
DESENVOLVIMENTO INICIAL DA SOJA QUANDO CULTIVADA EM SOLOS COM DIFERENTES PERÍODOS DE REPOUSO APÓS A CONTAMINAÇÃO POR ÓLEO DIESEL

LISBOA, Lucas Aparecido Manzani¹
FERREIRA, João Paulo Dal Santo²
SEIXAS, Eloiza Santana³
DIAS, Gustavo Henrique de Oliveira⁴

Recebido em: 2021.02.09 Aprovado em: 2021.08.31 ISSUE DOI: 10.3738/1982.2278.3895

RESUMO: O objetivo desse trabalho foi de analisar o desenvolvimento inicial da soja quando cultivados em solos com diferentes períodos de repouso após a contaminação por óleo diesel. Um experimento foi realizado com um delineamento inteiramente casualizados, em esquema fatorial de 2x6, sendo duas cultivares soja: TMG 2383 IPRO e DM 81184, interagindo com cinco períodos de repouso após a contaminação do solo por óleo diesel, sendo elas: contaminação no dia da semeadura (zero dia); 30; 60; 90 e 120 dias e ausência de óleo no solo (controle) e com cinco repetições, totalizando 60 parcelas ou plantas. A presença do óleo no solo causou restrições no desenvolvimento da planta de soja, mesmo em período de 120 dias de repouso. É necessário novos estudos para entender o período de repouso ideal quando o solo é contaminado por óleo diesel após 120 dias. Não é recomendada a semeadura da soja em solo contaminado por óleo diesel mesmo em repouso de 120 dias. A cultivar de soja TMG 2383 IPRO foi mais susceptível a contaminação do solo por óleo diesel.

Palavras-chave: *Glycine max*; Poluição do solo; Massa seca; Folhas; Raízes

INITIAL DEVELOPMENT OF SOYBEAN WHEN CULTIVATED IN SOILS WITH DIFFERENT RESTING PERIODS AFTER CONTAMINATION BY DIESEL OIL

SUMMARY: The objective of this work was to analyze the initial development of soybeans when grown in soils with different rest periods after contamination by diesel oil. An experiment was carried out with a completely randomized design, in a 2x6 factorial scheme, with two soybean cultivars: TMG 2383 IPRO and DM 81184, interacting with five periods of rest after contamination of the soil by diesel oil, namely: contamination on the day of sowing (zero day); 30; 60; 90 and 120 days and no oil in the soil (control) and with five repetitions, totaling 60 plots or plants. The presence of oil in the soil caused restrictions on the development of the soybean plant, even during a period of 120 days of rest. It is necessary in studies to understand the necessary rest period when the soil is contaminated by diesel oil after 120 days. Sowing soybeans in soil contaminated by diesel oil is not recommended even after resting for 120 days. The soybean cultivar TMG 2383 IPRO was more susceptible to contamination of the soil by diesel oil.

Keywords: *Glycine max*; Soil pollution; Dry mass; Sheets; Roots.

INTRODUÇÃO

A soja é hoje a principal cultura agrícola do país e proporciona ao Brasil o primeiro lugar em produção e exportação em todo o mundo. A importância econômica deste grão vai desde a alimentação humana até a produção de combustíveis como é o caso do biodiesel, alternativa limpa, renovável e eficiente de energia (CARVALHO, 2009). O crescimento da cultura no país esteve ligado aos diversos avanços científicos e tecnológicos (EMBRAPA, 2018).

¹ ORCID-ID - <https://orcid.org/0000-0001-9013-232X> Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Dracena, Fundação Educacional de Andradina (FEA), Andradina, São Paulo, Brasil.

² Fundação Educacional de Andradina (FEA), Andradina, São Paulo, Brasil

³ Fundação Educacional de Andradina (FEA), Andradina, São Paulo, Brasil

⁴ ORCID-ID- <https://orcid.org/0000-0001-7291-6569> Fundação Educacional de Andradina (FEA), Andradina, São Paulo, Brasil.

A implantação das culturas está associada a exploração dos recursos naturais, sendo os solos um desses recursos intensivamente explorados de forma direta ou indireta, e muitas vezes de forma inadequada, levando a degradação e poluição dos mesmos. A presença de poluentes no solo que se eleva a um determinado nível causará a perda de certas propriedades geotécnicas do solo, o que terá um impacto negativo sobre o mesmo, reduzindo assim a densidade específica do solo, passando a diminuir o nível de líquido, aumentando o limite plástico e reduzindo o tamanho final da partícula (FERREIRA *et al.*, 2020). Os poluentes do óleo diesel são de grande importância na pesquisa ambiental e na saúde humana devido aos seus efeitos nocivos (LI; BOUFADEL, 2010).

Solos contaminados com hidrocarbonetos, metais pesados ou metalóides em níveis elevados não são tecnicamente úteis para a agricultura. Poluentes e agregados de partículas se reúnem, destruindo ainda mais a biomassa microbiana, as reservas de matéria orgânica, capacidade de penetração e retenção de água, troca de gases através dos poros e outras funções de crescimento e desenvolvimento da planta (KARKUSH; KAREEM, 2017). A poluição por hidrocarbonetos nas plantas pode variar dependendo do tipo e quantidade de óleo, época do ano, tipo de solo, idade e espécies de plantas (KAYODE *et al.*, 2009).

Nos últimos anos, estudos têm sido realizados na tentativa de analisar o desenvolvimento de plantas em solos contaminados com o óleo diesel, buscando resultados nas pesquisas para entender a resposta das plantas ao tempo ou grau de poluição. Como resultado, algumas plantas apresentarão sinais óbvios após serem expostas a esses poluentes, enquanto outras podem mostrar tolerância a esse tipo de exposição, podendo também ser uma fonte biológica de solo que sofre com esses desastres ambientais de hidrocarbonetos (AL-BALDAWI *et al.*, 2014; SANDERSON *et al.*, 2018).

Mesmo com o contínuo desenvolvimento do uso da bioenergia, o uso de combustíveis derivados do petróleo ainda é o mais utilizado no mundo, e faz com que derramamentos de óleo, poluição do solo e consequentes acidentes com a vegetação sejam mais frequentes e preocupantes, pois podem gerar enormes prejuízos econômicos e danos ambientais (ANDRADE *et al.*, 2010).

A maior parte do óleo é formada por hidrocarbonetos. Quando em contato com as plantas, os hidrocarbonetos podem causar redução do crescimento, incapacidade de fotossintetizar, fixar nitrogênio, diminuir a fertilidade e morte das plantas (LI; BOUFADEL, 2010). Diante do solo contaminado, as lavouras de soja sofreram graves danos, que dificultaram sua produção, devido a uma variedade de fatores, como a inibição do crescimento, retenção de

folhas, redução da taxa de reação metabólica e afetam o processo de maturação das plantas (KARKUSH; KAREEM, 2017; TROUGHTON *et al.*, 1975).

O objetivo desse trabalho foi de analisar o desenvolvimento inicial da soja quando cultivados em solos com diferentes períodos de repouso após a contaminação por óleo diesel.

MATERIAL E MÉTODO

O experimento foi realizado em maio de 2020, nas Faculdades Integradas Stella Maris (FISMA), localizada no Município de Andradina, Estado de São Paulo. Adotou-se o delineamento foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial de 2x6, sendo duas cultivares soja: TMG 2383 IPRO e DM 81I84, interagindo com cinco períodos de repouso após a contaminação do solo por óleo diesel, sendo elas: contaminação no dia da semeadura (zero dia); 30; 60; 90 e 120 dias e ausência de óleo no solo (controle) e com cinco repetições, totalizando 60 parcelas ou plantas.

Vasos com a capacidade volumétrica de 7,0 dm³ foram preenchidos com solo originado da camada de 0-0,3 m classificado como Latossolo Vermelho hipoférrico (EMBRAPA, 2013) e apresenta os seguintes atributos químicos conforme a Tabela 1 e foi aplicado 1,0 mL de óleo para cada dm³ de solo. Após aplicação do óleo no solo, todos os vasos foram irrigados diariamente com um volume de 50 mL de água durante o um período de 15 dias a fim de garantir a evaporação dos compostos voláteis tóxicos presentes no óleo.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo no momento da instalação do experimento. Andradina, SP, 2020.

pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V%	m%
	g dm ⁻³	mg dm ⁻³		-----			mmol _c dm ⁻³	-----			
5,9	11	21	2	19	7	15	0	28	43	65	0

SB: Soma de bases; V%: Saturação por bases; m%: Saturação por alumínio.

O solo foi adubado conforme as exigências da cultura da soja segundo Raij *et al.*, (1996). Durante a condução do experimento todos os vasos foram irrigados até atingirem a capacidade de campo e todos os tratamentos culturais foram realizados.

Após 30 dias da semeadura foram determinadas os seguintes parâmetros: comprimento da parte aérea determinada através do uso de uma régua graduada em milímetros; número de folhas determinado através da contagem direta na planta; foram determinadas as concentrações das clorofilas A e B ($\mu\text{mol m}^{-2}$), através da leitura direta com o uso do aparelho CCM-200, dado os valores em índice SPAD (PARRY *et al.*, 2014) e posteriormente convertidos em valores absolutos dos pigmentos conforme descrito por Chang e Troughton (1972).

Na mesma ocasião, foi determinada massa seca da parte aérea e todos os vasos foram lavados com água corrente para a retirada do solo onde foi determinado a massa seca da raiz através da secagem em estufa de circulação e renovação de ar em temperatura constante de 65°C até atingirem peso constante.

Todas as variáveis foram submetidas ao teste F ($p < 0,05$), e soja foi aplicado o Teste de Tukey a 5% de probabilidade (BANZATTO; KRONKA, 2013), foi utilizado o programa estatístico RStudio (R CORE TEAM, 2015).

RESULTADO E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os valores médios das variáveis avaliadas; comprimento da parte aérea (cm), número de folhas e diâmetro do caule (cm).

Para o comprimento da parte aérea, observou-se uma diferença estatística de maneira isolada entre os fatores, onde o tempo de repouso do solo quando contaminado por óleo diesel influenciou no seu comprimento. A ausência de óleo no solo proporcionou maior valor médio, demonstrando uma diferença de aproximadamente de 27,58% em relação ao período de 60 dias de repouso, período que apresentou menor média. Porém, não houve diferença entre as cultivares de soja estudadas. Vale ressaltar que mesmo após 120 dias de repouso após a contaminação do solo por óleo, os efeitos desse hidrocarboneto ainda prejudicaram as plantas de soja.

Quando a planta está exposta a contaminação do solo por óleos ou outros hidrocarbonetos, elas apresentam respostas negativas devido ao estresse que estão passando, fazendo com que o seu metabolismo tome algumas medidas para conter esses efeitos adversos que passa a aumentar as suas chances de sobrevivência quando estão expostas a longo período ou intensidade de estresse, sendo assim, umas dessas medidas pode ser um ajuste osmótico entre as células das raízes com a solução do solo (QUITÉRIO *et al.*, 2011; FERREIRA *et al.*, 2020).

Para o número de folhas, observa-se na Tabela 2 que também ocorreu uma diferença estatística entre os fatores de maneira isolada, as plantas que foram cultivadas em solos com repouso de 60 dias após a contaminação por óleo apresentaram as menores respostas, que implicou em uma redução de aproximadamente de 36,36% em relação à ausência de óleo no solo (controle), porém, a cultivar de soja TMG 2383 IPRO apresentou 12,43% a mais em relação a cultivar DM 81184 no número de folhas, demonstrando existe variação de comportamento dentro da mesma espécie vegetal.

É interessante destacar que a exposição por longo tempo e em elevada intensidade a esses hidrocarbonetos também provocou as alterações nos tecidos foliares, levando ao surgimento de

manchas concêntricas nas bordas das folhas como apontado por Gürtler *et al.*, (2018), quando estudaram espécies de plantas cultivadas em solo contaminado com óleo diesel e gasolina.

Para a avaliação do diâmetro do caule das plantas de soja, não foi observada diferença estatística, que apresentaram uma média geral de $0,32 \pm 0,06$ cm (Tabela 2). Era esperado observar o efeito danoso da presença do óleo no solo para o diâmetro de caule, haja vista que o desenvolvimento das células do xilema pode ser comprometido, pois é por esse tecido que passa o maior volume de água com nutrientes para a parte aérea, e a sua expansão em seu diâmetro necessita de uma pressão hidrostática elevada e quando a absorção realizada pelas raízes é comprometida, essa pressão é afetada (KIM *et al.*, 2014; PITTERMANN, 2010).

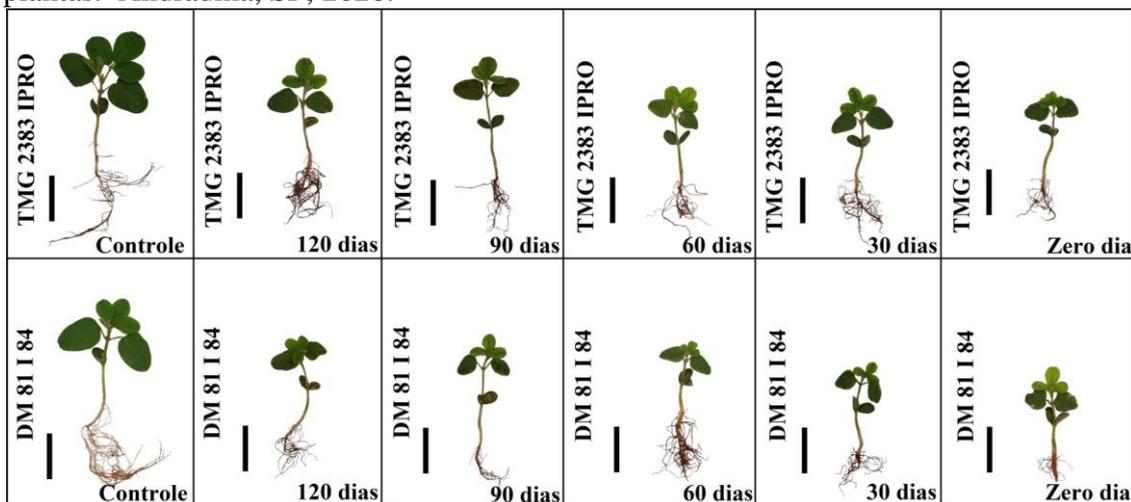
Tabela 2 - Valores médios de Comprimento da Parte Aérea (CPA); Número de Folhas (NF); Diâmetro do Caule (DC) das cultivares de soja quando cultivadas em solos com diferentes períodos de repouso após a contaminação por óleo diesel. Andradina, SP, 2020.

CPA (cm)							
Cultivar (C)	Controle	120 dias	90 dias	60 dias	30 dias	0 dia	Média (C)
TMG 2383 IPRO	12,50	9,48	9,32	9,16	9,62	9,58	9,94
DM 81I84	11,50	9,10	9,02	8,22	9,68	8,96	9,41
Média (PR)	12,00A	9,29B	9,17B	8,69B	9,65B	9,27B	
DMSColuna: 0,55		DMS Linha: 1,40		CV(%): 10,96		MG: 9,67	
p valor (C): 0,0591ns		p valor (PR): <0,0001**		p valor (CxPR): 0,8713ns			
NF							
Cultivar (C)	Controle	120 dias	90 dias	60 dias	30 dias	0 dia	Média (C)
TMG 2383 IPRO	6,60	6,00	6,20	4,20	5,20	5,60	5,63a
DM 81I84	5,50	5,00	4,80	3,50	5,40	5,40	4,93b
Média (PR)	6,05A	5,50A	5,50A	3,85B	5,30AB	5,50A	
DMSColuna: 0,57		DMS Linha: 1,45		CV(%): 20,81		MG: 5,28	
p valor (C): 0,0172*		p valor (PR): 0,0016**		p valor (CxPR): 0,5939ns			
DC (cm)							
Cultivar (C)	Controle	120 dias	90 dias	60 dias	30 dias	0 dia	Média (C)
TMG 2383 IPRO	0,38	0,36	0,30	0,26	0,28	0,32	0,31
DM 81I84	0,34	0,34	0,30	0,35	0,32	0,30	0,32
Média (PR)	0,36	0,35	0,30	0,30	0,30	0,31	
DMSColuna: 0,55		DMS Linha: 1,40		CV(%): 10,96		MG: 0,32	
p valor (C): 0,5899ns		p valor (PR): 0,089ns		p valor (CxPR): 0,1651ns			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 = < p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$). Letras minúsculas na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Letras maiúsculas na mesma linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. PR: período de repouso do solo após a contaminação por óleo diesel; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação; MG: média geral.

As diferenças de altura das plantas estão ilustradas na Figura 1, onde plantas que foram cultivadas em solo que não teve a presença de do óleo diesel (Controle) apresentaram um desenvolvimento normal.

Figura 1 - Plantas das cultivares de soja quando cultivadas em solos com diferentes períodos de repouso após a contaminação por óleo diesel, evidenciando que períodos mais curtos de repouso antes da semeadura comprometeram mais o tamanho das plantas. Andradina, SP, 2020.



O comprimento da planta apresentou uma correlação positiva quando ocorre um aumento no NF como demonstrado na Figura 2 e na Tabela 3. Quando a planta reduz o seu número de folhas a taxa fotossintética passa a ser comprometida, o que dessa maneira a fixação de CO_2 na sua massa seca da parte aérea também passou a ser reduzida, mostrando novamente uma correlação entre essas duas variáveis (Figura 2 e Tabela 3).

Figura 2 - Correlação de Pearson entre as variáveis analisadas nas cultivares de soja quando cultivadas em solos com diferentes períodos de repouso após a contaminação por óleo diesel. Andradina, 2020, SP. NF = Número de Folhas; CPA = Comprimento da Parte Aérea; DC = Diâmetro do Caule; MSPA = Massa Seca da Parte Aérea; MSR = Massa Seca da Raiz; Cloro A = Clorofila A e Cloro B = Clorofila B. Andradina, SP, 2020.

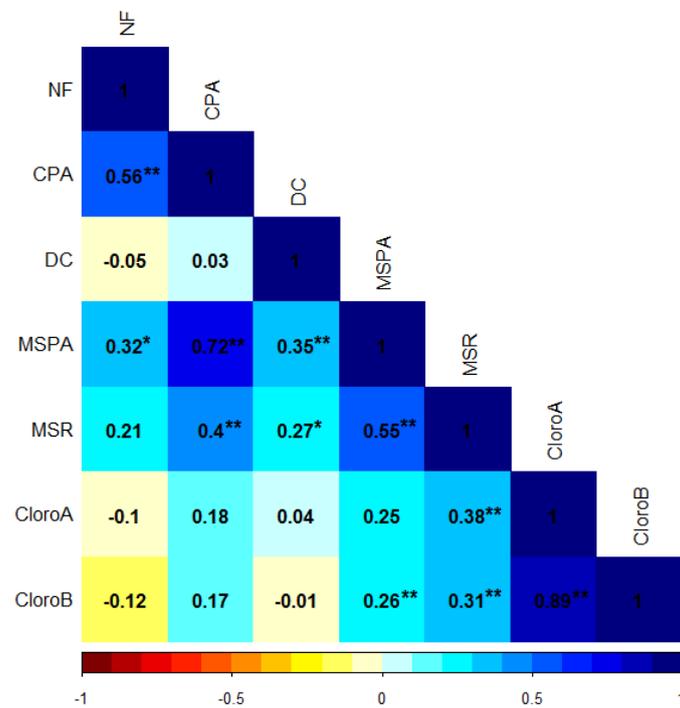


Tabela 3 - Regressões lineares significativas após aplicação da correlação de Pearson na soja quando cultivada após o repouso de solos contaminados por óleo diesel. Andradina, SP, 2020.

Variável (Y)	= $\beta_0 + \beta_1 X_i$	p valor	R2
CPA	= 6,277573 + 0,643739 NF	<0,0001**	0,1283
MSPA	= 0,715239 + 0,080690 NF	0,0109*	0,1021
MSPA	= 0,385856 + 0,157812 CPA	<0,0001**	0,5187
MSPA	= 0,567983 + 1,787749 DC	0,0050**	0,1214
MSPA	= 0,852648 + 0,002198 CloroB	0,0460*	0,0663
MSPA	= 0,801516 + 0,854971 MSR	<0,0001**	0,3009
CPA	= 8,5450 + 2,8502 MSR	0,0017**	0,1606
DC	= 0,2884 + 0,0813 MSR	0,0358*	0,0717
CloroA	= 295,3742 + 231,2960 MSR	0,0032**	0,1409
CloroB	= 109,2314 + 55,7279 MSR	0,0173*	0,0932
CloroB	= 29,192512 + 0,263841 CloroA	<0,0001**	0,7930

NF = Número de Folhas; CPA = Comprimento da Parte Aérea; DC = Diâmetro do Caule; MSPA = Massa Seca da Parte Aérea; MSR = Massa Seca da Raiz; CloroA = Clorofila A e CloroB = Clorofila B

A Tabela 4 apresenta os valores médios da massa seca da parte aérea e massa seca da raiz e observou-se uma interação significativa entre os fatores estudados para a variável massa seca da parte aérea, onde a soja TMG 2383 IPRO quando foi cultivada com a ausência de óleo (Controle) apresentaram maiores médias, isso implicou em aproximadamente 50,80% superior em relação à mesma cultivar, porém quando foi cultivada em solo com repouso de 60 dias. Vale destacar que de maneira semelhante à soja DM 81I84 apresentou o mesmo comportamento, pois o período de repouso de 60 dias provocou a maior redução na sua massa seca da parte aérea

Quando o óleo diesel entra no metabolismo de uma célula, as ações de algumas biomoléculas como a produção de compostos ativos de superfície passam a ser produzido o que facilita a entrada do óleo, e assim proporciona uma mudança na tensão superficial, e até mesmo na sua morfologia, pois a células passam a ficar mais alongadas (SOWANI *et al.*, 2020). Com essas alterações o metabolismo da planta passa a ser comprometido que por consequente o desenvolvimento da sua parte aérea, outros estudos apontam que alterações gênicas na célula quando estão expostas a contaminação (BOTERO *et al.*, 2020) principalmente na fase da anáfase da divisão celular das raízes de *Eruca sativa*, segundo o observado por Cruz *et al.*, (2019).

Também foi observada uma interação significativa entre os fatores estudados para a massa seca de raiz, onde novamente a soja TMG 2383 IPRO quando cultivada com ausência de contaminação por óleo (Controle) apresentaram maiores médias representando uma variação de aproximadamente de 78,31% em relação à mesma cultivar, mas quando o solo foi contaminado no momento da semeadura (zero dia) como apontado na Tabela 4. Isso demonstra que a TMG 2383 IPRO pode ser mais susceptível a contaminação do solo por óleo diesel, tornando assim essa informação importante para os profissionais que trabalham com recuperação de áreas contaminadas, pois essa planta pode expressar as características que demonstram os efeitos danosos provocados pela toxidez do óleo no solo, que ainda apresenta traços de contaminação, mesmo em longos períodos de repouso após a contaminação.

A presença de contaminantes no solo quando é elevado a um determinado nível pode ocasionar a perda de algumas das suas propriedades geotécnicas proporcionando impacto principalmente na diminuição da gravidade específica das partículas, limite líquido, porém ocorre um aumento do limite plástico e principalmente uma redução na porcentagem de partículas finas (KARKUSH; KAREEM, 2017), com isso a absorção de nutrientes pelas plantas passam a ser comprometido, o que prejudica o seu desenvolvimento principalmente das raízes, pois elas estão em contato direto com o solo contaminado.

Quando houve a redução da massa seca de raiz a absorção de nutriente pode ter sido comprometida, o que passou a influenciar no desenvolvimento da parte aérea da planta da planta de soja, o que evidencia uma correlação significativa e positiva entre as variáveis como demonstrado na Figura 2. Dessa forma, isso demonstra que, ao passo que ocorre o aumento na massa seca de raiz a planta passa a se desenvolver de maneira positiva linearmente no comprimento da parte aérea, diâmetro do caule e massa seca parte aérea como apontada na Tabela 3.

Tabela 4 - Valores médios da Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e Massa Seca da Raiz (MSR) das cultivares de soja quando cultivadas em solos com diferentes períodos de repouso após a contaminação por óleo diesel. Andradina, 2020.

MSPA (g)							
Cultivar (C)	Controle	120 dias	90 dias	60 dias	30 dias	0 dia	Média (C)
TMG 2383 IPRO	1,87aA	1,02aB	0,92aB	1,02aB	1,10aB	1,08aB	1,17
DM 81I84	1,45bA	1,19aAB	1,08aAB	0,96aB	0,99aB	0,97aB	1,11
Média (PR)	1,66A	1,10B	1,00B	0,99B	1,04B	1,03B	
DMS Coluna: 0,27		DMS Linha: 0,40		CV(%):19,01		MG:1,14	
p valor (C):0,2656ns		p valor (PR):<0,0001**		p valor (CxPR):0,0469*			
MSR (g)							
Cultivar (C)	Controle	120 dias	90 dias	60 dias	30 dias	0 dia	Média (C)
TMG 2383 IPRO	0,83aA	0,51aB	0,38aBC	0,32aBC	0,33aBC	0,18aC	0,42
DM 81I84	0,40bAB	0,54aA	0,38aAB	0,40aAB	0,22aB	0,24aB	0,36
Média (PR)	0,61A	0,53AB	0,38BC	0,36BC	0,27C	0,21C	
DMS Coluna:0,17		DMS Linha:0,25		CV(%):34,36		MG:0,39	
p valor (C):0,0862ns		p valor (PR):<0,0001**		p valor (CxPR):0,0011**			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 = < p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$). Letras minúsculas na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Letras maiúsculas na mesma linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. PR: período de repouso do solo após a contaminação por óleo diesel; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação; MG: média geral.

Na Tabela 5 observou-se novamente uma interação significativa na característica teores de clorofila A entre os fatores estudados, onde a soja DM81I84 quando cultivada em solos que não houve a contaminação por óleo (Controle) apresentaram maiores valores médios com uma diferença de aproximadamente de 47,74% quando comparada com a soja TMG 2383 IPRO quando cultivada em solos que foram contaminados no dia da semeadura (zero dia). De maneira semelhante, a soja DM81I84 x Controle também apresentou maiores valores médios para o teor de clorofila B com aproximadamente 55,43% superior em relação à soja TMG 2383 IPR quando foi cultivada em solos em repouso de 120 dias após a contaminação, evidenciando que, mesmo após longo período de repouso a presença do óleo diesel foi capaz de alterar a fisiologia da planta.

A massa seca das raízes apresentou uma correlação significativa com os teores de clorofila (Figura 2). A baixa concentração de nutrientes nas folhas principalmente o Magnésio (Mg^{2+}), pois esse elemento é peça chave no processo de fotossíntese, onde na molécula de clorofila esse nutriente tem importante participação estrutural, pois está posicionado como átomo central (PRANCKIETIENÉ *et al.*, 2020). Em outra fase da fotossíntese, a bioquímica, o gás carbônico atmosférico é incorporado em um carboidrato formado por cinco carbonos, denominado ribulose-1,5-bifosfato, para que posteriormente a glicose seja elaborada. Para isso é necessária à ativação pelo magnésio da enzima rubisco, ou ribulose bifosfato carboxilase oxigenase, também presente nos cloroplastos (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Com a taxa fotossintética pode ter sido comprometida com as concentrações de clorofilas, sendo assim a assimilação e fixação de CO_2 nas massas secas da planta, é um fator importante a ser considerado, pois com essas restrições o todo o desenvolvimento dos tecidos e órgãos do vegetal passa a ser comprometido como relatado por Pittermann, (2010) que estudou a evolução dos tecidos vegetais de fósseis de algas e angiospermas abordando uma razão direta entre esse desenvolvimento com as concentrações de CO_2 atmosférico e a pressão hidrostática da água quando ocorre o seu transporte internamente.

Tabela 5 - Valores médios dos teores de Clorofila A (Cloro A) e Clorofila B (Cloro B) das cultivares de soja quando cultivadas em solos com diferentes períodos de repouso após a contaminação por óleo diesel. Andradina, SP, 2020.

Cloro A ($\mu\text{mol m}^{-2}$)							
Cultivar (C)	Controle	120 dias	90 dias	60 dias	30 dias	0 dia	Média (C)
TMG 2383 IPRO	465,73aA	291,31bAB	409,61aAB	335,22bAB	428,66aAB	268,63aB	366,52
DM81I84	514,03aA	490,93aAB	389,95aABC	478,64aAB	272,bC	302,72aBC	408,20
Média (PR)	489,88A	391,12AB	399,78AB	406,93AB	350,79B	285,67B	
DMS Coluna: 132,98		DMS Linha: 196,08		CV(%):26,98		MG:387,36	
p valor (C):0,1290ns		p valor (PR):0,0032**		p valor (CxPR):0,0079**			
Cloro B ($\mu\text{mol m}^{-2}$)							
Cultivar (C)	Controle	120 dias	90 dias	60 dias	30 dias	0 dia	Média (C)
TMG 2383 IPRO	155,24aA	75,44bB	136,53aA	120,77bAB	142,88aA	76,36bB	117,87b
DM 81I84	171,34aA	163,64aAB	141,15aABC	159,54aABC	118,50aBC	115,29aC	144,91 ^a
Média (PR)	163,29A	119,54BC	138,84AB	140,16AB	130,69AB	95,83C	
DMS Coluna: 32,17		DMS Linha: 47,43		CV(%):19,24		MG:131,39	
p valor (C):0,0001**		p valor (PR):<0,0001**		p valor (CxPR):0,0003			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 = p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$). Letras minúsculas na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Letras maiúsculas na mesma linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. PR: período de repouso do solo após a contaminação por óleo diesel; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação; MG: média geral.

CONCLUSÃO

A presença do óleo no solo causou restrições no desenvolvimento da planta de soja, mesmo em período de 120 dias de repouso.

Estudos posteriores são necessários para entender o período de repouso ideal quando o solo é contaminado por óleo diesel em períodos maiores que 120 dias.

Não é recomendada a semeadura da soja em solo contaminado por óleo diesel mesmo em repouso de 120 dias.

A cultivar de soja TMG 2383 IPRO foi mais susceptível a contaminação do solo por óleo diesel.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, C.R.C. *et al.* Fitorremediação de Solos Contaminados por Petróleo, **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**. v. 6, n. 1, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.0000/rtcab.v6i1.555>

AL-BALDAWI, I.A.W.; *et al.* Optimized conditions for phytoremediation of diesel by *Scirpus grossus* in horizontal subsurface flow constructed wetlands (HSFCWs) using response surface methodology. **Journal of Environmental Management**, v. 140, p.152-159, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.03.007>

ANDRADE, J.A *et al.* Biorremediação e solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclética Química**. v. 35, n. 3, p. 17-43, 2010.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação Agrícola**. 4.ed. Funep, 2013. 237p.

BOTERO, M.L.; *et al.* In vitro evaluation of the cytotoxicity, mutagenicity and DNA damage induced by particle matter and gaseous emissions from a medium-duty diesel vehicle under real driving conditions using palm oil biodiesel blends. **Environmental Pollution**, v. 265, p. 1-11, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115034>

CARVALHO, D. Biocombustíveis- Os desafios do Brasil - Falta organizar a produção e a distribuição e diversificar fontes. **Desafios do desenvolvimento**. Brasília, IPEA, v.53, Ano 6, 03 ago. 2009. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=1248&catid=28&Itemid=39

CHANG, F.H.; TROUGHTON, J.H. Chlorophyll a/b ratios in C3 and C4 plants. **Photosynthetica**, v. 6, p.57-65, 1972.

CRUZ, J.M. *et al.* Comparative study of phytotoxicity and genotoxicity of soil contaminated with biodiesel, diesel fuel and petroleum. **Ecotoxicology**, v.28, n.4, p.449-456, 2019. <http://dx.doi.org/10.1007/s10646-019-02037-x>

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 212 p.

FERREIRA, J.P.D.S. *et al.* Desenvolvimento inicial do amendoim quando cultivado em solo contaminado por óleo diesel. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1-18, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7983>

GÜRTLER, S. *et al.* Determination of changes in leaf and canopy spectra of plants grown in soils contaminated with petroleum hydrocarbons. **Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 146, p. 272-288, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.09.011>

KARKUSH, M.O.; KAREEM, Z.A. Investigation the impacts of fuel oil on the geotechnical properties of cohesive soil. **Engineering Journal**, v. 63, n. 1, p.47-62, 2017. <https://doi.org/10.4186/ej.2017.21.4.127>

KAYODE, J. *et al.* The effects of used engine oil pollution on the growth and early seedling performance of *Vigna unguiculata* and *Zea mays*. **Research Journal of Soil Biology**, v. 1, n. 1, 15-19, 2009. <https://doi.org/10.3923/rjsb.2009.15.19>

KIM, H.K.; *et al.* Investigating water transport through the xylem network in vascular plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 7, p. 1895-1904, 2014. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/eru075>

KOCH, M. *et al.* Differential effects of varied potassium and magnesium nutrition on production and partitioning of photoassimilates in potato plants. **Physiologia Plantarum**, v. 166, n. 4, p. 921-935, 2019. <http://dx.doi.org/10.1111/ppl.12846>

LI, H.L.; BOUFADEL, M.C. Long-term persistence of oil from the Exxon Valdez spill in two-layer beaches. **Nature Geoscience**, 3, p.96-99, 2010. <https://doi.org/10.1038/ngeo749>

PARRY, C. *et al.* In situ measurement of leaf chlorophyll concentration: analysis of the optical/absolute relationship. **Plant, Cell and Environment**, v. 37, p. 2508–2520, 2014. <https://doi.org/10.1111/pce.12324>

PITTERMANN, J. The evolution of water transport in plants: an integrated approach. **Geobiology**, v. 8, p. 112–139, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4669.2010.00232.x>

PRANCKIETIENĖ, I. *et al.* Effect of liquid amide nitrogen fertilizer with magnesium and sulphur on spring wheat chlorophyll content, accumulation of nitrogen and yield. **Journal of Elementology**. v. 25, n. 1, p. 139-150, 2020. <http://dx.doi.org/10.5601/jelem.2019.24.2.1742>

QUITÉRIO, G.C.M. *et al.* Uso da soja perene na detecção de estresses induzidos por pequenos vazamentos de hidrocarbonetos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), **Anais [...]** v. 15, p. 5761-5768. 2011.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing - (RStudio)**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2015. URL: <https://www.R-project.org/>

RAIJ, B. *et al.* **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. (Boletim Técnico, 100).

SANDERSON, K. *et al.* Soybean plant-based toxicity assessment and phytoremediation of soils contaminated by vegetable and mineral oils used in power electrical transformers. **Chemosphere**, v. 198, p. 228-240, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.049>

SOWANI, H. *et al.* Uptake and detoxification of diesel oil by a tropical soil Actinomycete *Gordonia amicalis* HS-11: Cellular responses and degradation perspectives. **Environmental Pollution**, v. 263, p. 1-11, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114538>

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

TROUGHTON, J.H. *et al.* Environmental effects on the membrane associated electron transport reactions of photosynthesis. In: Marcelle, R. (Edt). **Environmental and Biological Control of Photosynthesis**. 1975. p. 387-403. https://doi.org/10.1007/978-94-010-1957-6_3