	0,25	0,45	

Valores acima da diagonal referem-se ao potencial 0,0 MPa, e valores abaixo da diagonal referem-se ao potencial -0,2 MPa. Distância euclidiana obtida a partir das médias de nove caracteres de plântulas de 16 genótipos de soja submetidos a dois potenciais osmóticos (0,0 e -0,2 MPa) induzidos por PEG 6000.

Para o potencial 0,0 MPa (acima da diagonal) a maior distância foi observada entre a linhagem UFU_P34 e a cultivar BRS 7270 IPRO, com um valor de 7,09, indicando a dissimilaridade entre estes genótipos, enquanto que a menor distancia foi apresentada pelas linhagens UFU_P10 e UFU_P34. Já para o potencial -0,2 MPa (abaixo da diagonal) a maior distância encontrada foi entre a linhagem UFU_P18 e a cultivar BRS 7270 IPRO, e a menor entre as cultivares TMG 2158 IPRO e NA 5909 RG.

Após a obtenção da matriz de dissimilaridade procedeu-se a análise de agrupamentos pelo método hierárquico da ligação média entre grupo (UPGMA) para os nove caracteres avaliados sob potencial 0,0 MPa (Figura 1) e -0,2 MPa (Figura 2).

Nos métodos de agrupamento hierárquicos os indivíduos são agrupados por um processo que se repete em vários níveis até que seja estabelecido um dendrograma, que pode ser considerado a representação simplificada da matriz de dissimilaridade. O método da ligação média entre grupos (UPGMA) considera médias aritméticas das medidas de

dissimilaridade em sua análise, o que evita a caracterização da dissimilaridade por valores extremos entre os indivíduos considerados (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

As delimitações dos grupos obtidos nos dendrogramas gerados pelos métodos de agrupamento hierárquicos podem ser estabelecidas por um exame visual e de maneira subjetiva, em que se avaliam os pontos de alta mudança de nível, tomando-os em geral como delimitadores do número de genótipos para determinado grupo (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Para o potencial 0,0 MPa (Figura 1), ao se realizar um corte em 32% da distância, os genótipos foram separados em cinco grupos, sendo que a cultivar TMG 801 permaneceu em um grupo isolado, sendo, portanto, distinta das demais.

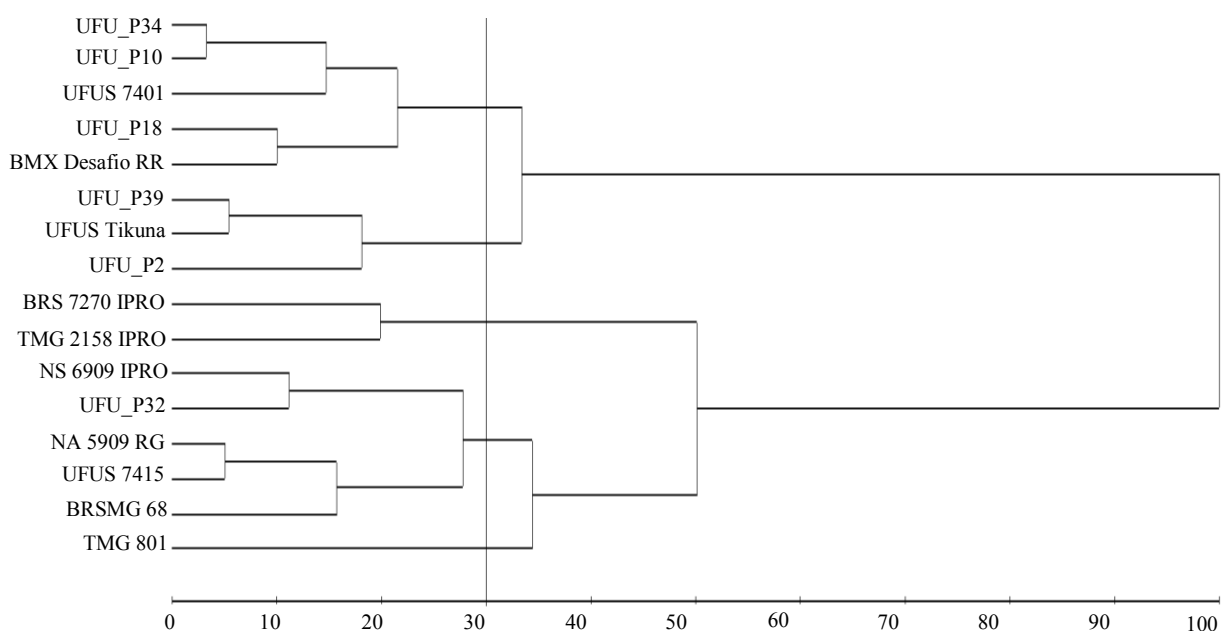


Figura 1. Dendrograma ilustrativo da análise de 16 genótipos de soja pelo método de ligação média entre grupo (UPGMA) obtido a partir da distância euclidiana média padronizada para nove caracteres de plântulas sob potencial osmótico 0,0 MPa.

Na Figura 2 está apresentado o dendrograma obtido para o potencial de -0,2 MPa, no qual observou-se que com um corte em 52% houve formação de seis grupos distintos. A cultivar TMG 801 permaneceu em um grupo isolado, comprovando sua dissimilaridade genética das demais, fato já evidenciado no dendrograma referente ao potencial 0,0 MPa. As

linhagens UFU_P34, UFU_P18 e UFU_P10 e a cultivar BMX Desafio RR permaneceram nos mesmos grupos em condições de controle e de estresse, bem como a linhagem UFU_P2 e cultivar UFUS Tikuna, o que evidencia a proximidade genética entre estes genótipos.

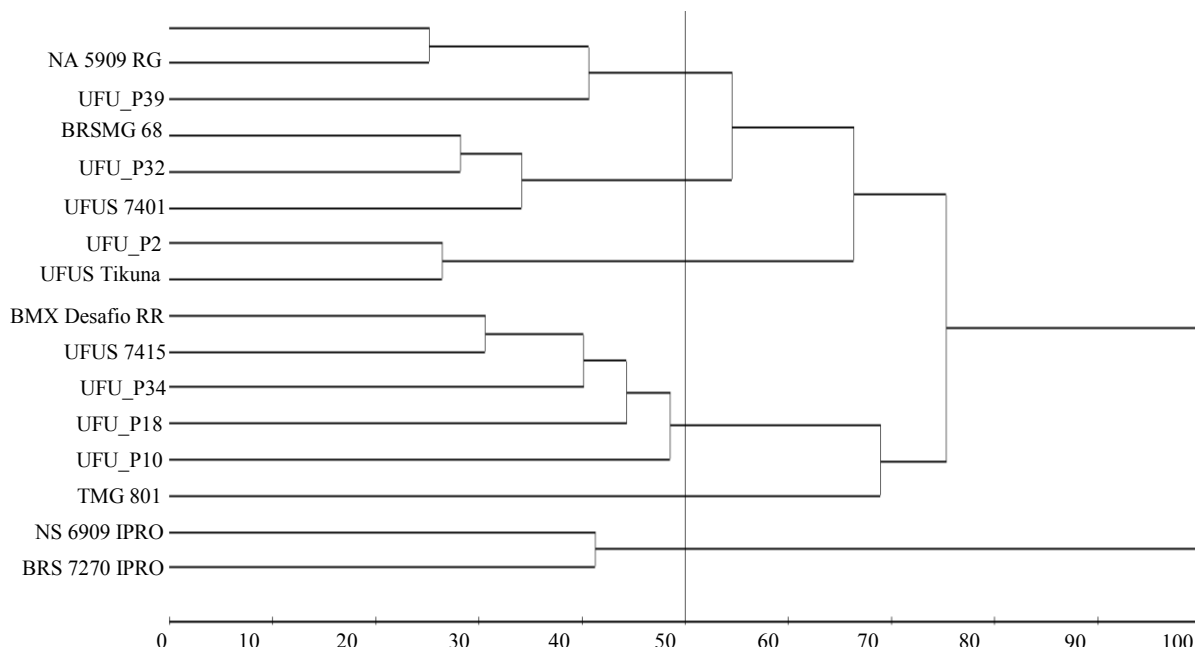


Figura 2. Dendrograma ilustrativo da análise de 16 genótipos de soja pelo método de ligação média entre grupo (UPGMA) obtido a partir da distância euclidiana média padronizada para nove caracteres de plântulas sob potencial osmótico -0,2 MPa.

Vale et al. (2012) fizeram uso de metodologia semelhante para a avaliação e classificação de genótipos de feijão em tolerantes e sensíveis ao déficit hídrico para uso em blocos de cruzamento. A utilização da distância de Mahalanobis e do método de agrupamento UPGMA tornaram possível a formação de grupos e a discriminação dos genótipos, facilitando a identificação dos mais tolerantes ao déficit hídrico.

Além dos métodos de agrupamento hierárquicos também são utilizados os métodos de otimização, como o método de Tocher. Esta metodologia se baseia na formação de grupos cujas distâncias dentro dos grupos sejam menores que as distancias entre grupos (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2011).

Na Tabela 9 observou-se que os genótipos foram separados em sete grupos pelo método de otimização de Tocher para o potencial de 0,0 MPa. Os genótipos foram divididos

de forma semelhante ao que foi observado no método de UPGMA, em que a cultivar TMG 801 permaneceu em um grupo isolado, enquanto as linhagens UFU_P34, UFU_P10, BMX Desafio RR e UFUS 7401 (Grupo I), e UFU_P39, UFU_P2 e UFUS Tikuna (Grupo III) permaneceram nos mesmos grupos, evidenciando novamente a proximidade genética entre estes genótipos.

Tabela 9. Agrupamento de Tocher obtido a partir da distância euclidiana média padronizada em dezesseis genótipos de soja para nove caracteres de plântulas sob potencial osmótico de 0,0 MPa

Grupos	Genótipos
I	UFU_P34, UFUS_P10, BMX Desafio RR, UFUS 7401
II	NA 5909 RG, UFUS 7415, BRSMG 68, NS 6909 IPRO
III	UFU_P39, UFUS Tikuna, UFU_P2
IV	BRS 7270 IPRO, TMG 2158 IPRO
V	UFU_P32
VI	TMG 801
VII	UFU_P18

Para o potencial -0,2 MPa (Tabela 10), também observou-se a formação de sete grupos distintos, em que o comportamento dos genótipos se manteve semelhante ao obtido pelo método de UPGMA para o mesmo potencial, com algumas exceções, como os genótipos UFU_P10 e UFUS 7401 que pertenceram a grupos diferentes.

Tabela 10. Agrupamento de Tocher obtido a partir da distância euclidiana média padronizada em dezesseis genótipos de soja para nove caracteres de plântulas sob potencial osmótico de -0,2 MPa

Grupos	Genótipos
I	TMG 2158 IPRO, NA 5909 RG, UFUS 7401, UFU_P39
II	UFU_P2, UFUS Tikuna
III	BRSMG 68, UFU_P32
IV	BMX Desafio RR, UFUS 7415, UFU_P34, UFU_P18
V	NS 6909 IPRO, BRS 7270 IPRO
VI	TMG 801
VII	UFU_P10

As técnicas de agrupamento são eficientes no estabelecimento de grupos de similaridade, porém, não possibilitam reconhecer os grupos mais próximos ou mais distantes, pois com o agrupamento as informações em nível de indivíduo são perdidas,

restando apenas as médias dos grupos. Dessa forma, complementa-se a análise de agrupamentos com técnicas multivariadas baseadas em dispersão gráfica, componentes principais e variáveis canônicas, que permitem a visualização da distância relativa dos genótipos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Com a técnica de análise dos componentes principais reduz-se um conjunto original de variáveis em componentes principais, de modo que seja possível a identificação de grupos através da dispersão gráfica dos componentes principais e sua análise visual (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

A análise dos componentes principais foi feita pela combinação das variáveis originais (comprimento de parte aérea, raiz e total, matéria fresca de parte aérea, raiz e total, matéria seca de parte aérea, raiz e total) e na Tabela 11 foram apresentadas as raízes percentuais e o percentual acumulado de cada componente principal.

Tabela 11. Raízes percentuais e percentuais acumulados em relação aos componentes principais em 16 genótipos de soja sob 2 potenciais osmóticos.

Componentes Principais	0,0 MPa		- 0,2 MPa	
	Raiz (%)	% Acumulada	Raiz (%)	% Acumulada
1	69,73	69,73	58,76	58,76
2	14,27	84,00	18,84	77,61
3	11,00	95,00	11,11	88,72
4	2,97	97,98	7,36	96,08
5	1,44	99,42	2,42	98,50
6	0,52	99,94	1,14	99,65
7	0,00	99,94	0,00	99,65
8	0,00	99,94	0,00	99,65
9	0,05	100,00	0,35	100,00

Segundo Cruz, Regazzi e Carneiro (2012), para que haja interpretação satisfatória da variabilidade manifestada, é necessário que os primeiros componentes principais permitam estimativas mínimas de 80% da variação total no conjunto de caracteres, o que foi obtido neste estudo pelos dois primeiros componentes, que representaram a maior parte da variação total dos caracteres (Tabela 11).

Na Figura 3 os genótipos submetidos ao potencial 0,0 MPa foram dispersos em um

plano cartesiano utilizando os dois primeiros componentes principais, sendo possível observar a formação de sete grupos. Notou-se que a linhagem UFU_P18 e as cultivares BRS 7270 IPRO e TMG 801 construíram grupos isolados. O comportamento dos demais grupos seguiu de forma semelhante ao observado nos agrupamentos UPGMA e Tocher, confirmando a similaridade genética entre os mesmos.

A análise dos componentes principais também foi utilizada por Partheeban et al. (2017) para investigar os efeitos do estresse hídrico ocasionado por diferentes concentrações de PEG em características de emergência e crescimento de genótipos de milho, permitindo a identificação de dois genótipos de milho tolerantes ao déficit hídrico, com potencial para serem utilizados em futuras hibridações.

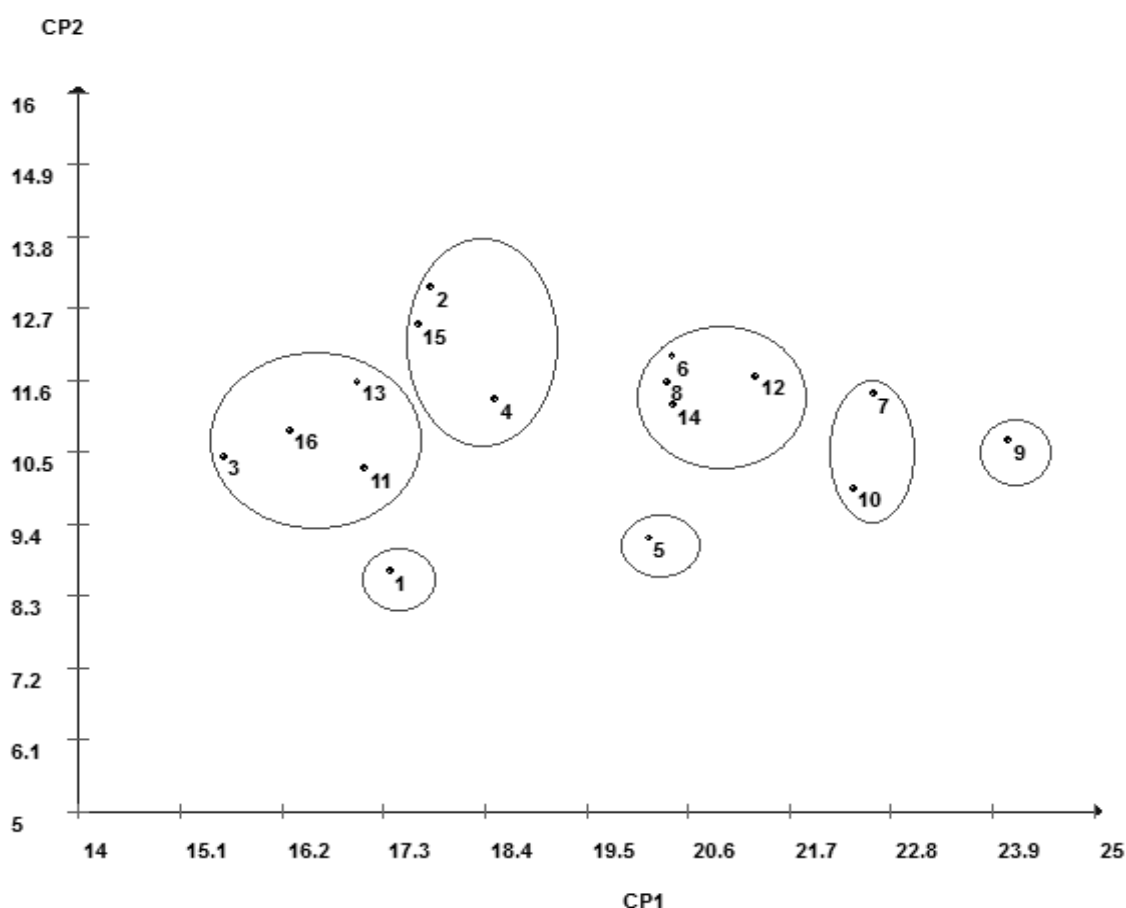


Figura 3. Dispersão gráfica de 16 genótipos de soja utilizando os dois primeiros componentes principais obtidos com nove caracteres de plântulas em potencial osmótico de 0,0 MPa.

CP1: Componente principal 1; CP2: Componentes principal 2;

1: UFU_P18; 2: UFU_P39; 3: UFU_P34 4: UFU_P2 5: TMG 801 6: NS 6909 IPRO; 7: BRSMG 68; 8: UFU_P32; 9: BRS 7270 IPRO; 10: TMG 2158 IPRO; 11: BMX Desafio RR;

12: NA 5909 RG; 13:UFUS 7401; 14:UFUS 7415; 15:UFUS Tikuna; 16: UFU_P10.

As cultivares BRS 7270 IPRO, TMG 2158 IPRO e BRSMG 68, que se encontraram em grupos isolados, apresentaram maior distância do grupo com as linhagens UFU_P34, UFU_P10, UFUS 7401, BMX Desafio RR e UFUS Tikuna sugerindo uma maior dissimilaridade genética entre esses genótipos. A dissimilaridade entre eles, aliada a outras características de interesse, permite que estes genótipos sejam considerados potenciais parentais divergentes para a realização de cruzamentos.

Para o potencial de -0,2 MPa (Figura 4), observou-se a formação de oito grupos distintos, que permitiram a diferenciação dos genótipos, em que TMG 801, UFU_P10, BRS 7270 IPRO e NS 6909 IPRO encontraram-se em grupos isolados, seguindo o padrão de comportamento observado em potencial 0,0 MPa.

Na Figura 4, foi possível observar novamente a maior distância entre a cultivar BRS 7270 IPRO e os grupos com os genótipos UFU_P18, BMX Desafio RR, UFU_P10 e UFUS 7401, reforçando a dissimilaridade genética entre eles.

A formação de grupos seguiu padrão semelhante ao encontrado para o potencial 0,0 MPa, salientando a proximidade genética entre os genótipos pertencentes ao mesmo grupo, e a dissimilaridade entre os grupos distintos.

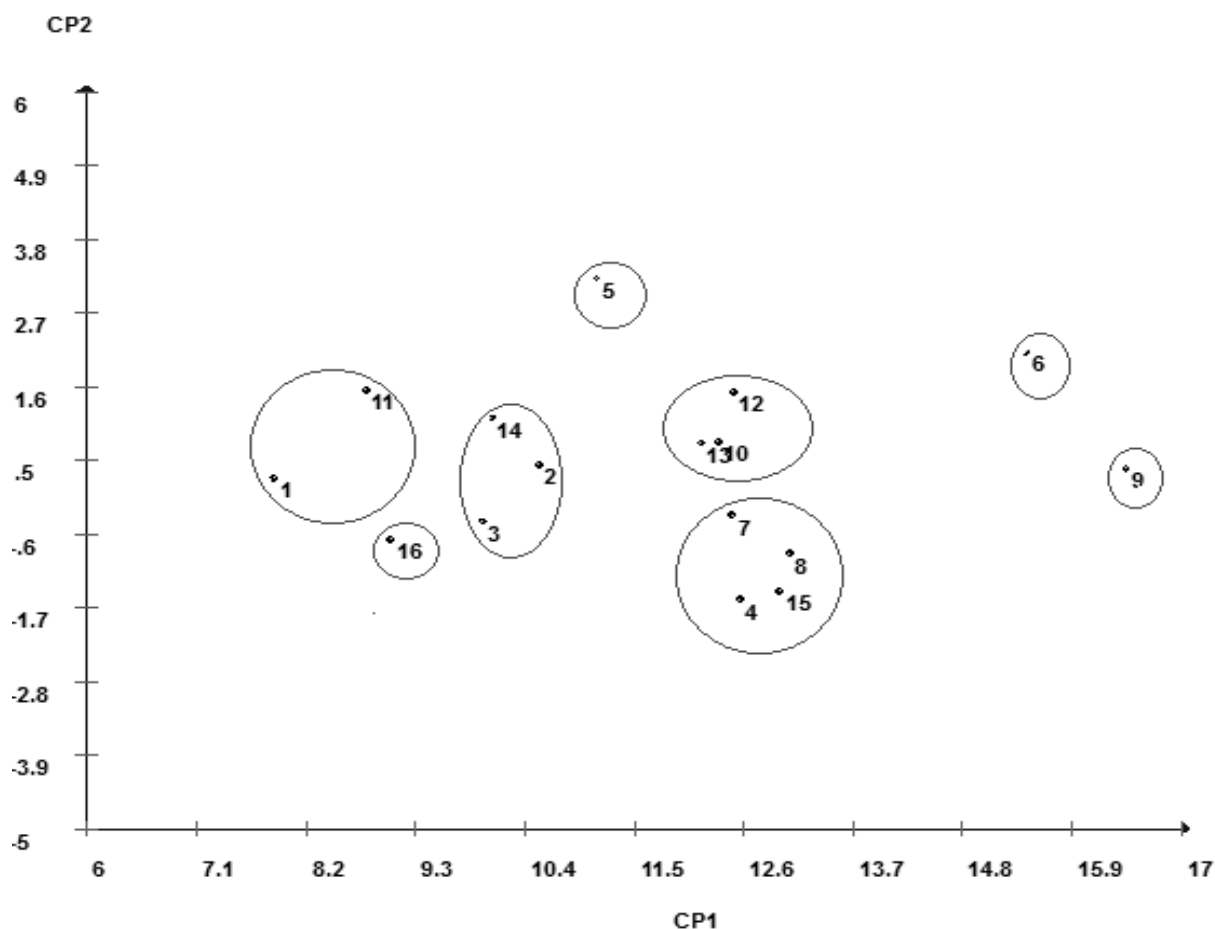


Figura 4. Dispersão gráfica de 16 genótipos de soja utilizando os dois primeiros componentes principais obtidos com nove caracteres de plântulas em potencial osmótico de -0,2 MPa.

CP1: Componente principal 1; CP2: Componentes principal 2;

1: UFU_P18; 2: UFU_P39; 3: UFU_P34 4: UFU_P2 5:TMG 801 6: NS 6909 IPRO; 7: BRSMG 68; 8: UFU_P32; 9: BRS 7270 IPRO; 10: TMG 2158 IPRO; 11: BMX Desafio RR; 12: NA 5909 RG; 13:UFUS 7401; 14:UFUS 7415; 15:UFUS Tikuna; 16: UFU_P10.

Os agrupamentos gerados pelos diferentes métodos permitiram a identificação de parentais para cruzamentos, sendo que o ideal além de selecionar genótipos pertencentes a grupos distintos também selecione os que possuem bom desempenho para as características de interesse.

Com base nas características avaliadas neste estudo, puderam ser sugeridos os seguintes cruzamentos para obtenção de genótipos mais tolerantes ao déficit hídrico: BRS 7270 IPRO x TMG 2158 IPRO; BRS 7270 IPRO x UFUS Tikuna; BRS 7270 IPRO x UFU_P32; TMG 2158 IPRO x UFUS Tikuna, TMG 2158 IPRO x UFU_P3, TMG 801 x

UFU_P32, TMG 801 x UFUS Tikuna, TMG 801 x UFU_P2 e TMG 801 x BRSMG 68.

A contribuição relativa de cada caráter na divergência genética pode ser visualizada na Tabela 12, com destaque para comprimento total e comprimento de raiz, que se mostraram os mais importantes para análise, contribuindo com 39,9 e 18,79% em potencial 0,0 MPa e 56,00 e 37,81% em potencial -0,2 MPa, respectivamente.

Tabela 12. Contribuição relativa de caracteres de plântulas para divergência genética em 16 genótipos de soja, pelo método de Singh, em dois potenciais osmóticos.

Caracteres	0,0 MPa		- 0,2 MPa	
	Sj	Valor (%)	Sj	Valor (%)
CPA	66,17	10,35	25,67	3,71
CR	120,12	18,79	260,92	37,81
CT	254,54	39,9	386,33	56,00
MFPA	73,82	11,55	2,69	0,39
MFR	7,79	1,21	4,22	0,61
MFT	115,92	18,14	9,70	1,40
MSPA	0,26	0,04	0,12	0,01
MSR	0,05	0,00	0,04	0,00
MST	0,47	0,07	0,24	0,03

CPA: comprimento da parte aérea; CR: comprimento de raiz; CT: comprimento total da plântula; MFPA: matéria fresca de parte aérea; MFR: matéria fresca de raiz; MFT: matéria fresca total; MSPA: matéria seca de parte aérea; MSR: matéria seca de raiz; MST: matéria seca total; GERM: percentual de germinação de sementes.

5. CONCLUSÕES

As cultivares BRS 7270 IPRO, TMG 2158 IPRO, UFUS Tikuna, NS 6909 IPRO, NS 5909 RG, BRSMG 68, UFUS 7401 e as linhagens UFU_P32 e UFU_P2 apresentaram desempenho superior nas características comprimento de parte aérea, radicular e total, em condições de déficit hídrico induzido por PEG 6000.

O comprimento de raiz permitiu a diferenciação de genótipos de soja em condições de déficit hídrico induzido por PEG 6000 em -0,2 MPa.

As análises uni e multivariadas permitiram sugerir as seguintes hibridações visando tolerância ao déficit hídrico: BRS 7270 IPRO x TMG 2158 IPRO; BRS 7270 IPRO x UFUS Tikuna; BRS 7270 IPRO x UFU_P32; TMG 2158 IPRO x UFUS Tikuna, TMG 2158 IPRO x UFU_P3, TMG 801 x UFU_P32, TMG 801 x UFUS Tikuna, TMG 801 x UFU_P2 e TMG 801 x BRSMG 68.

6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. A.; JESUS, N.; MARTINS, A. B. G. Embebição e germinação de sementes de Camu- camu. **Acta Scientiarum Agronomy**, p. 499-501. 2006.

ÁVILA, M. R. et al. Influência do estresse hídrico simulado com manitol na germinação de sementes e crescimento de plântulas de canola. **Revista Brasileira de Sementes**. v. 29, n.1, p.98-106, 2007.

BRACCINI, A. L. et al. Germinação e vigor de sementes de soja sob estresse hídrico induzido por soluções de cloreto de sódio, manitol e polietileno glicol. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.18, n.1, p.10-16, 1996.

BROETTO, F.; GOMES, E. R.; JOCA, T. A. C. O estresse das plantas: teoria & pratica. São Paulo: **Cultura Acadêmica- Editora UNESP**, 2017.

CARDOSO, V. J. M. **Germinação**. In: KERBAUY, G. B., Fisiologia Vegetal, Guanabara-Koogan, Cap. 17, 2004, p. 386-407.

CASTEEL, S. Signs of drought stress in soybean. **Purdue University** 5p. 2012

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos- Safra 2015/2016**. v.3, n.12. p.1-115, 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_09_15_18_32_boletim_12_set_embro.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos- Safra 2015/2016**. v.3, n.9. p.1-115, 2016. Disponível em: <www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_06_09_09_00_00_boletim_graos_junho_2016_-_final.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2017

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v 1. 4ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2012.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v 2. 3ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2014.

CRUZ, C.D. Genes Software extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016

DANTAS, S. A. G et al. Strategy for selection of soybean genotypes tolerant to drought during germination. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2, 2017.

ECHER, F. R. et al. Estresse hídrico induzido por manitol em cultivares de algodão. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 638-645, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **SECA (Soja em Carência de Água): Exigências Climáticas**. 2015. Disponível em: <http://bioinfo.cnpso.embrapa.br/seca/index.php?option=com_content&view=article&id=73:exigencias-climaticas&catid=84&Itemid=435>. Acesso em: 08 set. 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil, 2013 e 2014**. Londrina, 2013. 265 p. (Embrapa Soja, Sistemas de Produção, 16).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistemas de Produção: Cultivo de Soja no Cerrado de Roraima**. 2009. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/CultivodeSojanoCerradod e Roraima/clima.htm>>. Acesso em: 03 dez. 2017.

FERNANDES, E. T; CAIRO, P. A. R; NOVAES, A. B. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica. **Revista Ciência Rural**, v. 45, n. 1, p. 29-34, 2015.

FILHO CARGNELUTTI, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 42, n. 1, p. 17-24, jan. 2007.

GAVA, R. **Os efeitos do estresse hídrico na cultura da soja (*Glicine Max*, (L.) Merrill)**, 2014. 124f. Tese (Doutor em Ciencias). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba- SP.

HIRAKURI, M. H. **Impactos econômicos de estresses bióticos e abióticos na produção da soja**. Londrina: Circular Técnica 105- Embrapa, 2014.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**, 2º ed, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

MACHADO, B.Q.V. et al., Germinação de Cultivares de Soja Submetidas ao Déficit Hídrico induzido por Polietilenoglicol. **Cultura Agronômica**, Ilha solteira, v.25, n.2, p.137-146, 2016.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005.

MARTINS, C. C. et al. Metodologia para seleção de linhagens de soja visando germinação, vigor e emergência em campo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n.3, p. 455-461, 2016.

MICHEL, B. E; KAUFMANN, M. R. The osmotic potencial of polyethylene glycol 6000. **Plant Physiology**, Lancaster, USA, v. 51, p. 914-916, 1973.

MIRANDA, Z. F. S., et al. Genetic characterization of ninety elite soybean cultivars using coefficient of parentage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 3, p. 363-369, 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Soja**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja>>. Acesso em: 03 dez. 2017.

MITRA, J. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. **Current Science**, v. 80, n. 6, mar. 2001.

MOHAMMADI, P. P. et al. Organ-specific proteomic analysis of drought-stressed soybean seedlings. **Journal of Proteomics**. v. 75, p. 1906-1923, jan. 2012.

MORANDO, R. et al. Déficit Hídrico: Efeito sobre a cultura da Soja. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.3, n. especial, p.114-129, 2014.

NOGUEIRA, O. P. A. et al. Morfologia, crescimento e desenvolvimento. **In: SEDIYAMA, T (Ed.). Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenass, 2009.

NOGUEIRA, A.P.O. **Correlações, análise de trilha e diversidade fenotípica e molecular em soja**. Viçosa, 2011. 139f. Tese (Doutorado em genética e melhoramento de plantas) – Faculdade de Ciências agrárias, Universidade Federal de Viçosa, 2011.

NOGUEIRA, A.P.O; SEDIYAMA, T.; GOMES, J.D. Avanços no melhoramento genético da cultura da soja nas últimas décadas. In: LEMES, E; CASTRO, L.; ASSIS, R. (Org.) **Doenças da soja: Melhoramento Genético e Técnicas de Manejo**. Campinas: Millennium

Editora, 2015, p. 159-178.

PARTHEEBAN, C. et al. Effect of PEG induced drought stress on seed germination and seedling characters of maize (*Zea mays* L.) genotypes. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n.5, p.1095-1104, 2017.

PRIOLLI, R. H. G., et al. Genetic Diversity among Brazilian soybean cultivars based on SSR loci and pedigree data. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 53, n. 3, p 519-531, 2010.

RAHNAMA, A. et al. A screening method to identify genetic variation in root growth responses to a salinity gradient. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, p. 69–77, 2011.

ROCHA, R. S. **Avaliação de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude**. 2009. 61p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Federal do Piauí, PI.

RODRIGUES, O. et al. Quantitative response of soybean flowering to temperature and photoperiod. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 3, n. 36, p. 431-437, 2001.

SARTI, D.G. P et al. Análise Genética de Geração F7 de Soja com Fonte de Resistência ao Nematóide de Cisto - RAÇA 3. **Melhoramento Genético**, São Paulo, v. 7, n. 2, p.264-267, jan. 2011

SEDIYAMA, T.; BARROS, H. B. **Luz, Umidade e Temperatura**. In: SEDIYAMA, T. Tecnologia de produção e usos de soja. Londrina: Mecnas, 2009, p. 1-5.

SEDIYAMA, T.; GLASENAPP, J. S.; MATSUO, E. **Estresse abiótico**. In: SEDIYAMA, T. Melhoramento Genético da Soja. Londrina: Mecnas, 2015, p. 103-126.

SEDIYAMA, T.; OLIVEIRA, R. C. T.; SEDIYAMA, H. A. **A soja**. In: SEDIYAMA, T. Produtividade da Soja. Londrina: Mecnas, 2016, p. 11-17.

SILVA, C. A. D., **Alterações fisiológicas e morfoanatômicas induzidas pelo déficit hídrico em duas cultivares de soja**. 2017. 44f. Dissertação (Magister Scientiae). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG

SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI K. Gene networks involved in drought response and tolerance. **Journal of Experimental Botany**. v.58, p. 221 - 227, 2007.

TEIXIERA, L. R. **Avaliação de Cultivares de Soja quanto à tolerância ao estresse hídrico pelo método de papel solução, contendo polietileno glicol**. 2005. 88f. Dissertação (Mestre em Genética e Melhoramento). Universidade Estadual de Maringá. Maringá-PR.

TEIXIERA, L. R. et al. Avaliação de Cultivares de Soja quanto à tolerância ao estresse hídrico em substrato contendo polietileno glicol. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 2, p.217-223, abr. 2008.

VALE, N. M. et al. Avaliação para tolerância ao estresse hídrico em feijão. **Revista Biotemas**, v. 25, n. 3, p. 235-144, 2012.

VIEIRA, F. C. F et al. Aspectos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de soja submetidos a déficit hídrico induzido por PEG 6000. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 2, p.543-552, 2013.

WYSMIERSKI, P. T.; VELLO, N. A. The genetic base of Brazilian soybean cultivars: evolution over time and breeding implications. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 36, n. 4, p. 547-555, 2013.

ZOZ, T. et al. Peroxidase Activity as an indicator os water déficit tolerance in soybean cultivars. **Biosciencia Journal**, Uberlândia v. 29, n 1, p. 1664-1671, nov. 2013.