

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

LUCAS MARIANO ESTORINO

**RESPOSTA DE CULTIVARES DE SOJA A DIFERENTES POTENCIAIS
OSMÓTICOS DE POLIETILENOGLICOL**

Uberlândia – MG

Julho – 2017

LUCAS MARIANO ESTORINO

**DESEMPENHO DE CULTIVARES DE SOJA EM DIFERENTES POTENCIAIS
OSMÓTICOS DE POLIETILENOGLICOL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Fernando César Juliatti

**Uberlândia – MG
Julho - 2017**

LUCAS MARIANO ESTORINO

**DESEMPENHO DE CULTIVARES DE SOJA EM DIFERENTES POTENCIAIS
OSMÓTICOS DE POLIETILENOGLICOL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado pela Banca Examinadora em 29 de julho de 2017

Prof. Dr. Fernando César Juliatti
Orientador

Dra. Tâmara Prado de Moraes
Membro da Banca

Ma. Aurilene Santos Oliveira
Membro da Banca

SUMÁRIO

RESUMO	v
1 INTRODUÇÃO.....	6
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 A cultura da soja	8
2.2 Estresse hídrico	9
2.3 Polietilenoglicol	10
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5 CONCLUSÕES	20
REFERÊNCIAS	21
APÊNDICE	25

RESUMO

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, atrás apenas dos EUA. Na safra 2015/2016, a cultura ocupou uma área de 33,17 milhões de hectares, na qual colheu-se uma produção de 95,63 milhões de toneladas. O sucesso do cultivo de soja é altamente dependente das condições climáticas, principalmente em relação à disponibilidade de água, sabendo que este é um dos recursos mais necessários para a produção agrícola. O desenvolvimento e uso de cultivares mais eficientes no uso da água é uma das alternativas para o cultivo em condição de estresses hídricos. O polietilenoglicol (PEG) tem sido comumente utilizado como agente osmótico para simular condições de déficit hídrico, pois devido ao seu alto peso molecular não é absorvido pelas sementes. O objetivo do trabalho foi avaliar o comportamento de quatro cultivares de soja sob diferentes potenciais osmóticos. Os caracteres avaliados foram a porcentagem de plântulas germinadas, o comprimento de radícula, o comprimento de hipocótilo, o comprimento de plântulas, massa fresca de plântulas e massa seca de plântulas das cultivares NS6939, BRS7270 iPRO, TMG 2158 iPRO e CD2737. Os potenciais osmóticos induzidos por PEG 6000 foram, 0; -0,1; -0,2 e -0,3 MPa. O delineamento experimental foi em blocos completamente casualizados com quatro repetições. Avaliou-se a porcentagem de germinação, o comprimento de radícula, de hipocótilo e de plântulas e a massa fresca e seca de plântulas. A interação cultivar x potencial não foi significativa. O efeito osmótico causado por PEG 6000 influenciou negativamente em todos caracteres avaliados das quatro cultivares avaliadas. A cultivar NS6939 obteve melhor média em relação a cultivar BRS 7270 iPRO em todas as avaliações, exceto na avaliação de massa fresca e seca de plântulas.

Palavras-chave: PEG 6000. *Glycine max* (L.) Merrill. Potencial osmótico.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, atrás apenas dos EUA. Na safra 2015/2016, a cultura ocupou uma área de 33,17 milhões de hectares, o que totalizou uma produção de 95,63 milhões de toneladas. A produtividade média da soja brasileira foi de 2.882 kg/ha (EMBRAPA, 2016).

O sucesso do cultivo de soja é altamente dependente das condições climáticas (FARIAS et al., 2009), principalmente em relação à disponibilidade de água, sabendo que a este é um dos recursos mais necessários para a produção agrícola (NUNES et al., 2016).

Após quatro anos de recordes consecutivos (2012, 2013, 2014 e 2015), a soja apresenta a sua primeira queda na produção em relação ao ano anterior (2015), ou seja, 0,9% a menos de soja colhida em todo o país. Mesmo com o aumento da área plantada, os efeitos severos do “El Niño”, e a consequente falta de chuva trazida por este, impediu que este ano houvesse aumento da produção da oleaginosa (IBGE, 2016).

O aquecimento global tende a agravar-se nos próximos anos, tornando algumas regiões cada vez mais secas e quentes, sendo necessária a utilização de tecnologias que possam minimizar esse efeito sobre a cultura da soja (MORANDO, 2014).

A disponibilidade hídrica no solo é um fator determinante para o correto desenvolvimento da planta de soja, principalmente nas fases de germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. Do seu peso total, a água representa cerca de 90%, atuando em todos os processos fisiológicos e bioquímicos existentes nesta espécie (FARIAS et al., 2009). A semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50% de seu peso em água para assegurar boa germinação (MORANDO, 2014).

Segundo Borrmann (2009), respostas fisiológicas da cultura da soja sob estresse hídrico, na fase de enchimento dos grãos, pode causar diminuição no peso e tamanho dos grãos além da retenção da cor verde, pois a ausência de água prejudica a atividade enzimática responsável pela degradação da clorofila (BORRMANN, 2009; FARIAS et al., 2009).

A habilidade para tolerar a escassez de água é de fundamental importância para dar prosseguimento ao ciclo de vida de um vegetal. A água é considerada como o principal fator ambiental da regulação do crescimento e desenvolvimento de uma planta (HONG-BO et al., 2008). A deficiência hídrica induz a redução do potencial hídrico foliar, assim como sua parte aérea, o fechamento dos estômatos, a redução da taxa fotossintética, a aceleração da senescência e abscisão foliar (FERRARI et al., 2015).

O desenvolvimento de cultivares mais eficientes no uso da água é uma das alternativas para o cultivo em condição de restrições hídricas (PEZZOPANE, 2014), com isso o polietilenoglicol (PEG 6000) tem sido utilizado para avaliar os efeitos da disponibilidade hídrica na germinação de sementes (GORDIN et al., 2015), para conhecer mecanismos fisiológicos de respostas ao déficit hídrico (MORAES et al., 2015), na avaliação da resistência de plantas em condições de deficiência hídrica (GUEDES et al., 2013) e na seleção de genótipos de trigo tolerantes à seca (GIROTTI et al., 2012), entre outros, pois devido ao seu alto peso molecular não é absorvido pelas sementes, o que não acontece com os elementos minerais utilizados para causar efeito osmótico na germinação de sementes (MORAES e MENEZES, 2003).

O objetivo do trabalho foi avaliar o comportamento de quatro cultivares de soja sob diferentes potenciais osmóticos. Os caracteres avaliados foram a porcentagem de plântulas germinadas, o comprimento de radícula, o comprimento de hipocótilo, o comprimento de plântulas, massa fresca de plântulas e massa seca de plântulas das

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento de quatro cultivares de soja sob diferentes potenciais osmóticos induzido por PEG 6000, fornecendo conhecimentos úteis para o melhoramento da soja.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da soja

A soja é uma cultura anual de autopolinização, que pertence à família Fabaceae, gênero *Glycine*, subgênero Soja e espécie *Glycine max* (L.) Merrill. É uma leguminosa amplamente utilizada pra diferentes fins, como produção de ração animal, consumo *in natura*, produção de biodiesel, fins medicinais, estéticos, entre outros (OLIVEIRA et al., 2012). As primeiras citações dessa oleaginosa aparecem no período entre 2883 e 2838 a.C. quando era considerada um grão sagrado, ao lado do arroz, do trigo, da cevada e do milheto (EMBRAPA, 2012).

O mercado internacional de soja é composto por quatro principais players, sendo três produtores: Estados Unidos, Brasil e Argentina, e um comprador, a China.

Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2017), na safra 2016/2017, os EUA, Brasil e Argentina, são os maiores produtores mundiais, foram responsáveis por 82,13% de toda a produção mundial de soja em grão e a China, por 64,07% de todas as importações mundiais. A China é o principal consumidor e importador de soja do mundo, com um esmagamento estimado em aproximadamente 79,50 milhões de toneladas.

O Brasil se mostra como o maior exportador mundial de soja em grão, com aproximadamente 51,60 milhões de toneladas exportadas. Além do grão o Brasil exportou 14,4 milhões de toneladas de farelo de soja e 1,2 milhões de toneladas de óleo de soja (EMBRAPA, 2016). Nas últimas décadas a soja foi a cultura agrícola que mais cresceu no Brasil, alcançando 49% da área plantada com grãos (BOCATTI et al., 2013), sendo que nos últimos 10 anos o Brasil aumentou sua safra de soja em 74,8, com aumento de área de 40,4% e produtividade de 24,5% (CONAB, 2015).

A região Centro-oeste é a principal produtora da oleaginosa. No Brasil o Mato Grosso é o maior estado produtor de soja com uma produção de 30,514 milhões de toneladas em uma área plantada de 33,89 milhões de hectares, com uma produtividade de 3.362 kg/ha. O Paraná figura como o segundo maior estado produtor do grão com uma produção de 19,534 milhões de toneladas em uma área plantada correspondente a 5,25 milhões de hectares com produtividade média de 3,721 kg/ha. Em terceiro lugar está o estado do Rio Grande do Sul, com produção de 18,714 milhões de toneladas, ocupando uma área de 5,57 milhões de hectares com produtividade média de 3,360 kg/ha (EMBRAPA, 2016).

No contexto mundial, o Brasil apresenta vantagens territoriais, climáticas e tecnológicas no processo produtivo da soja. Sendo o clima aquele de mais difícil controle, maior ação sobre a limitação às máximas produtividades e o principal fator de risco e de insucesso na exploração

das principais culturas. Dos elementos do clima, o que se apresenta como mais limitante é a água. A variabilidade na disponibilidade hídrica durante o período de desenvolvimento da cultura é a principal limitação à expressão do potencial de rendimento da soja, independentemente do ciclo do cultivar, da época de semeadura e do local (FARIAS, 2011).

2.2 Estresse hídrico

O estresse hídrico é definido como a falta de água acessível à planta, resultando em modificações químicas, fisiológicas e bioquímicas da planta e de suas sementes e ocorre quando a evapotranspiração real é menor do que a evapotranspiração máxima da cultura (BORRMANN, 2009; FARIAS, 2011).

A água é o fator mais importante que afeta o rendimento da soja nas regiões produtoras. O crescimento da planta de soja, durante seu ciclo, é proporcional ao suprimento de umidade (MENDES, 2011). Para a cultura da soja, índices pluviométricos durante o seu ciclo entre 700 a 1000 mm, distribuídos durante as fases vegetativa e reprodutiva, satisfazem um bom desenvolvimento e rendimento. A temperatura e a disponibilidade hídrica no solo exercem influência direta no desenvolvimento da soja no campo (BORRMANN, 2009).

Plantas de soja que sofrem estresse hídrico durante a fase de enchimento de grãos, produzem grãos de tamanho e peso reduzidos. Outra resposta comum ao déficit hídrico é a retenção da cor verde nos grãos, pois, a falta de água prejudica a atividade enzimática responsável pela degradação da clorofila, o que resulta em alto teor de grãos verdes (BORRMANN, 2009), além disso, provoca reações fisiológicas e morfológicas na planta, como o fechamento dos estômatos, o murchamento e redução da área foliar, menor desenvolvimento da planta, menor diâmetro do caule, aborto de flores e frutos, menor porcentagem de vagens viáveis, redução na fixação do nitrogênio, ajustamento osmóticos, entre outros (FARIAS, 2011; MENDES, 2011).

O efeito do déficit hídrico depende da época de ocorrência, de sua severidade, duração, do cultivar, do estágio de desenvolvimento da planta e da interação com outros fatores determinantes do rendimento. Corresponde-se as fases mais críticas à disponibilidade hídrica, para plantas de soja, da semeadura à emergência e da floração ao enchimento de grãos. Da semeadura à emergência de plântulas a falta de água afeta o estabelecimento e a população de plantas e da floração ao enchimento o déficit hídrico prejudica a formação e rendimento de grãos (BORRMANN, 2009; FARIAS, 2011).

A indisponibilidade de água pode ser combinada com outros fatores bióticos e abióticos, como o ataque de pragas e a elevadas temperaturas. Na safra 2015/16 a região agrícola do

MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) apresentou severas quebras de produção, variando de 36,8% a 61,7%, principalmente pela combinação de temperaturas elevadas e longos períodos de estiagem durante o ciclo da cultura, o que reduziu a produção regional em mais de 5,1 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2016).

2.3 Polietilenoglicol

O primeiro passo para a obtenção de genótipos tolerantes à seca, em programas de melhoramento vegetal é a seleção de germoplasma adaptado às condições de estresse, para regiões propensas a escassez de água, buscando submeter plântulas ou sementes dos diversos genótipos às condições de estresse osmótico *in vitro* (GIROTTTO et al., 2012)

Na condução desse procedimento, diversos compostos químicos têm sido utilizados na simulação de estresse hídrico, dentre as substâncias mais usadas, encontram-se o polietilenoglicol (PEG), o manitol e sais inorgânicos (NaCl, $MgSO_4$ e KNO_3) (VASQUEZ, 1995). O PEG vem sendo utilizado com sucesso em trabalhos de pesquisa, para simular os efeitos do estresse hídrico em plantas, há mais de 30 anos (MICHEL e KAUFMANN, 1973).

O PEG é um agente osmótico que não apresenta efeitos adversos para sementes de soja, por ser quimicamente inerte, não-tóxico, de elevado peso molecular e difícil absorção e que proporciona restrição hídrica a sementes, dependendo da concentração (BRACCINI et al., 1996; MORAES e MENEZES, 2003).

Em um trabalho conduzido por Girotto et al. (2012), avaliou-se a tolerância à seca de genótipos de trigo utilizando diferentes agentes osmóticos, dentre eles, o PEG 6000 foi considerado o agente estressante mais adequado para a seleção dos genótipos e o menos tóxico. Em comparação aos elementos minerais o PEG apresenta vantagem por não ser absorvido pelas sementes. Sais minerais como agente osmótico afetam a germinação pelo efeito osmótico e ou pelo efeito iônico, o que dificulta a absorção de água ou facilita a penetração de íons nas células (MORAES E MENEZES, 2003).

Para simular condições de estresse hídrico em laboratório, estudos de germinação têm sido realizados com soluções aquosas de PEG 6000 e outros agentes osmóticos, isso têm ajudado na identificação de cultivares, em distintas culturas, com maior resistência a condições de estresse hídrico (GIROTTTO et al., 2012). Ao realizar teste de germinação sob potencial osmótico de -0,6 MPa, Silva et al. (2006) indicaram este como procedimento promissor para a avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja. Ainda em soja, Vieira et al. (2013) avaliou aspectos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de soja submetidos a déficit hídrico induzido por PEG 6000 e Machado et al. (2014), avaliou três cultivares de soja quanto à

tolerância ao déficit hídrico induzido por polietilenoglicol. Além da soja, já foram realizados trabalhos com girassol (BARROS e ROSSETTO, 2009), trigo (GIROTTTO et al., 2012), pau-de-jangada (GUEDES et al., 2013) niger (GORDIN et al., 2015) e mamona (MORAES et al., 2015).

A imprevisibilidade climática e a irregularidade na distribuição de chuvas é um importante fator de risco no cultivo da soja, uma vez que pode levar as culturas ao déficit hídrico, podendo prejudicar o desenvolvimento da planta e afetar sua produção. Este estudo visa avaliar o comportamento de cultivares de soja sob diferentes potenciais osmóticos induzido por PEG 6000.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Tecnologia e Produção de Sementes (LASEM) do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

Anteriormente a instalação do experimento avaliou-se, a porcentagem de germinação das cultivares de soja adquiridas. Apenas as cultivares que apresentaram porcentagem de germinação e emergência superiores a 80% foram selecionadas para o experimento. Sendo elas as cultivares: NS6939, BRS7270 iPRO, TMG 2158 iPRO e CD2737, com as respectivas porcentagens de germinação: 96%, 93,5%, 88,5% e 81,5%.

Na instalação do experimento adotou-se o delineamento experimental em blocos completamente casualizados com quatro repetições. O esquema fatorial empregado foi 4x4, perfazendo 16 tratamentos das quatro cultivares selecionadas com quatro níveis de potenciais osmóticos (0; -0,1 MPa; -0,2 MPa e -0,3 MPa).

A quantidade de PEG 6000 solubilizada em água deionizada foi determinada recorrendo-se a equação proposta por Michel e Kaufmann (1973), bem como pelos procedimentos empregados por Braccini et al. (1996), Teixeira et al. (2008), Vieira et al. (2013) e Machado (2014), de acordo com a fórmula a seguir:

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

Onde:

Ψ_{os} = potencial osmótico (bar);

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

T = temperatura (° C)

As concentrações de PEG 6000, em gramas L⁻¹ de água deionizada, empregadas para atingir o nível de potencial osmótico desejado estão na Tabela 1.

Tabela 1. Concentração de PEG 6000 estimada em temperatura de 25°C para obtenção dos diferentes níveis de potencial osmótico.

Potencial Osmótico (MPa) ¹	Concentração (g L ⁻¹) de PEG 6000 em água deionizada
0	0
-0,1	78,498
-0,2	119,544
-0,3	151,419

¹MPa = 9,87 atm = 10 bar

Para efeitos de cálculos, o fabricante do papel Germitest informa que cada folha é capaz de absorver 2,5 vezes o seu peso em água. Como cada folha pesa 6 g e cada potencial empregou 144 folhas foram necessários utilizar 2,160 L de água deionizada para preparar cada solução. Por exemplo, para obtenção do potencial osmótico -0,1 MPa foram utilizado 78,498g de PEG 6000 diluído em 2,160 L de água deionizada.

Após o preparo das soluções de PEG 6000, com diferentes potenciais osmóticos, todas as folhas de papel Germistet foram embebidas nas suas respectivas soluções. Cada parcela foi constituída por quatro rolo com 50 sementes cada. Cada rolo foi composto por três papéis cada e mais um papel envolvendo os quatro rolos. Cada tratamento foi colocado em saco plástico com o intuito de formar um microambiente, de forma a preservar dentro dessa embalagem apenas o potencial osmótico a ser testado naquela parcela.

Todas as parcelas foram mantidas em germinador do tipo Mangelsdorf por um período de cinco dias, com temperatura constante de 25°C. O espaço interno do germinador foi dividido de forma a se obter quatro blocos com distribuição aleatória dos tratamentos em seu interior.

Após cinco dias realizaram-se as avaliações, conforme descrito a seguir, adotando-se a Regra de Análise de Sementes (RAS):

a) Teste de Germinação

Procedeu-se à contagem do número de plântulas normais;

b) Comprimento das Plântulas

Todas as plântulas consideradas normais tiveram seu comprimento aferido com o auxílio de uma régua milimetrada. Para efeito de medida, considerou-se o comprimento total da plântula, bem como de suas partes específicas, como o hipocótilo e a raiz primária;

c) Massas Fresca e Seca de Plântulas

Após avaliação de todas as plântulas e sementes procedeu-se à pesagem da massa fresca utilizando balança de precisão. Durante a pesagem foram preservados o sistema radicular e a parte aérea das plântulas normais de cada subamostra.

A última análise efetuada foi a mensuração da massa seca. Cada subamostra, após pesagem de massa fresca, foi encaminhada para a estufa de circulação forçada de ar. As amostras ficaram no equipamento até atingirem peso constante a 80°C.

Os resultados do experimento foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação potencial x cultivar não foi significativa para as características avaliadas. Resultado diferente do encontrado por Machado (2014) que, ao avaliar três cultivares de soja em diferentes doses de Polietilenoglicol, encontrou resultados significativos na interação Potencial x Cultivar. Os resultados da Análise de Variância assim como o quadrado médio das características avaliadas, são apresentados no Apêndice deste trabalho.

O efeito causado por Polietilenoglicol influenciou em todas as características avaliadas das quatro cultivares de soja avaliadas, havendo efeitos significativos, também, para as cultivares na maioria das características avaliadas ao nível de 1% de probabilidade.

A germinação de sementes de soja em ambientes com déficit hídrico, como em solução com Polietilenoglicol - PEG 6000, pode ser considerada um procedimento promissor (SILVA et al., 2006), por se tratar de um agente osmótico sem efeitos negativos para sementes de soja, por ser quimicamente inerte, não-tóxico, de elevado peso molecular e, portanto, de difícil absorção, além de proporcionar restrição hídrica às sementes, dependendo da concentração (BRACCINI et al., 1996; MORAES e MENEZES, 2003; SILVA et al., 2006).

Todas as cultivares apresentaram média de germinação acima de 80%, em condições ideais de água, estando, assim, acima do valor mínimo estabelecido para produção e comercialização de sementes de soja (BRASIL, 2013) e apresentaram redução do seu poder germinativo sob efeito do potencial osmótico causado por PEG, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Médias do percentual de germinação das cultivares, em diferentes níveis de potencial osmótico.

Cultivares	Potencial Osmótico (MPa)				Médias
	0	-0,1	-0,2	-0,3	
NS6939	91,50	53,50	14,50	6,75	41,56 a
BRS 7270 IPRO	85,12	11,00	1,75	0,87	24,68 b
TMG 2158 IPRO	82,00	23,12	3,62	0,50	27,31 b
CD 2737	90,25	33,00	16,87	2,50	35,65 ab
Médias	87,21	30,15	9,18	2,65	

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A redução do poder germinativo pode ter relação com o fato de que as soluções de PEG apresentam alta viscosidade, o que compromete a disponibilidade de O² para as sementes (MACHADO, 2014; YOON et al., 1997), além do que a atividade respiratória das sementes é

reduzida durante a germinação sob potenciais hídricos decrescentes (BARRUETO CID et al., 1981), inibindo a germinação e a formação de moléculas de ATP, necessárias ao desencadeamento dos processos germinativos (MACHADO, 2014). A falta de energia para o início da germinação, seria outra causa provável para essa redução, segundo Mayer e Poljakoff-Mayber (1989), já que tal energia é obtida a partir do aumento da taxa respiratória das sementes após a embebição, que ocorre de forma mais lenta na medida que o potencial osmótico é reduzido.

De acordo com Hadas (1976), a redução da germinação de leguminosas sob estresse hídrico, é atribuída à menor difusão da água através do tegumento, devido a redução da atividade enzimática além do prolongamento da fase estacionária, com isso, causando menor desenvolvimento meristemático e protusão da radícula.

A cultivar NS6939 apresentou melhor média na avaliação do percentual de germinação em relação as cultivares BRS7270 e TMG 2158 iPRO e se igualou a cultivar CD 2737. Estes resultados corroboram os obtidos por Machado (2014) que também observou respostas distintas quanto à germinação entre três cultivares submetidas ao estresse hídrico induzido por PEG 6000 com variação do potencial osmótico de 0 a -0,8MPa. De acordo com Braccini et al. (1998) o desempenho de sementes de soja em condições de déficit hídrico vai estar na dependência da sua qualidade inicial.

Em um estudo sobre a influência do potencial hídrico induzido por polietilenoglicol na qualidade fisiológica de sementes de soja, Braccini (1996) atribuiu a redução acentuada da germinação das sementes em maiores concentrações de PEG 6000 à redução da quantidade de água absorvida pelas sementes, uma vez que não foram constatadas na literatura informações sobre possíveis efeitos tóxicos provocados por esse agente osmótico. Para Campos e Assunção (1990) a redução na germinação com o aumento da concentração osmótica se deve à aparente inibição da síntese e, ou, à atividade das enzimas hidrolíticas necessárias à germinação das sementes.

Na avaliação de comprimento de radícula, todas as cultivares apresentaram redução no comprimento da radícula com o decréscimo do potencial osmótico, assim como observado em estudos conduzidos por Moraes e Menezes (2003) e Vieira et al. (2013). Os resultados da avaliação de comprimento de radícula são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Médias do comprimento de radícula de cultivares de soja (cm), em diferentes níveis de potencial osmótico.

Cultivares	Potencial Osmótico (MPa)				Médias
	0	-0,1	-0,2	-0,3	
NS6939	6,07	3,44	2,30	1,70	3,38 a
BRS 7270 IPRO	4,87	1,38	0,83	0,00	1,77 b
TMG 2158 IPRO	5,04	2,16	1,31	1,21	2,43 ab
CD 2737	6,34	2,75	1,42	0,00	2,63 ab
Médias	5,58	2,43	1,46	0,72	

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Em conformidade com Moraes e Menezes (2003) e Vieira et al. (2013) é esperado que à medida em que o potencial osmótico diminui, o comprimento da parte radicular aumenta, numa relação inversamente proporcional. A cultivar NS6939 apresentou maior média no quesito comprimento de radícula, quando comparada a cultivar BRS 7270 IPRO.

Quanto mais estressante o potencial osmótico empregado, menor o comprimento do hipocótilo das plântulas, assim como observado por Vieira et al. (2013) e apresentados na Tabela 4. As cultivares NS6939 e TMG 2158 diferiram estatisticamente da cultivar BRS 7270 IPRO e se comportaram de maneira similar a cultivar CD 2737.

Tabela 4. Médias do comprimento de hipocótilo de cultivares de soja (cm), em diferentes níveis de potencial osmótico.

Cultivares	Potencial Osmótico (MPa)				Médias
	0	-0,1	-0,2	-0,3	
NS6939	2,91	0,62	0,33	0,18	1,01 a
BRS 7270 IPRO	2,42	0,19	0,10	0,10	0,65 b
TMG 2158 IPRO	3,06	0,21	0,14	0,22	0,91 a
CD 2737	2,80	0,35	0,11	0,10	0,81 ab
Médias	2,79	0,34	0,14	0,15	

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O primeiro efeito notado pela baixa oferta de água é a redução no crescimento, causada pela diminuição da expansão celular, além de afetar a embebição, velocidade e a porcentagem de germinação das sementes (MACHADO, 2014). Segundo Vieira et al. (2013), o comprimento de plântulas pode ser uma medida eficiente para distinção de genótipos adaptados a condições adversa, como ao déficit hídrico. Na comparação de médias do comprimento de plântulas a cultivar NS6939 se diferenciou da cultivar BRS 7270 IPRO.

Processos como o alongamento celular e a síntese de parede são extremamente sensíveis ao déficit hídrico (WENKERT et al., 1978). A contenção do crescimento pela decorrência da

diminuição do alongamento celular seria causada por um decréscimo na turgescência dessas células (HSIAO, 1973), condizente com Dell'Aquila (1992) que atribui a diminuição no crescimento a mudanças na turgescência celular, em decorrência da redução da síntese de proteínas no embrião em situação de estresse hídrico.

Na Tabela 5, constata-se redução nos valores de comprimento total de plântula à medida que houve aumento do potencial osmótico empregado sob as sementes de soja. Resultados semelhantes foram apresentados por Braccini (1998), Machado (2014), Moraes e Menezes (2003), Vieira et al. (2013) e Santos et al. (1992).

Tabela 5. Médias do comprimento de plântulas de cultivares de soja (cm), em diferentes níveis de potencial osmótico.

Cultivares	Potencial Osmótico (MPa)				Médias
	0	-0,1	-0,2	-0,3	
NS6939	8,99	4,06	2,64	1,89	4,39 a
BRS 7270 IPRO	7,30	1,57	0,83	0,10	2,42 b
TMG 2158 IPRO	8,10	2,37	1,46	1,44	3,34 ab
CD 2737	9,14	3,11	1,54	0,10	3,44 ab
Médias	8,38	2,78	1,61	0,83	

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A concentração de PEG 6000 interferiu na quantidade de massa fresca e seca de plântulas. As quatro cultivares avaliadas comportaram-se de maneira similar, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Médias da massa fresca e seca de plântulas de soja (g), em diferentes níveis de potencial osmótico.

Cultivares	Potencial Osmótico				Média
	0	-0,1	-0,2	-0,3	
Massa Fresca de Plântulas					
NS6939	12,74	2,17	0,31	0,16	3,85
BRS 7270 IPRO	10,25	0,60	0,20	0,00	2,76
TMG 2158 IPRO	11,66	0,59	0,07	0,01	3,08
CD 2737	13,56	1,92	0,61	0,05	4,03
Médias	12,05	1,32	0,30	0,05	
Massa Seca de Plântulas					
NS6939	1,23	0,43	0,07	0,02	0,44
BRS 7270 IPRO	0,98	0,10	0,01	0,00	0,27
TMG 2158 IPRO	1,02	0,11	0,02	0,00	0,29
CD 2737	2,10	0,29	0,09	0,00	0,62
Médias	1,33	0,23	0,05	0,00	

Nota-se que o peso de massa fresca e seca das plântulas das quatro cultivares de soja sofreu redução progressiva quando ocorreu aumento do potencial osmótico das soluções. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Braccini (1996).

A massa seca da planta consiste, com exceção da água, em tudo que se encontra na planta, incluindo carboidratos, proteínas, lipídeos e nutrientes minerais. Uma vez que a água desempenha papel essencial no metabolismo celular, é esperado que as cultivares com maior massa fresca tenham mais condições de metabolizar suas reservas em energia para desenvolvimento da plântula, conforme descrito por Vieira et al. (2013).

Analisando a Figura 1, observa-se a porcentagem de germinação de plântulas (A), o comprimento de radícula de plântulas e o comprimento de plântulas (C), das quatro cultivares de soja, submetidas a quatro níveis de potencial osmótico em soluções de PEG 6000.

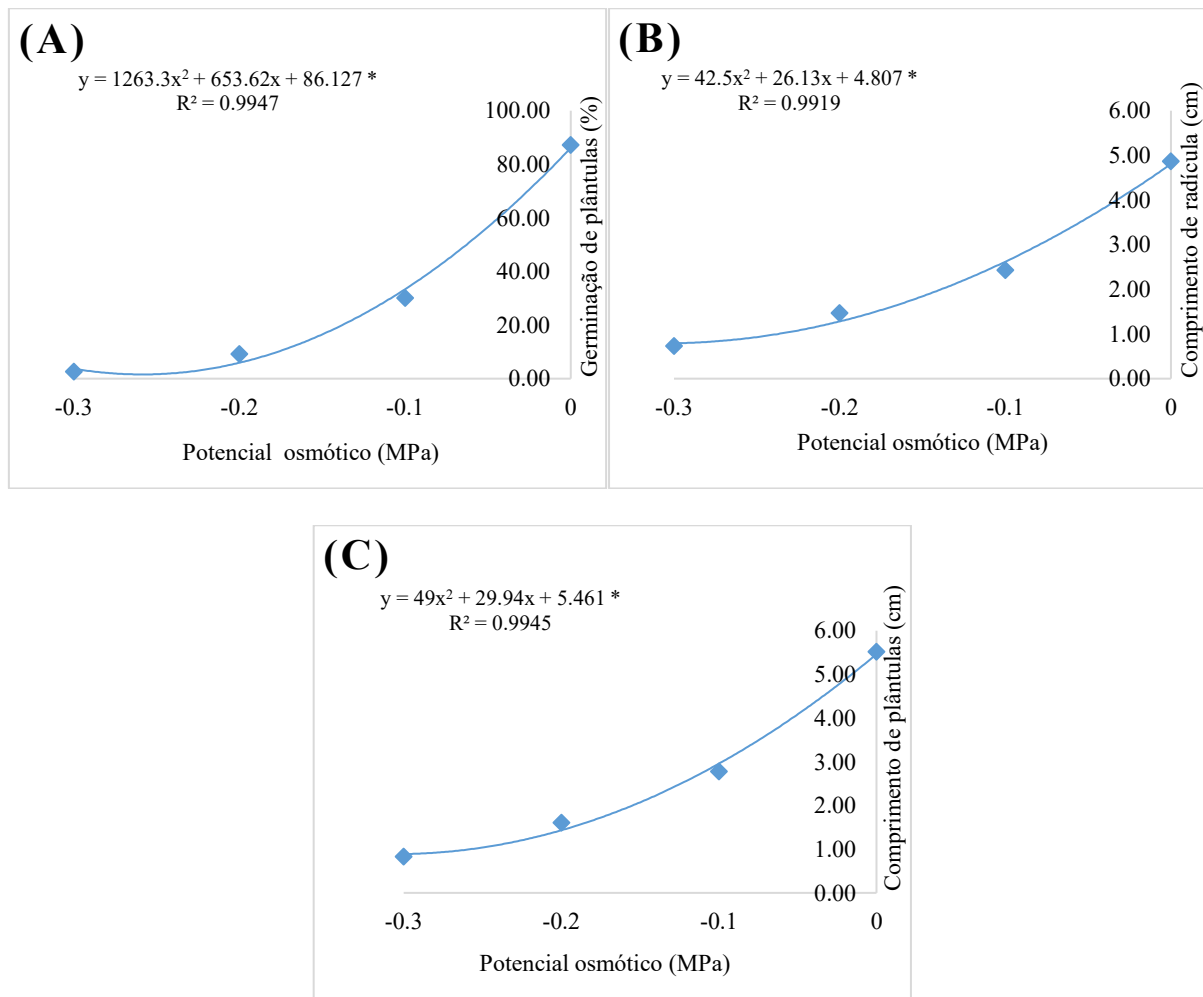


Figura 1. Porcentagem de germinação de plântulas (A), comprimento de radícula de plântulas (B) e comprimento de plântulas (C), das quatro cultivares de soja, submetidas a quatro níveis de potencial osmótico em soluções de polietileno-glicol 6000. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Observa-se que as quatro cultivares apresentaram redução acentuada para as variáveis germinação de plântulas, comprimento de radícula de plântulas e comprimento de plântulas.

Para as variáveis comprimento de hipocótilo, massa fresca de plântulas e massa seca de plântulas os modelos polinomiais testados não se ajustaram aos dados.

5 CONCLUSÕES

O efeito induzido por PEG 6000 reduziu a porcentagem de germinação, o comprimento de radícula, o comprimento de hipocótilo o comprimento de plântulas, a massa fresca e seca de plântulas das cultivares avaliadas.

Observou-se comportamento diferenciado entre as cultivares em relação à porcentagem de germinação, o comprimento de radícula, o comprimento de hipocótilo e o comprimento de plântulas em diferentes níveis de potencial osmótico induzido por PEG 6000.

A cultivar NS6939 obteve melhores médias em relação a cultivar BRS 7270 IPRO em todas as avaliações, exceto na avaliação de massa fresca e seca de plântulas.

É necessária a avaliação destas cultivares a campo, em condições de restrição hídrica, para respaldar os resultados obtidos neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BARROS, C. S.; ROSSETTO, C. A. V. Teste de germinação sob condições de restrição hídrica para avaliar o vigor de sementes de girassol. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2621-2624, 2009.
- BARRUETO CID, L.P.; OLIVA, M.A.; CARDOSO, A.A. Efeito do potencial hídrico sobre a embebição, a respiração e a germinação da leguminosa *Cratylia floribunda*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.16, n.6, p.883-890, 1981.
- BOCATTI, C. R.; LORINI, I.; QUIRINO, J. R.; ROSA, E. S.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; OLIVEIRA, M. A. de. Evolução dos defeitos da soja comercial durante o armazenamento em função da infestação de percevejos na lavoura. **Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 8., 2013, Londrina. Resumos expandidos. Londrina: Embrapa Soja, 2013. p. 60-64.
- BORRMANN, D. **Efeito do déficit hídrico em características químicas e bioquímicas da soja e na degradação da clorofila, com ênfase na formação de metabolitos incolores**. 2009. 107p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- BRACCINI, A. L.; RUIZ, H. A.; BRACCINI, M. C. L.; REIS, M. S. 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.
- BRACCINI, A.L.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, C. S.; SEDIYAMA, T.; ROCHA, V. S. Influência do potencial hídrico induzido por polietilenoglicol na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.9, p.1451-1459, 1998
- BRASIL. Instrução normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. Estabelece normas específicas e os padrões de identidade e qualidade para produção e comercialização de sementes. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, v. 150, n. 183, p. 6-27, 20 set, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399 p.
- CAMPOS, I.S.; ASSUNÇÃO, M.V. Estresse salino e hídrico na germinação e vigor do arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 6, p.857-862, 1990.
- CONAB. **Perspectivas para a agropecuária: Safra 2015/16 - Produtos de Verão**. v. 3, Brasília, p. 1-130, setembro de 2015.
- DELL'AQUILA, A. Water uptake and protein synthesis in germinating wheat embryos under osmotic stress of polyethylene glycol. **Annals of Botany**, Camberra, v.69, n.2, p.167-171, 1992.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologia de produção de soja região central do Brasil 2012**. Londrina: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados; Embrapa Agropecuária Oeste, 2012. 255p.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>>. Acesso em: 7 setembro 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Impactos econômicos de estresses na produção de soja da safra 2015/16**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 8p. (Circular Técnica, 125).

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologia de produção de soja região central do Brasil 2012**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2012. 255p.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. **Agrometeorologia dos Cultivos**: O fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. 530p.

FARIAS, J. R. B. **Limitações climáticas à obtenção de rendimentos máximos de soja**. In: Congresso de la soja del mercosur, 5, 14 setembro 2011, Rosario, Argentina. Anais... Un grano: un universo. Rosário: Asociación de la Cadena de la Soja Argentina, 2011. 4 p.

FERRARI, E.; PAZ, A. da; SILVA, A.C. da. Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas no Mato Grosso. **Nativa**, v.3, p.67-77, 2015.

GIROTTI, L.; ALVES, J. D.; DEUNER, S.; ALBUQUERQUE, C. S.; TOMAZONI, A. P. Tolerância à seca de genótipos de trigo utilizando agentes indutores de estresse no processo de seleção. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 2, p. 192-199, 2012.

GORDIN, C. R. B.; SCALON, S. P. Q.; MASETTO, T. E. Disponibilidade hídrica do substrato e teor de água da semente na germinação de niger. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 3, p. 312-318, 2015.

GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; VIANA, J. S.; GONÇALVES, E. P.; LIMA, C. R. de.; SANTOS, S. R. N. dos. Germinação e vigor de sementes de *Apeiba tibourbou* submetidas ao estresse hídrico e diferentes temperaturas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 45-53, 2013.

HADAS, A. Water uptake and germination of leguminous seeds under changing external water potential in osmotic solutions. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.27, n.98, p.480-489, 1976.

HONG-BO, S.; LI-YE, C.; JALEEL. C. A.; ZHAO C.; Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v.331, n.3, p.215-225, 2008.

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.24, p.519-570, 1973.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento Sistem. Prod. Agríc.** Rio de Janeiro v.29 n.7 p.1-87, julho, 2016.

MACHADO, B. Q. V. **Avaliação de três cultivares de soja quanto à tolerância ao déficit hídrico induzido por polietilenoglicol**. 2014. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, 2014.

MAYER, A.M.; POLJAKOFF-MAYBER, A. **The germination of seeds**. Oxford: Pergamon, 1989. 270p.

MENDES, L. F. **Desempenho de genótipos de soja nos estados de Tocantins, Bahia, Maranhão e Piauí**. 2011. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

MICHEL, B.E.; KAUFMANN, M.R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. **Plant Physiology**, Lancaster, v.51, n.6, p.914-916, 1973.

MORAES, G. A. F. de; MENEZES, N. L. de. Desempenho de sementes de soja sob condições diferentes de potencial osmótico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 219-226, 2003.

MORAES, P. F.; LAAT, D. M. de; SANTOS, M. E. A. H. P.; COLOMBO, C. A.; KIIHL, T. Expressão gênica diferencial em genótipos de mamona (*Ricinus communis* L.) submetidos a déficit hídrico induzido por PEG. **Bragantina**, Campinas, v. 74, n. 1, p. 25-32, 2015.

MORANDO, R.; SILVA, A. O.; CARVALHO, L. C.; PINHEIRO, M. P. M. A. Déficit hídrico: efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 3, n. especial, p.114-129, 2014.

NUNES, A. C.; BEZERRA, F. M. L.; SILVA, R. A.; JÚNIOR, J. L. C. S; GONÇALVES, F. B; SANTOS, G. A.; Agronomic aspects of soybean plants subjected to deficit irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 654-659, 2016.

OLIVEIRA, L. G.; HAMAWAKI, O. T.; SIMON, G. A.; SOUSA, L. B. de; NOGUEIRA, A. P. O.; REZENDE, D. F.; HAMAWAKI, C. D. L. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de soja em duas regiões sojícolas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n6, p. 852-861, 2012.

PEZZOPANE, C. G.; SANTOS, P. M; CRUZ, P. G.; ALTOÉ, J.; RIBEIRO, F. A.; VALLE, C. B.; Estresse por deficiência hídrica em genótipos de *Brachiaria brizantha*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 5, p. 871-876, 2015.

SANTOS, V.L.M.; CALIL, A.C.; RUIZ, H.A.; ALVARENGA, E.M.; SANTOS, C.M. Efeito do estresse salino e hídrico na germinação e vigor de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.14, n.2, p.189-194, 1992.

SILVA, J. B.; RODRIGUES, T. J.; VIEIRA, R. D.; Desempenho de sementes de soja submetidas a diferentes potenciais osmóticos em polietilenoglicol. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 5, p. 1634-1637, 2006.

TEXEIRA, L. R.; BRACCINI, A. L.; SPERANDIO, D.; SCARPIM, C. A.; SCHUSTER, I.; VIGANO, J.; Avaliação de cultivares de soja quanto à tolerância ao estresse hídrico em

substrato contendo polietileno glicol. **Acta Sci., Agron.**, Maringa, v. 30, n. 2, p. 217-223, 2008.

USDA - UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Economic research service**. Disponível em: <http://www.ers.usda.gov>. Acesso em: 31 julho 2017.

VASQUEZ, G.H. **Condicionamento fisiológico de sementes de soja: efeitos sobre a germinação, vigor e potencial de armazenamento**. 1995. 138p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1995.

VIEIRA, F.C.F.; SANTOS JUNIOR, C. D.; NOGUEIRA, A. P. O.; DIAS, A. C. C.; HAMAWAKI, O. T.; BONETTI, A. M.; Aspectos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de soja submetidos a déficit hídrico induzido por peg 6000. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v.29, n.2, p. 543-552, 2013.

YOON, Y.; LANG, H.J.; COBB, B.G. Priming with salt solutions improves germination of pansy seed at high temperatures. **HortScience**, Alexandria, v.32, n.2, p.248-250, 1997.

APÊNDICE

Resumo da análise de variância para as variáveis, germinação, comprimento de radícula, comprimento de hipocótilo, comprimento de plântulas, massa fresca de plântulas e massa seca de plântulas, avaliadas em quatro cultivares de soja submetidas a quatro potenciais osmóticos.

Fatores da variação	Quadrado Médio						
	GL	Germinação	Comprimento de radícula	Comprimento de hipocótilo	Comprimento de plântulas	Massa fresca de plântulas	Massa seca de plântulas
Cultivar	3	959.378906 **	7.005556 **	0.373743 **	10.366452 **	5.902198 ^{ns}	0.424137 ^{ns}
Potencial	3	23645.889323 **	73.029318 *	27.258768 **	186.622306 **	533.309051 **	6.289029 **
Potencial X Cultivar	9	225.424045 ^{ns}	0.905393 ^{ns}	0.071914 ^{ns}	1.052622 ^{ns}	1.789777 ^{ns}	0.261567 ^{ns}
Bloco	3	818.139323	11.337831	0.067414	13.099668	7.344738	0.432694
Resíduo	45	151.917101	1.863127	0.061424	2.117252	2.269134	0.242152
CV (%)		38.15	53.43	29.14	42.74	43.84	120.11

^{ns} não significativo

* significativo pelo teste F a 5% de probabilidade

** significativo pelo teste F a 1% de probabilidade