

Desenvolvimento inicial do amendoim quando cultivado em solo contaminado por óleo diesel

Initial peanut development when grown on soil contaminated by diesel oil

Desarrollo inicial del maní cuando se cultiva en suelo contaminado por aceite diesel

Recebido: 28/08/2020 | Revisado: 07/09/2020 | Aceito: 12/09/2020 | Publicado: 14/09/2020

João Paulo Dal Santo Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8540-137X>

Fundação Educacional de Andradina, Brasil

E-mail: jotapeferreira20@gmail.com

Matheus Luís Oliveira Cunha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8931-8557>

Universidade Estadual Paulista, Brasil.

E-mail: matheus-and1@hotmail.com

Lucas Aparecido Manzani Lisboa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9013-232X>

Fundação Educacional de Andradina, Brasil.

E-mail: lucas@fea.br

Resumo

Nos últimos anos, estudos foram desenvolvidos para tentar entender as modificações no desenvolvimento das plantas quando cultivadas em solos contaminados por óleo diesel. O objetivo desse trabalho foi analisar o desenvolvimento inicial do amendoim quando cultivado em solo contaminado por óleo diesel. Um experimento foi realizado em blocos casualizados, em esquema fatorial de 2x6, sendo duas cultivares amendoim: Top Verde e IAC 503, interagindo com cinco períodos de repouso após a contaminação por óleo diesel no solo, sendo eles: contaminação no dia (0 dia); 30; 60; 90 e 120 dias e ausência de óleo no solo (controle) e com cinco repetições, totalizando 60 unidades experimentais. A cultivar IAC 503 se destacou em comprimento e massa seca da parte aérea quando cultivada em solos contaminados por óleo diesel. O óleo diesel prejudica o desenvolvimento do amendoim mesmo após 120 dias após a contaminação do solo. É recomendado um repouso acima de 120 dias para o cultivo do amendoim em solos contaminados por óleo diesel.

Palavras-chave: *Arachis hypogaea* L.; Poluição do solo; Hidrocarbonetos; Plantas

Abstract

In recent years, studies have been carried out to try to understand the changes in plant development when grown in soils contaminated by diesel oil. The objective of this work was to analyze the initial development of peanuts when grown in soil contaminated by diesel oil. An experiment was carried out in randomized blocks, in a 2x6 factorial scheme, with two peanut cultivars: Top Verde and IAC 503, interacting with five periods of rest after contamination by diesel oil in the soil, namely: contamination in the day (0 day); 30; 60; 90 and 120 days and no oil in the soil (control) and with five repetitions, totaling 60 experimental units. The cultivar IAC 503 stood out in length and dry mass of the aerial part when cultivated in soils contaminated by diesel oil. Diesel oil impairs peanut development even after 120 days after soil contamination. It is recommended to rest above 120 days for growing peanuts in soils contaminated by diesel oil.

Keywords: *Arachis hypogaea* L.; Ground pollution; Hydrocarbons; Plants

Resumen

En los últimos años se han realizado estudios para tratar de comprender los cambios en el desarrollo de las plantas cuando se cultivan en suelos contaminados por gasoil. El objetivo de este trabajo fue analizar el desarrollo inicial del maní cuando se cultiva en suelo contaminado por gasoil. Se realizó un experimento en bloques al azar, en un esquema factorial 2x6, con dos cultivares de maní: Top Verde e IAC 503, interactuando con cinco períodos de reposo luego de la contaminación por gasoil en el suelo, a saber: contaminación en el día (día 0) ; 30; 60; 90 y 120 días y sin aceite en el suelo (testigo) y con cinco repeticiones, totalizando 60 unidades experimentales. El cultivar IAC 503 se destacó en longitud y masa seca de la parte aérea cuando se cultivó en suelos contaminados por gasoil. El aceite diesel perjudica el desarrollo del maní incluso después de 120 días después de la contaminación del suelo. Se recomienda descansar por encima de los 120 días para el cultivo de maní en suelos contaminados por gasoil.

Palabras claves: *Arachis hypogaea* L.; Contaminación del suelo; Hidrocarburos; Plantas

1. Introdução

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma das mais importantes plantas oleaginosas do mundo, e cultivada em grande parte das regiões tropicais, ocupando o quinto lugar no ranking de produção mundial (USDA, 2017). No Brasil, o estado de São Paulo destaca-se

como o maior produtor, com produção de 477,7 mil toneladas na safra de 2017/2018, com uma área plantada de 124,7 mil hectares e produtividade de 3.831 kg ha⁻¹ (Conab, 2019).

Onde a cultura passa a ser cultivada em variados tipos solos, que passam a sofrer impactos diariamente decorridos de maneira direta ou indiretamente pela exploração humana, o que vem acarretando diversos problemas, principalmente pela contaminação dos solos. O contaminante proveniente do óleo diesel ganha relevância em estudos ambientais e na saúde humana devido aos seus efeitos danosos (Li & Boufadel, 2010). A presença de contaminantes no solo elevada a um determinado nível pode ocasionar perda de algumas das propriedades geotécnicas do solo proporcionando impactos negativos sobre o mesmo, assim diminui a gravidade específica do solo, que passa a diminuir o limite líquido, aumenta do limite plástico e reduz na porcentagem de partículas finais (Karkush & Kareem, 2017).

Solos contaminados com hidrocarbonetos, metais pesados ou metalóides em altos níveis, não são tecnicamente úteis para a agricultura. Contaminantes e agregados do tamanho de partículas se unem e passam mais ainda a prejudicar a biomassa microbiana, estoque de matéria orgânica, infiltração e capacidade de retenção de água, trocas gasosas através dos poros e outras funções para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Karkush & Kareem, 2017). A contaminação das plantas por hidrocarbonetos, podem variar de acordo com o tipo e a quantidade de óleo, a época do ano, o tipo de solo, a idade e espécie vegetal (Kayode *et al*, 2009).

Nos últimos anos, estudos foram desenvolvidos para tentar analisar o desenvolvimento de plantas sobre solos contaminados por óleo diesel, onde buscam por resultados para entenderem como as plantas reagem ao tempo de contaminação ou grau de contaminação. Com isso, algumas plantas desenvolvem sinais aparentes após a exposição a esses contaminantes, e outras podem se destacar por apresentarem tolerância a esse tipo de exposição e podem ainda contribuir para a biorremediação dos solos que passaram por catástrofes ambientais envolvendo esses hidrocarbonetos (Al-Baldawi *et al*, 2014; Sanderson *et al*, 2018).

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi analisar o desenvolvimento inicial do amendoim quando cultivado em solo contaminado por óleo diesel.

2. Material e métodos

O experimento foi realizado em maio de 2020, nas Faculdades Integradas Stella Maris (FISMA), localizada no Município de Andradina, Estado de São Paulo. O delineamento foi

em blocos casualizados, em esquema fatorial de 2x6, sendo duas cultivares amendoim: Top Verde e IAC 503, interagindo com cinco períodos de repouso após a contaminação por óleo diesel no solo, sendo eles: contaminação no dia (0 dia); 30; 60; 90 e 120 dias e ausência de óleo no solo (controle) e com cinco repetições, totalizando 60 unidades experimentais. Foi aplicado 1,0 mL de óleo para cada dm^3 de solo e em seguida todos os vasos foram irrigados 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, em seguida os vasos permaneceram em repouso até a data de instalação do experimento.

Os vasos continham a capacidade volumétrica de sete dm^3 e foram preenchidos com solo originado da camada de 0-0,3 m classificado como Latossolo Vermelho hipoférrico (Embrapa, 2013) que apresentava os atributos químicos conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Atributos químicos do solo no momento da instalação do experimento.

pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V%	m%
CaCl ₂	g dm^{-3}	mg dm^{-3}	-----				mmolc dm^{-3}	-----			
5.9	11	21	2.0	19	7	15	0	28	43	65	0

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

O solo foi adubado conforme as exigências da cultura do amendoim segundo Rajj et al. (1996). Foram semeadas seis sementes viáveis onde após a germinação, foram selecionadas as duas maiores plântulas que compõem cada repetição. 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: determinada a altura de planta (AP) determinada através do uso de uma régua graduada em milímetros; número de folhas (NF) determinado através da contagem direta na planta; foram determinadas as concentrações das clorofilas A, B e total ($\mu\text{mol m}^{-2}$), 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 (MSPA) e todos os vasos foram lavados com água corrente para a retirada do solo onde foi determinado a massa seca da raiz (MSR) 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 foi aplicado o Teste de Tukey a 5% de probabilidade (Banzatto & Kronka, 2013), foi utilizado o programa estatístico RStudio (R Core Team, 2015). Foi realizada a análise dos componentes principais, a partir da matriz de covariância e posteriormente aplicado teste de Pearson para verificar a relação das variáveis com o componente.

3. Resultados e Discussão

Os resultados de comprimento da parte aérea (cm), número de folhas e diâmetro do caule (cm) estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios de Comprimento da Parte Aérea; Número de Folhas; Diâmetro do Caule das cultivares de amendoim quando cultivadas em solos com diferentes períodos de repouso após a contaminação por óleo diesel. Andradina, 2020.

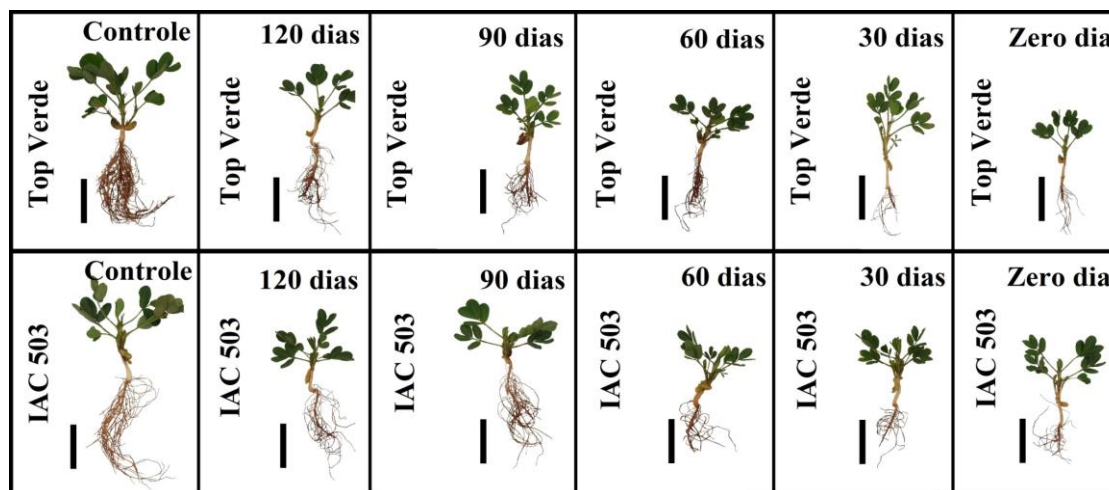
Comprimento da Parte Aérea (cm)							
Cultivar(C)	Controle	120 dias	90 dias	60 dias	30 dias	0 dia	Média(C)
Top Verde	9,28	7,90	8,66	7,36	6,98	7,86	8,00b
IAC 503	8,88	8,74	8,78	9,06	8,42	8,80	8,78a
Média(PR)	9,08A	8,32AB	8,72AB	8,21AB	7,70B	8,33AB	
DMS Coluna: 0,49		DMS Linha: 1,25		CV(%): 11,28		MG: 8,39	
p valor (C): 0,0026**		p valor (PR): 0,046*		p valor (CxPR): 0,1409ns			
Número de Folhas							
Cultivar (C)	Controle	120 dias	90 dias	60 dias	30 dias	0 dia	Média (C)
Top Verde	26,80	20,80	22,60	26,20	24,40	20,20	23,50
IAC 503	24,00	21,80	26,20	24,80	27,20	24,80	24,80
Média (PR)	25,40	21,30	24,40	25,50	25,80	22,50	
DMS Coluna: 2,21		DMS Linha: 5,65		CV(%): 17,64		MG: 24,15	
p valor (C): 0,2430ns		p valor (PR): 0,1165ns		p valor (CxPR): 0,3359ns			
Diâmetro do Caule (cm)							
Cultivar (C)	Controle	120 dias	90 dias	60 dias	30 dias	0 dia	Média (C)
Top Verde	0,32	0,32	0,32	0,38	0,34	0,32	0,33
IAC 503	0,32	0,28	0,34	0,40	0,40	0,36	0,35
Média (PR)	0,32	0,30	0,33	0,39	0,37	0,34	
DMS Coluna: 0,04		DMS Linha: 0,11		CV(%): 25,77		MG: 0,34	
p valor (C): 0,4668ns		p valor (PR): 0,2358ns		p valor (CxPR): 0,8581ns			

** 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 ($p >= 0,05$). 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 após a contaminação por óleo diesel no solo; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação; MG: média geral. Fonte: Autores.

Para comprimento da parte aérea (cm), não houve interação entre os fatores analisados, no entanto houve diferença estatística significava para os dois fatores isolados.

Avaliando as cultivares, observou-se que a cultivar IAC 503 apresentou maior resultado (8,78 cm), diferindo estatisticamente da cultivar Top Verde. Analisando os períodos de repouso após a contaminação do solo com diesel, notou-se que houve diferença estatística do apenas controle quando comparado aos 30 dias após a contaminação, onde o controle apresentou melhor resultado (9,08 cm). Essa diferença entre as plantas é bem evidenciada na Figura 1, onde as plantas do tratamento controle são mais desenvolvidas em relação os demais tratamentos.

Figura 1. Plantas das cultivares de amendoim 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, 2020.



Fonte: Autores.

Um dos resultados que demonstra o sinal de hidrocarbonetos no solo é a produção foliar das plantas. O estresse oriundo da presença dos hidrocarbonetos faz com que algumas medidas tomadas pelo metabolismo da planta com intuito de combater os efeitos adversos para elevar suas chances de sobrevivência, dando início a medidas osmorregulatórias (Quitério *et al*, 2009).

Com relação ao número de folhas e o diâmetro do caule (cm), não houveram diferenças estatística e os resultados da massa seca da parte aérea (g) e massa seca da raiz (g) estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores médios da Massa Seca da Parte Aérea e Massa Seca da Raiz das cultivares de amendoim quando cultivadas em solos com diferentes períodos de repouso após a contaminação por óleo diesel. Andradina, 2020.

		Massa Seca da Parte Aérea (g)					
Cultivar(C)	Controle	120 dias	90 dias	60 dias	30 dias	0 dia	Média(C)
Top Verde	2,00	1,12	1,06	1,25	0,86	0,96	1,21b
IAC 503	1,95	1,21	1,39	1,37	1,51	1,33	1,46a
Média (PR)	1,97A	1,16B	1,22B	1,31B	1,18B	1,15B	
DMS Coluna: 0,15		DMS Linha: 0,38		CV(%): 21,62		MG: 1,33	
p valor (C): 0,0014**		p valor (PR): <0,0001**		p valor (CxPR): 0,1154ns			
		Massa Seca de Raiz (g)					
Cultivar (C)	Controle	120 dias	90 dias	60 dias	30 dias	0 dia	Média (C)
Top Verde	0,80	0,52	0,44	0,54	0,43	0,46	0,53
IAC 503	0,59	0,48	0,52	0,48	0,54	0,55	0,53
Média (PR)	0,70A	0,50AB	0,48B	0,51AB	0,48B	0,51AB	
DMS Coluna: 0,07		DMS Linha: 0,19		CV(%): 28,10		MG: 0,53	
p valor (C): 0,8653ns		p valor (PR): 0,0193*		p valor (CxPR): 0,1565			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$); 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 após a contaminação por óleo diesel no solo; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação; MG: média geral. Fonte: Autores.

Para massa seca da parte aérea (g), não houve interação entre os fatores, porém houve diferença estatística para os dois fatores isolados. O cultivar IAC 503 apresentou maior resultado (1,46 g) dessa variável, diferindo estatisticamente da cultivar Top Verde. De acordo com os resultados dos períodos de repouso após a contaminação do solo com diesel, notou-se que houve diferença estatística apenas do controle quando comparado a todas as épocas de repouso, onde o controle apresentou o melhor resultado.

Analisando os resultados da massa seca da raiz (g), notou-se que houve diferença estatística apenas para o fator épocas de repouso do solo contaminado com diesel. Para esse fator dentro dessa variável, houve diferença apenas do controle quando comparado aos 30 dias e 90 dias de repouso após a contaminação, onde o controle (0,70 g) apresentou melhor resultado. Muitos trabalhos relatam um baixo desenvolvimento de plantas em solo contaminado por óleo diesel (White *et al.*, 2006; Omosun *et al.*, 2008; Farias *et al.*, 2009).

Quando o sistema radicular é afetado, todo o metabolismo da planta é comprometido, conseqüentemente a produção de biomassa e seu desenvolvimento também (Rosa, 2006). Hernandez-Valencia & Mager (2003) observaram que a contaminação reduziu a biomassa longitudinal da raiz da *Brachiaria brizantha*.

Os resultados de clorofila A e clorofila B ($\mu\text{mol m}^{-2}$) estão apresentados na Tabela 4, onde para a clorofila A, houve interação entre os fatores analisados e, em função disso, foi realizado o desdobramento da interação.

Tabela 4. Valores médios da Clorofila A e Clorofila B das cultivares de amendoim quando cultivadas em solos com diferentes períodos de repouso após a contaminação por óleo diesel. Andradina, 2020.

Clorofila A ($\mu\text{mol m}^{-2}$)							
Cultivar(C)	Controle	120 dias	90 dias	60 dias	30 dias	0 dia	Média(C)
Top Verde	547,30aA	465,86aA	318,42bA	523,58aA	411,90aA	439,10aA	451,02
IAC 503	656,50aA	224,50bC	500,63aAB	437,15aABC	473,59aAB	393,25aBC	447,60
Média(PR)	601,90A	345,18B	409,52B	480,37AB	442,74AB	416,17B	
DMS Col: 166,87		DMS Linha: 246,05		CV(%): 29,19		MG: 449,31	
P valor (C): 0,9198ns		p valor (PR): 0,022**		p valor (CxPR): 0,0105*			
Clorofila B ($\mu\text{mol m}^{-2}$)							
Cultivar(C)	Controle	120 dias	90 dias	60 dias	30 dias	0 dia	Média(C)
Top Verde	217,62aA	175,55aAB	106,16bB	174,52aAB	137,29aAB	146,96aAB	159,68
IAC 503	218,83aA	68,67bC	166,87aAB	162,04aAB	145,52aABC	131,08aBC	148,83
Média(PR)	218,22A	122,11B	136,51B	168,28AB	141,40B	139,02B	
DMS Coluna: 59,29		DMS Linha: 87,43		CV(%): 30,21		MG: 154,26	
p valor (C): 0,3716ns		p valor (PR): 0,0004**		p valor (CxPR): 0,0100*			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$); 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 após a contaminação por óleo diesel no solo; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação; MG: média geral. Fonte: Autores.

Avaliando as épocas de repouso após a contaminação dentro dos cultivares, observou-se que para cultivar Top Verde, não houve diferença estatística entre as épocas, tendo média de clorofila A de $451,02 \mu\text{mol m}^{-2}$. Em contra partida, analisando os resultados da cultivar IAC 503, notou-se que os resultados diferiram em função das épocas de repouso após a contaminação. Houve diferença estatística do controle ($656,50 \mu\text{mol m}^{-2}$) comparado aos 120 ($224,50 \mu\text{mol m}^{-2}$) e 0 dias ($393,25 \mu\text{mol m}^{-2}$), tendo o controle melhor resultado. Também houve diferença estatística dessa cultivar para essa variável nas épocas 30 ($473,59 \mu\text{mol m}^{-2}$) e 90 dias ($500,63 \mu\text{mol m}^{-2}$) comparado aos 120 dias ($224,50 \mu\text{mol m}^{-2}$), onde o resultado aos 120 dias foi inferior.

Analisando as cultivares dentro dos níveis de épocas, observou-se que aos 120 dias, a cultivar Top Verde ($465,86 \mu\text{mol m}^{-2}$) apresentou melhor resultado de clorofila A comparado a cultivar IAC 503 ($224,50 \mu\text{mol m}^{-2}$) nessa época. Em contra partida, aos 90 dias, a cultivar

Top Verde ($318,42 \mu\text{mol m}^{-2}$) apresentou menor valor dessa variável, diferindo estatisticamente ao ser comparado com a cultivar IAC 503 ($500,63 \mu\text{mol m}^{-2}$). As demais épocas, não houve diferença estatística entre as cultivares.

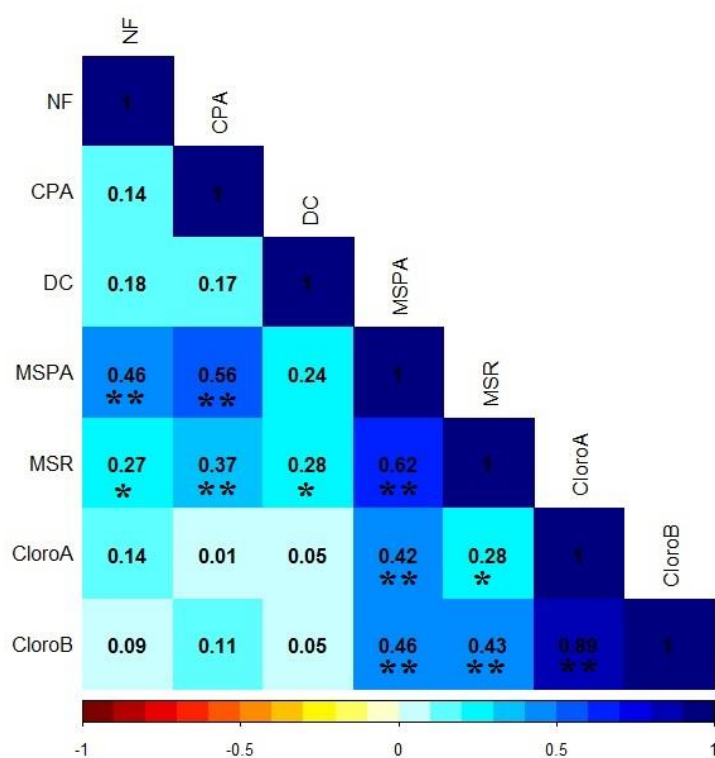
Quitério *et al.*, (2011), verificaram que as respostas da soja à presença dos hidrocarbonetos foram de alta intensidade e velocidade, onde de acordo com o autores, alterações espectrais e visuais, em função da clorose apresentada pelas folhas, foram notadas desde o início das contaminações do solo com hidrocarboneto.

Para os resultados de clorofila B, houve interação entre os fatores analisados, sendo realizado o desdobramento da interação. Avaliando as épocas de repouso após a contaminação dentro dos cultivares, observou-se que, para a cultivar Top Verde, houve diferença estatística do controle ($217,62 \mu\text{mol m}^{-2}$) comparado aos 90 dias ($106,16 \mu\text{mol m}^{-2}$), tendo o controle o melhor resultado. Já para a cultivar IAC 503, houve diferença estatística entre o controle ($218,83 \mu\text{mol m}^{-2}$) quando comparado aos 120 ($68,67 \mu\text{mol m}^{-2}$) e 0 ($131,08 \mu\text{mol m}^{-2}$), sendo o controle o melhor resultado. Também houve diferença das épocas de 90 ($166,87 \mu\text{mol m}^{-2}$) e 60 ($162,04 \mu\text{mol m}^{-2}$) dias de repouso após a contaminação ao serem comparados com a época de 120 dias ($68,67 \mu\text{mol m}^{-2}$).

Comparando as cultivares dentro dos níveis de épocas, tem-se que, aos 120 dias, a cultivar Top Verde ($175,55 \mu\text{mol m}^{-2}$) apresentou melhor resultado comparado a cultivar IAC 503 ($68,67 \mu\text{mol m}^{-2}$) nessa época. Por outro lado, aos 90 dias, a cultivar IAC 503 ($166,87 \mu\text{mol m}^{-2}$) teve melhor resultado ao ser comparada a cultivar Top Verde ($106,16 \mu\text{mol m}^{-2}$). A destruição de clorofilas ocorre de forma rápida em plantas que são cultivadas sob a presença de hidrocarbonetos (Quitério *et al.*, 2009). Quitério *et al.*, (2009) avaliando os efeitos de hidrocarbonetos (diesel e gasolina) na caracterização espectral de *Brachiaria brizantha*, verificaram que a altura final das plantas, massa seca da parte aérea, clorofila A e B foram diretamente afetadas, com redução dessas variáveis, quando a forrageira foi cultivada em solo contaminado com diesel.

De acordo com o correlograma da correlação linear de Pearson apresentado na Figura 2, foi observado que a massa seca da parte aérea teve relação direta e significativa com número de folhas e comprimento da parte aérea. A massa seca da raiz teve relação direta e significativa com número de folhas, comprimento da parte aérea, diâmetro do colmo e massa seca da parte aérea. A variável clorofila A teve relação direta e significativa com massa seca da parte aérea e com massa seca de raiz. Por fim, a clorofila B teve relação direta e significativa com massa seca da parte aérea, massa seca de raiz e com a clorofila A.

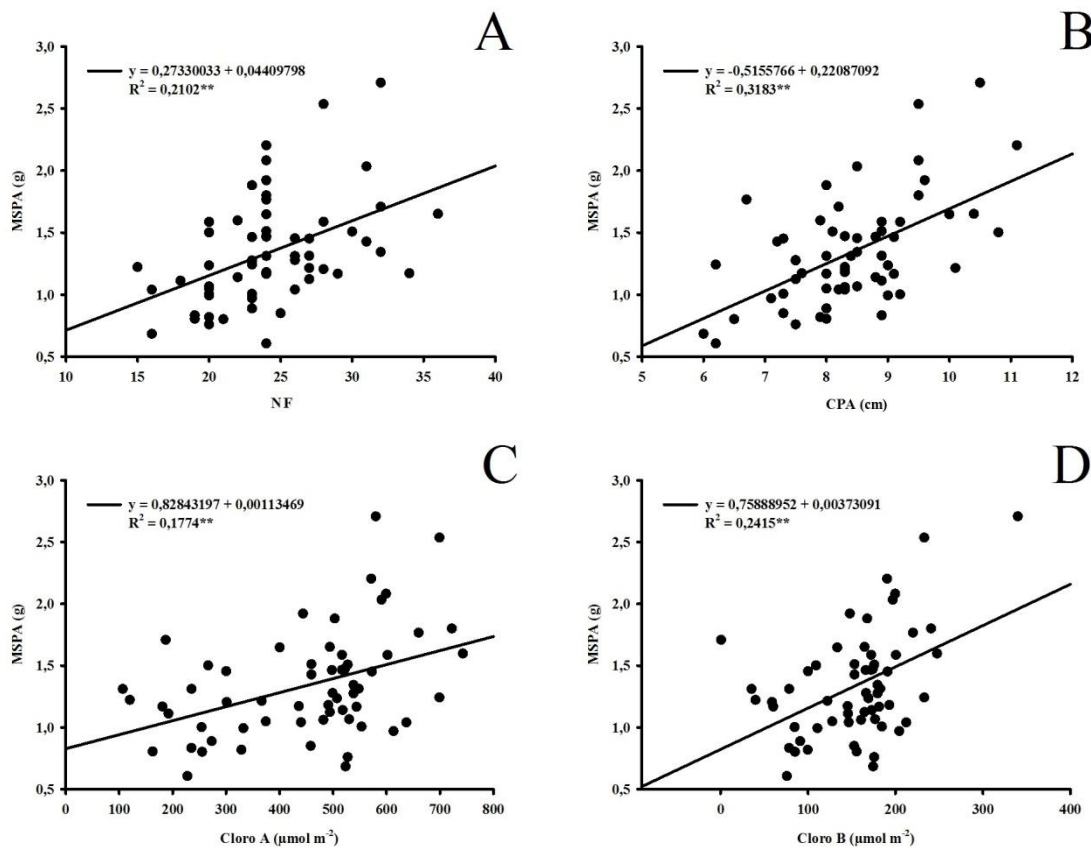
Figura 2. Correlação de Pearson entre as variáveis analisadas nas cultivares de amendoim quando cultivadas em solos com diferentes períodos de repouso após a contaminação por óleo diesel. Andradina, 2019. NF = Número de Folhas; CPA = Comprimento da Parte Aérea; DC = Diâmetro do Caule; MSPA = Massa Seca da Parte Aérea; MSR = Massa Seca da Raiz; Cloro A = Clorofila A e Cloro B = Clorofila B.



Fonte: Autores.

A correlação positiva entre número de folhas (Figura 3A), Cloro A (Figura 3C) e Cloro B (Figura 3D), com a massa seca da parte aérea, é explicada pelo fato de que quanto maior o número de folhas proporciona uma maior taxa fotossintética, o que ocasiona em maiores teores de pigmentos fotossintetizantes (clorofila) e conseqüentemente leva uma maior fixação de carbono na massa seca (Vieira *et al*, 2010). A correlação positiva do comprimento da parte aérea com a massa seca da parte aérea ocorre em função de que quanto maior a altura da planta (Figura 3B), já era esperada, haja vista que plantas mais pesadas tendem a serem maiores.

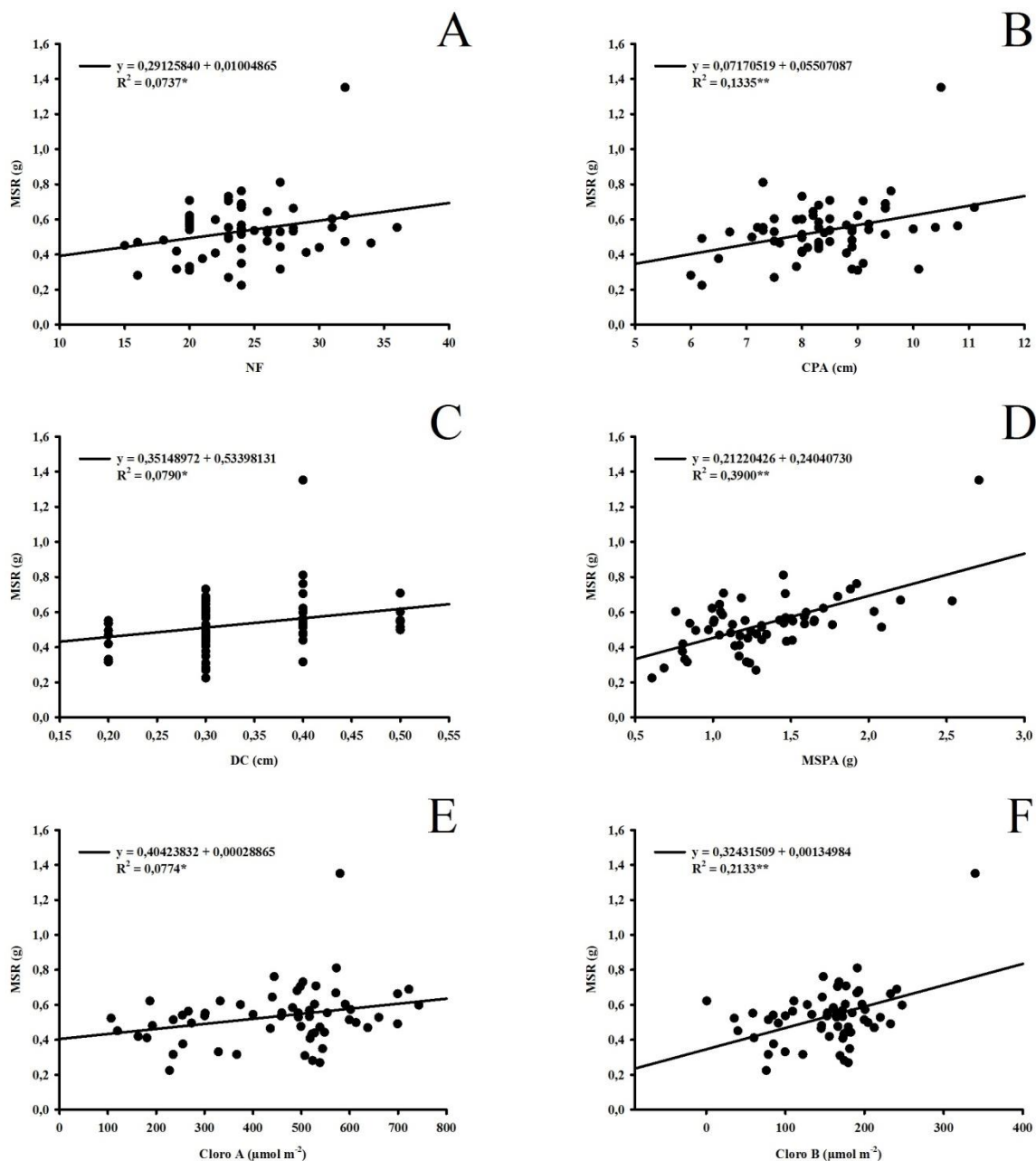
Figura 3. Regressões lineares significativas da após a correlação de Pearson, para a massa seca da parte aérea (MSPA) correlacionando com número de folhas (NF), comprimento da parte aérea (CPA), clorofila A (Cloro A) e clorofila B (Cloro B) das cultivares de amendoim quando cultivadas em solos com diferentes períodos de repouso após a contaminação por óleo diesel. Andradina, 2019.



Fonte: Autores.

Avaliando a correlação positiva da massa seca de raiz com número de folhas (Figura 4A), comprimento da parte aérea (Figura 4B), diâmetro do colmo (Figura 4C), massa seca parte aérea (Figura 4D), cloro A (Figura 4E) e cloro B (Figura 4F), é explicado pelo fato de que quanto maior o volume de raiz, maior será o volume de solo será explorado por esse órgão, dessa forma proporciona uma maior absorção de nutrientes e água que serão direcionados para os processos metabólicos para a planta e conseqüentemente proporciona uma melhor desenvolvimento das características da parte aérea dessa planta (Vieira *et al*, 2010).

Figura 4. Regressões lineares significativas da após a correlação de Pearson, para a massa seca da raiz (MSR) correlacionando com número de folhas (NF), comprimento da parte aérea (CPA), diâmetro de caule (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), clorofila A (Cloro A) e clorofila B (Cloro B) das cultivares de amendoim quando cultivadas em solos com diferentes períodos de repouso após a contaminação por óleo diesel. Andradina, 2019.

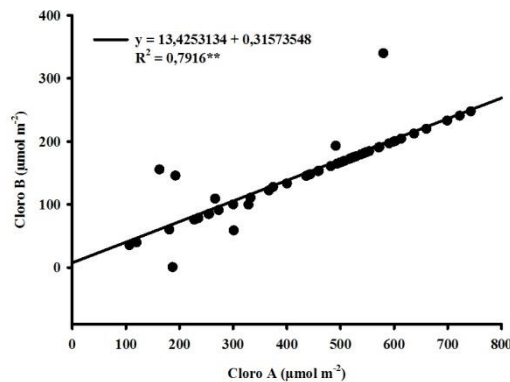


Fonte: Autores.

Com relação à correlação positiva de cloro A e cloro B podem ser explicadas por ambas terem a mesma origem a partir da rota metabólica da glutamina, sendo assim ao passo que ocorre o aumento de uma a outra responde de maneira linear (Streit *et al*, 2005) como

apresentado na Figura 5.

Figura 5. Regressão linear significativa da após a correlação de Pearson, entre a clorofila A (Cloro A) corelacionando com a clorofila B (Cloro B) das cultivares de amendoim quando cultivadas em solos com diferentes períodos de repouso após a contaminação por óleo diesel. Andradina, 2019.



Fonte: autores.

Com relação à análise dos componentes principais, foram utilizados os primeiros dois componentes, pois estes juntos conseguem reter a maior quantidade de informações do conjunto de dados (Hair *et al*, 2009). O primeiro e segundo componente retiram 46,82 e 25,10% da informação contida no conjunto original dos dados, respectivamente conforme demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5. Análise dos componentes principais para as características do amendoim cultivado em solo contaminado com diesel. Andradina, 2019.

	Teste de esfericidade		Componente	
	Qui-quadrado	Grau de liberdade	Valor próprio	% variância
	37.99	21	3.28	1.76
p-valor	0.01		46.82	25.10
			% acumulada para	
			46.82	71.94
	Teste de Pearson		% de contribuição para variância	
	PC _I	PC _{II}	PC _I	PC _{II}
NF	0.61**	0.65*	11.33	23.90
CPA	0.51	-0.47	7.83	12.42
DC	0.04	0.92**	0.04	48.60
MSPA	0.96**	-0.10	28.35	0.58
MSR	0.87**	0.05	23.23	0.12
Cloro A	0.71**	-0.39	15.32	8.50
Cloro B	0.67**	0.32	13.92	5.88

* significativo $p < 0.05$ ** significativo $p < 0.01$. Fonte: Autores.

Avaliando o primeiro componente, notou-se que o número de folhas, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, cloro A e B tiveram relação positiva com o componente. Pode-se inferir que tais características se referem ao desenvolvimento normal da planta de amendoim, ou seja, dos tratamentos que não receberam contaminação com o diesel, apresentando maior contribuição para o componente. Quando ocorreu a presença do óleo diesel no solo provocou uma fitotoxicidade na planta que passou a afetar o seu desenvolvimento e, conseqüentemente, diminuiu a contribuição desses tratamentos para o componente.

Analisando o segundo componente principal, observou-se que o número de folhas e o diâmetro do caule teve relação positiva com o componente. Nesse caso, especificamente, a presença do óleo diesel não afetou essas variáveis. Esse componente está diretamente relacionado com todos os tratamentos dessa pesquisa, sejam eles com e sem a presença do hidrocarboneto. A análise dos componentes principais permitiu verificar que as fontes de maior variação e contribuição, de cada variável dentro de cada componente, para variância.

4. Considerações Finais

A cultivar IAC 503 se destacou em comprimento e massa seca da parte aérea quando cultivada em solos contaminados por óleo diesel.

O óleo diesel prejudica o desenvolvimento do amendoim mesmo após 120 dias após a

contaminação do solo.

É recomendado um repouso acima de 120 dias para o cultivo do amendoim em solos contaminados por óleo diesel.

Referências

Al-Baldawi, I. A. W., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Suja, F., Anuar, N., Mushrifah, I. (2014). Optimized conditions for phytoremediation of diesel by *Scirpus grossus* in horizontal subsurface flow constructed wetlands (HSFCWs) using response surface methodology. *Journal of Environmental Management*, 140. 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.03.007>

Banzatto, D. A., & Kronka, S. N. (2013). *Experimentação Agrícola*. (4a ed.), Funep, 237p.

Chang, F. H., & Troughton, J. H. (1972). Chlorophyll a/b ratios in C3 and C4 plants. *Photosynthetica*, 6, 57–65.

CONAB. (2019). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos- Safra 2018/19*. 6(4) - Quarto levantamento, 31 janeiro 2019. Recuperado de <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>.

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

Farias, V, Maranhão, L. T., Vasconcelos, E. C., Silva Carvalho Filho, M. A., Lacerda, L. G., Azevedo, J. A. M., Soccol, C. R. (2009). Phytodegradation potential of *Erythrina crista-galli* L., Fabaceae, in petroleum-contaminated soil. *Applied biochemistry and biotechnology*, 157(1), 10-22. <https://doi.org/10.1007/s12010-009-8531-1>

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J, Anderson, R. E., Tatham, R. L. (2009). *Análise multivariada de dados*. Bookman editora, 593p.

Hernandez-Vaencia, I., & Mager, D. (2003). Uso de *Panicum maximum* Y *Brachiaria brizantha* para fitorremediar suelos contaminados con un crudo de petróleo liviano. *Biagro*, 15(3), 149-155.

Karkush, M. O., & Kareem, Z. A. (2017). Investigation the Impacts of Fuel Oil on the Geotechnical Properties of Cohesive Soil. *Engineering Journal*, 63(1), 47-62. <https://doi.org/10.4186/ej.2017.21.4.127>

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

Omosun, G., Markson, A. A., & Mbanasor, O. (2008). Growth and anatomy of *Amaranthus hybridus* as affected by different crude oil concentrations. *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, 3(1), 70-74.

Karkush, M. O., & Kareem, Z. A. (2017). Investigation the impacts of fuel oil on the geotechnical properties of cohesive soil. *Engineering Journal*, 63(1), 47-62. <https://doi.org/10.4186/ej.2017.21.4.127>

Kayode, J, Olowoyo, O., & Oyedeji, A. (2009). 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*, 1(1): 15-19. <https://doi.org/10.3923/rjsb.2009.15.19>

Parry C., Blonquist Jr C. M., & Bugbee B. (2014). In situ measurement of leaf chlorophyll concentration: analysis of the optical/absolute relationship. *Plant, Cell and Environment*, 37, 2508–2520. <https://doi.org/10.1111/pce.12324>

Quitério, G. C. M., Almeida, T. I. R., & Souza Filho, C. R. (2009). Caracterização espectral de *Brachiaria brizantha* cultivada em solo contaminado por hidrocarbonetos como instrumento de detecção de vazamentos em dutos. In *Anais. São José dos Campos: INPE/SELPER*.

Quitério, G. C. M, Magalhães, L. A, Souza Filho, C. R., Almeida, T. I. R., Nopperalves, M, Oliveira, W. J, & Rocha, R. (2011). Uso da soja perene na detecção de estresses induzidos por

pequenos vazamentos de hidrocarbonetos. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 15(2011), 5761-5768.

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

Raij, B., Cantarella, H., Quaggio, J. A., & Furlani, A. M. C. (1996). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. (2a ed.), Campinas: IAC, 285p.

Rosa, G. S. (2006). *Avaliação do potencial de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por petróleo*. Dissertação de Mestrado.

Sanderson, K., Módenesa, A. N., Espinoza-Quiñones, F. R., Trigueros, D. E. G., Zanão Júnior, L. A., Schuelter, A. R., Neves, C. V., Kroumovc, A. D. (2018). Soybean plant-based toxicity assessment and phytoremediation of soils contaminated by vegetable and mineral oils used in power electrical transformers. *Chemosphere*, 198, 228-240. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.049>

Streiti, N. M., Canterlei, L. P., Cantoi, M. W., Hecktheuer, L. H. H. (2005). As Clorofilas. *Ciência Rural*, 35(3), 748-755. <https://doi.org/10.1590/S0103-847820050003000>

USDA. United states department of agriculture. Oilseeds World Markets and Trade. *Foreign Agricultural Service*. February 2017, Recuperado de < <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf> >

Vieira, E. L., Souza, G. S., Santos, A. R., Silva, J. S. (2010). *Manual de fisiologia vegetal*. EDUFMA, 230p.

White, P. M. Jr., Wolf, D. C., Thoma, G. J., Reunolds, C. M. (2006). Phytoremediation of alkylated polycyclic aromatic hydrocarbons in a crude oil-contaminated soil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 169(1-4): 207-220. <https://doi.org/10.1007/s11270-006-2194-0>

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

João Paulo Dal Santo Ferreira – 35%

Matheus Luís Oliveira Cunha – 30%

Lucas Aparecido Manzani Lisboa – 35%