

Contaminação do solo por hidrocarbonetos: uma avaliação no desenvolvimento do arroz

Soil contamination by hydrocarbons: an assessment in rice development

Contaminación del suelo por hidrocarburos: una evaluación en el desarrollo del arroz

Recebido: 13/06/2022 | Revisado: 19/06/2022 | Aceito: 24/06/2022 | Publicado: 04/07/2022

Augusto Costa Mota

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1854-7429>

Fundação Educacional de Andradina, Brasil

E-mail: augustocostamota@gmail.com

Lucas Aparecido Manzani Lisboa

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

Fundação Educacional de Andradina, Brasil

E-mail: lucas@fea.br

Resumo

Os hidrocarbonetos atingem direta ou indiretamente as plantas provocando efeitos adversos nos processos fisiológicos das plantas. Esse trabalho tem o objetivo de analisar o desenvolvimento inicial da cultura do arroz em solo contaminado por hidrocarbonetos. O trabalho foi realizado em Agosto de 2021, nas Faculdades Integradas Stella Maris de Andradina (FISMA), localizada no município de Andradina, estado de São Paulo. O delineamento foi inteiramente casualizados, em esquema fatorial 2x5, sendo dois hidrocarbonetos, gasolina comum e querosene; interagindo com cinco doses aplicadas no solo, sendo elas: zero (controle); um; dois; quatro e oito mL dm⁻³ de solo e com quatro repetições, totalizando 40 parcelas. Não é indicado o arroz para a fitorremediação de solos contaminados com gasolina e querosene. O arroz apresenta resposta negativa quando exposto a solos contaminados por hidrocarbonetos. O querosene provocou maiores danos no desenvolvimento do arroz quando comparada com a gasolina.

Palavras-chave: Contaminação do solo; Fisiologia vegetal; Desenvolvimento vegetal; *Oryza sativa*.

Abstract

Hydrocarbons directly or indirectly affect plants causing adverse effects on the physiological processes of plants. This work aims to analyze the initial development of rice in soil contaminated by hydrocarbons. The work was carried out in August 2021, at Faculdades Integradas Stella Maris de Andradina (FISMA), located in the municipality of Andradina, state of São Paulo. The design was completely randomized, in a 2x5 factorial scheme, with two hydrocarbons, regular gasoline and kerosene; interacting with five doses applied to the soil, namely: zero (control); a; two; four and eight mL dm⁻³ of soil and with four replications, totaling 40 plots. Rice is not indicated for the phytoremediation of soils contaminated with gasoline and kerosene. Rice shows a negative response when exposed to soils contaminated by hydrocarbons. Kerosene caused more damage to rice development when compared to gasoline.

Keywords: Soil contamination; Plant physiology; Plant development; *Oryza sativa*.

Resumen

Los hidrocarburos afectan directa o indirectamente a las plantas causando efectos adversos en los procesos fisiológicos de las plantas. Este trabajo tiene como objetivo analizar el desarrollo inicial del arroz en suelos contaminados por hidrocarburos. El trabajo se realizó en agosto de 2021, en las Faculdades Integradas Stella Maris de Andradina (FISMA), ubicadas en el municipio de Andradina, estado de São Paulo. El diseño fue completamente al azar, en esquema factorial 2x5, con dos hidrocarburos, gasolina regular y queroseno; interactuando con cinco dosis aplicadas al suelo, a saber: cero (control); a; dos; cuatro y ocho mL dm⁻³ de suelo y con cuatro repeticiones, totalizando 40 parcelas. El arroz no está indicado para la fitorremediación de suelos contaminados con gasolina y queroseno. El arroz muestra una respuesta negativa cuando se expone a suelos contaminados por hidrocarburos. El queroseno causó más daño al desarrollo del arroz en comparación con la gasolina.

Palabras clave: Contaminación del suelo; Fisiología vegetal; Desarrollo vegetal; *Oryza sativa*.

1. Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das culturas mais cultivada na região centro-oeste do Brasil, e pode ser plantada em diversos sistemas de cultivo, onde o ambiente que foi inserido pode sofrer impactos devido à exploração humana, o que leva a contaminação, segregação dos solos e mesmo contaminação exógena (Silva, 2018). Com o desenvolvimento do agronegócio, novos desafios surgiram na região, como a necessidade de introduzir novas variedades de arroz adaptadas às condições locais e adotar tecnologias de prevenção e mitigação dos impactos ambientais (Fragoso *et al.*, 2021).

Segundo relatos, vários incidentes de um grande número de derramamentos de óleo não biodegradável no solo são as principais causas de sérios danos ambientais (Sanderson *et al.*, 2018). Os contaminantes por hidrocarbonetos tornam-se de grande relevância para estudos devido a seus danos aos ecossistemas. A presença elevada de contaminantes no solo pode ocasionar perda de algumas das propriedades físico-químicas proporcionando impactos negativos sobre a gravidade específica, diminuindo o limite líquido, aumento do limite plástico e redução na porcentagem das partículas (Ferreira *et al.*, 2020).

De modo geral, os hidrocarbonetos atingem direta ou indiretamente as plantas provocando efeitos adversos nos processos fisiológicos na germinação, alongamento de raízes, translocação de água e nutrientes, floração, frutificação e maturação (Hussain *et al.*, 2019). Nesse sentido, plantas ideais para remediação do solo, deve possuir uma série de características, como capacidade de superacumulação de materiais contaminantes preferencialmente nas partes aéreas; tolerância a altas concentrações desses contaminantes; altas taxas de crescimento e de biomassa (Hungria *et al.*, 2019).

Nos últimos anos, vários estudos foram desenvolvidos para analisar o comportamento das plantas sobre solos contaminados por hidrocarbonetos, onde cada resposta pode ser diferentes devido ao tipo de solo, o tempo de exposição, espécie da planta e grau de contaminação. Com isso, as plantas desenvolvem sinais aparentes após a exposição sobre contaminantes, e outras espécies podem se destacar por serem tolerantes a este tipo de exposição e ainda contribuir para a biorremediação do solo (Reis, 2019).

O objetivo desse trabalho é de conhecer o desenvolvimento inicial do arroz cultivado em solos contaminados com hidrocarbonetos.

2. Material e Métodos

O experimento foi realizado em agosto de 2021, 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 2x5, sendo dois tipos de hidrocarbonetos sendo eles: gasolina comum e querosene; interagindo com cinco doses aplicadas no solo, sendo elas: zero (controle); um; dois; quatro e oito mL dm⁻³ de solo e com quatro repetições, totalizando 40 parcelas ou vasos.

Os vasos continham a capacidade volumétrica de cinco dm⁻³ e foram preenchidos com solo originado da camada de 0-0,3 m classificado como Latossolo Vermelho hipoférrico (Embrapa, 2013) e apresentava os seguintes atributos químicos conforme a Tabela 1. Após aplicação dos hidrocarbonetos 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 nos hidrocarbonetos.

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	----- mmol _c dm ⁻³ -----								
3,9	18	2,0	1,6	5,0	3,0	42	11	9,6	51,6	19	53

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

O solo foi adubado conforme as exigências da cultura do arroz segundo Raij *et al.* (1996). E foram plantadas seis sementes viáveis da cultivar BRS Pampeira, a cinco centímetros de profundidade. Durante a condução do experimento todos os vasos foram irrigados até atingirem a capacidade de campo e todos os tratamentos culturais foram realizados.

Aos 30 dias após o plantio foram determinadas as seguintes variáveis: teores de clorofila a e b (Cloro A e Cloro B - $\mu\text{mol m}^{-2}$), por leitura com o uso do aparelho clorofiLOG, marca Falker®, dados os valores do índice SPAD (Parry *et al.*, 2014) e posteriormente convertidos em valores absolutos dos pigmentos conforme descrito por Chang e Troughton (1972). Para compreender o desenvolvimento da cultura, foi determinada a altura da planta (AP) com o auxílio de uma régua graduada em milímetros; diâmetro de perfilho (DP) com o uso de um paquímetro graduado em milímetros e número de folha (NF) obtida por contagem direta na planta. A parte aérea foi cortada rente ao solo para a determinação da massa seca da parte aérea (MSPA) 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 aplicada a análise de regressão para as doses de óleo, onde foram testados seus modelos: linear; quadrático e cúbico, enquanto para os tipos de hidrocarbonetos foi aplicado o Teste de Tukey a 5% de probabilidade (Banzatto & Kronka, 2013), foi utilizado o programa estatístico R versão Studio (R Core Team, 2015).

3. Resultados

Foi observada uma interação entre os tipos de hidrocarbonetos com as suas doses como apontado na Tabela 2.

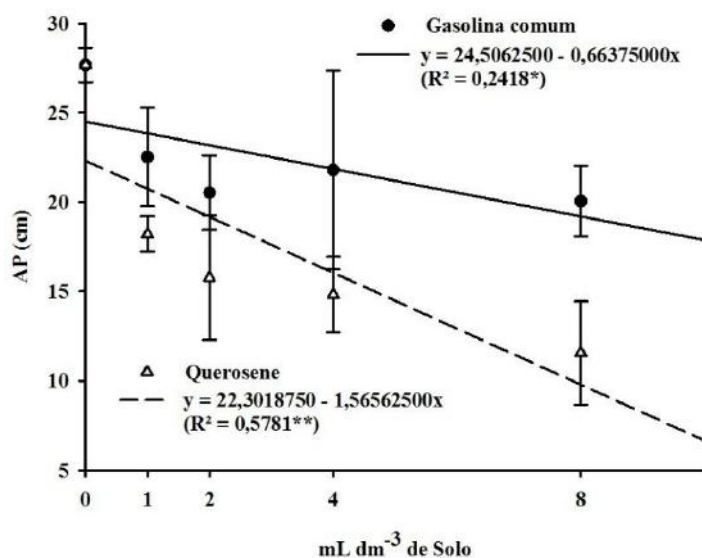
Tabela 2: Valores médios de altura de planta (AP); número de folhas (NF); diâmetro de perfilho (DP) e massa seca da parte aérea (MSPA) do arroz cultivado em solos contaminados por hidrocarbonetos. Andradina, 2021.

Hidrocarboneto (H)	AP(cm)	NF	DP(cm)	MSPA (g)
Gasolina comum	22,51a	8,15a	0,13a	0,18a
Querosene	17,60b	8,05a	0,12a	0,20a
DMS	1,65	1,13	0,008	0,03
p valor	0,0001**	0,8574ns	0,0809ns	0,1679ns
Doses (D)				
0 mL dm ⁻³ de solo	27,67a	10,75a	0,17a	0,29a
1 mL dm ⁻³ de solo	20,36b	10,75a	0,16a	0,20b
2 mL dm ⁻³ de solo	18,15bc	6,25b	0,13b	0,14b
4 mL dm ⁻³ de solo	18,31bc	6,62b	0,10c	0,17b
8 mL dm ⁻³ de solo	15,80c	6,12b	0,09c	0,13b
DMS	3,71	2,54	0,01	0,06
p valor	0,0001**	0,0001**	0,0001**	0,0001**
p valor HxD	0,0279*	0,0304*	0,0770ns	0,4690ns
CV (%)	12,68	21,51	9,88	24,67
MG	20,06	8,10	0,13	0,19
Regressão				
Gasolina comum	p valor	0,0126*	0,0176*	---
	Modelo	L	Q	---
Querosene	p valor	0,0001**	0,0002**	---
	Modelo	L	L	---

DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação. MG: Média geral. Ns: $p=0.05$; *: $0.01 \leq p < 0.05$; **: $p < 0.01$. Médias iguais nas colunas não diferem estatisticamente, foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. L: Polinomial de 1º grau. Q: Polinomial de 2º grau. Fonte: Autores.

Os hidrocarbonetos gasolina e querosene juntamente com as suas doses aplicadas no solo responderam de maneira linear negativa, sendo assim, quando ocorreu o aumento nas doses as plantas diminuíram a sua altura conforme apontado na Figura 1, vale destacar que, a querosene foi mais prejudicial para o crescimento das plantas conforme demonstrado na Tabela 2, implicando em aproximadamente 21,81%.

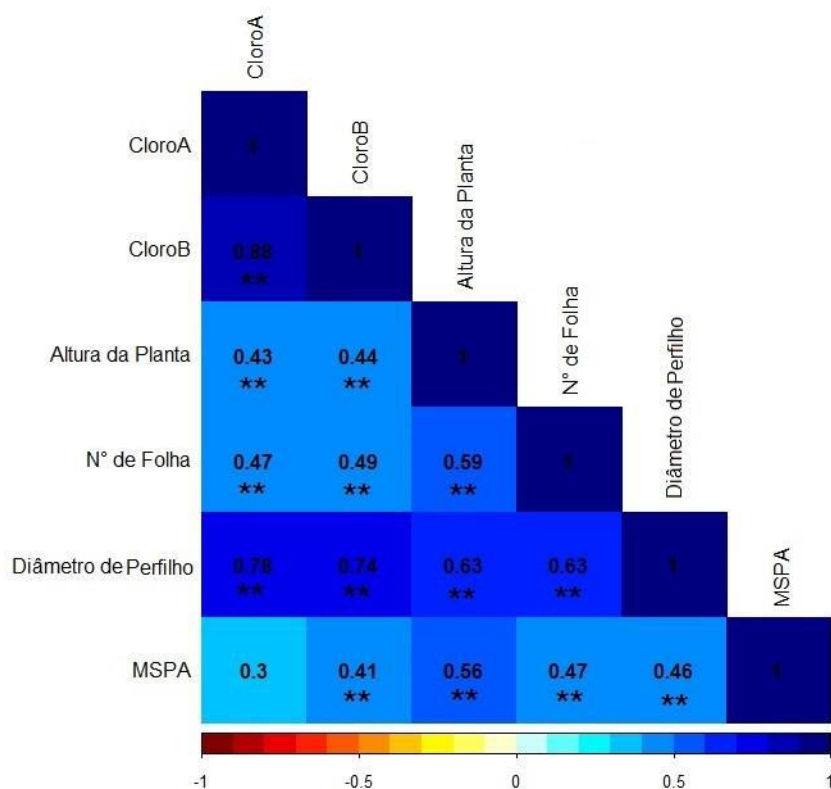
Figura 1: Regressão de altura de planta (AP) do arroz cultivado em solos contaminados por hidrocarbonetos. Andradina, 2021.



Fonte: Autores.

Também foram encontradas correlações de Pearson significativas entre a altura de planta (AP) com as concentrações de clorofilas A e B, número de folhas, diâmetro de perfilho e massa seca parte aérea, como observado na Figura 2.

Figura 2: Correlações de Pearson entre as variáveis analisadas no arroz quando cultivado em solos contaminados por hidrocarbonetos. Andradina, 2021. CloroA e B – Clorofila A e B; MSPA – Massa seca da parte aérea.



Fonte: Autores.

Ao passo que ocorre o aumento nas intensidades das clorofilas A e B, número de folhas, diâmetro de perfilho e massa seca parte aérea, houve o aumento na altura de planta, como demonstrado na Tabela 3.

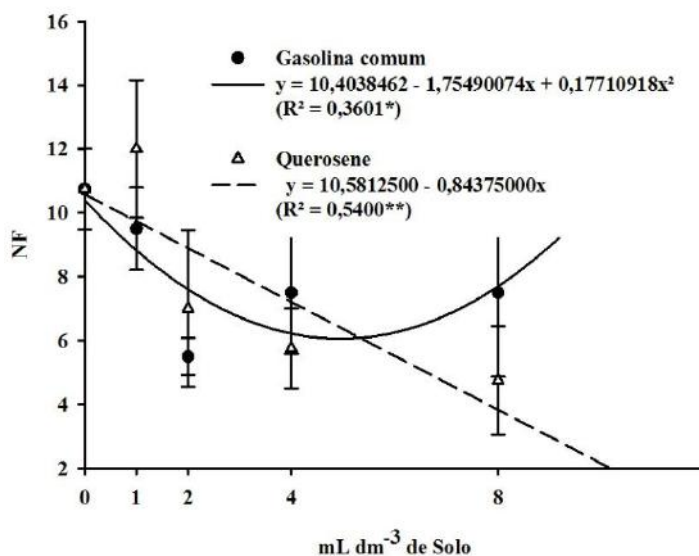
Tabela 3: Matriz de regressões lineares significativas após a correlação de Pearson entre as variáveis do arroz cultivado em solo contaminado com hidrocarboneto. Andradina, 2021.

y=	a+bx	p valor	R ²
AP	14,7987005 + 0,04832389CloroA	0,0030**	0,1859
	13,9371664 + 0,27986258CloroB	0,0051**	0,1903
	10,7495620 + 1,14943680NF	0,0001**	0,3487
	6,98266405 + 98,8834476DC	0,0001**	0,3916
NF	5,12574126 + 0,02731792CloroA	0,0005**	0,2250
	4,56324914 + 0,16165787CloroB	0,0012**	0,2405
	12,9676237 + 36,9972683MSPA	0,0001**	0,3082
MSPA	0,10446335 + 0,00398741CloroB	0,0067**	0,1715
	0,08154912 + 0,01359887NF	0,0020**	0,2168
	0,04649838 + 1,09793288DC	0,0027**	0,2144
DC	0,07226500 + 0,00055095CloroA	0,0001**	0,6032
	0,06668678 + 0,00299676CloroB	0,0001**	0,5805
	0,06937109 + 0,00776283NF	0,0001**	0,3971
CloroB	5,09514255 + 0,15414688ClroA	0,0001**	0,7785

CloroA – Clorofila A; CloroB – Clorofila B; AP – Altura de Planta; NF – Número de Folhas; DC – Diâmetro de Caule; MSPA – Massa Seca da Parte Aérea. *: 0,01≤p<0,05; **: p<0,01. Fonte: Autores.

Foi observada novamente uma interação entre os tipos de hidrocarbonetos com as suas doses para o número de folhas, onde a gasolina apresentou uma resposta quadrática, que apresentou um ponto mínima na dose de 4,95 mL dm⁻³ de solo, ao passo que, a querosene apresentou uma resposta linear, como observado na Figura 3. Foram encontradas correlações entre as clorofilas A e B e massa seca da parte aérea com o número de folhas na cultura arroz como demonstrado na Figura 2, e é possível observar na Tabela 3 as lineares dessas interações.

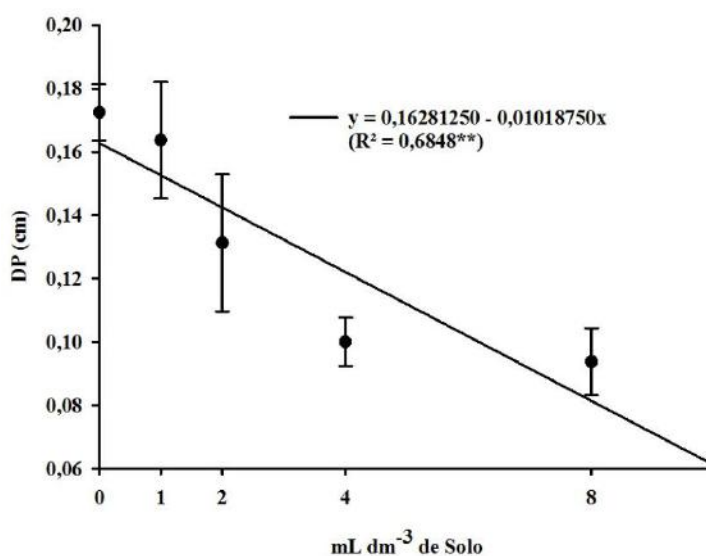
Figura 3: Regressão de número de folhas (NF) do arroz cultivado em solos contaminados por hidrocarbonetos. Andradina, 2021.



Fonte: Autores.

Foi observado de maneira isolada um efeito significativo somente para doses para o diâmetro de perfilho (Tabela 2), conforme ocorreu o aumento na concentração dos hidrocarbonetos no solo, os diâmetros dos perfilhos diminuíram como apresentado na Figura 4. As clorofilas A e B e número de folhas se correlacionam com a o diâmetro de perfilho (Figura 2), que pode ser explicado com as lineares apresentadas na Tabela 3.

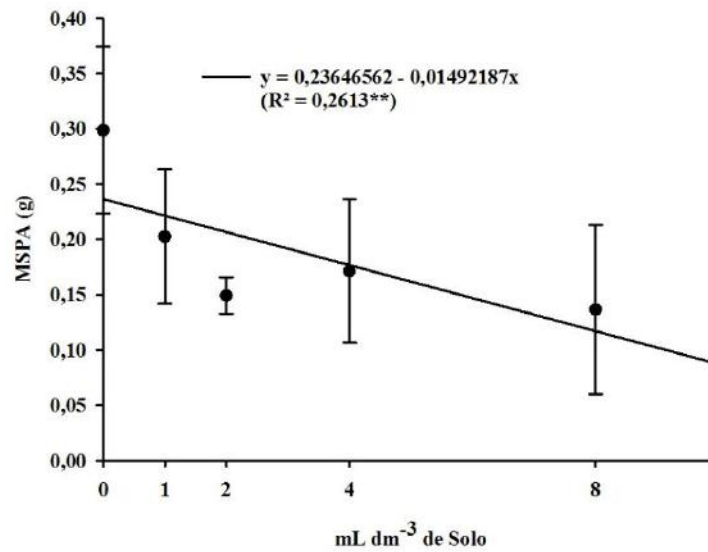
Figura 4: Regressão do diâmetro de perfilho (DP) do arroz cultivado em solos contaminados por hidrocarbonetos. Andradina, 2021.



Fonte: Autores.

De maneira semelhante foi observado de maneira isolada um efeito significativo somente para doses para a massa seca da parte aérea (Tabela 2), conforme ocorreu o aumento na concentração dos hidrocarbonetos no solo, a massa seca da parte aérea do arroz diminuiu como apresentado na Figura 5, e também foram observadas correlações com a clorofila B, número de folhas e diâmetro de caule (Figura 2), que podem ser explicadas com as equações lineares presentes na Tabela 3.

Figura 5: Regressão da massa seca da parte aérea (MSPA) do arroz cultivado em solos contaminados por hidrocarbonetos. Andradina, 2021.



Fonte: Autores.

Foi observada uma interação entre os fatores para os teores de clorofila A como apresentado na Tabela 4.

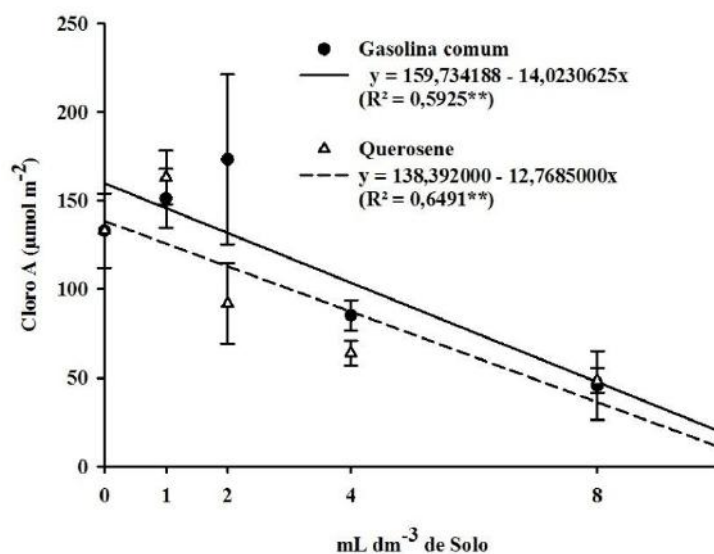
Tabela 4: Valores médios das clorofilas A e B (Cloro A e B – $\mu\text{mol m}^{-2}$) do arroz cultivado em solos contaminados por hidrocarbonetos. Andradina, 2021.

Hidrocarboneto (H)	Cloro A ($\mu\text{mol m}^{-2}$)	Cloro B ($\mu\text{mol m}^{-2}$)
Gasolina comum	117,66a	22,39a
Querosene	100,08b	21,36a
DMS	14,04	2,99
p valor	0,0161*	0,4869ns
Doses (D)		
0 mL dm^{-3} de solo	132,94a	26,58a
1 mL dm^{-3} de solo	157,13a	30,89a
2 mL dm^{-3} de solo	132,61a	24,61a
4 mL dm^{-3} de solo	74,62b	17,66b
8 mL dm^{-3} de solo	47,05b	9,63c
DMS	31,60	6,73
p valor	0,0001**	0,0001**
p valor HxD	0,0013**	0,5115ns
CV (%)	19,87	21,07
MG	108,87	21,87
		Regressão
Gasolina comum	p valor	0.0001**
	Modelo	L
Querosene	p valor	0.0001**
	Modelo	L

DMS: Diferença mínima significativa. CV: Coeficiente de variação. MG: Média geral. Ns: $p=0.05$; *: $0.01 \leq p < 0.05$; **: $p < 0.01$. Médias iguais nas colunas não diferem estatisticamente, foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. L: Polinomial de 1º grau. Q: Polinomial de 2º grau. Fonte: Autores.

Dessa maneira, a concentração de Clorofila A do arroz respondeu de maneira linear negativa para a gasolina e querosene, quando houve o aumento na sua concentração dos hidrocarbonetos no solo, conforme demonstrado na Figura 6, vale ressaltar que aproximadamente a querosene foi mais prejudicial em 14,94% em relação à gasolina. E também foram encontradas correlações significativas com todas as variáveis, dessa forma as clorofilas influenciam todo o desenvolvimento do arroz, que pode ser entendida com apresentação das equações lineares presentes na Tabela 3.

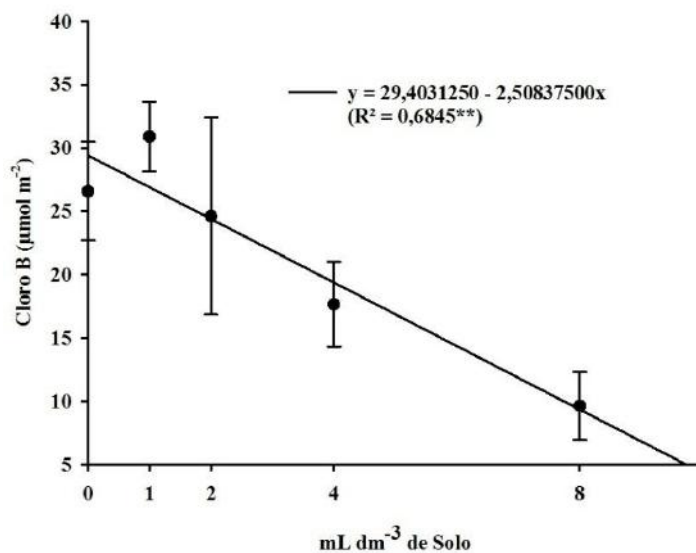
Figura 6: Regressão da Clorofila A do arroz cultivado em solos contaminados por hidrocarbonetos. Andradina, 2021.



Fonte: Autores.

Porém, foi observada uma diferença estatística de maneira isolada somente para o fator doses dos hidrocarbonetos no solo para a concentração de Clorofila B como observada na Tabela 3, e demonstrada na Figura 7.

Figura 7: Regressão da clorofila B (Cloro B) do arroz cultivado em solos contaminados por hidrocarbonetos. Andradina, 2021.



Fonte: Autores.

4. Discussão

Plantas de arroz muito altas podem ocorrer tombamento, e com isso proporcionar uma perda na produtividade e na qualidade de grão (Fragoso *et al.*, 2021). A correlação das clorofilas com a altura de planta já eram esperados, pois plantas quando apresentam maiores concentrações de clorofilas, garante maior eficiência fotossintética e assim uma maior taxa de

assimilação de CO₂ atmosférico. Segundo Costa *et al.*, (2021) alguns estudos que avaliaram o desenvolvimento das plantas em solos mostraram que a produção de matéria seca é influenciada pela taxa de contaminação do solo por metais pesados.

Esses resultados foram corroborados por Ferreira *et al.*, (2021) que demonstraram o sinal de que hidrocarbonetos no solo afetam diretamente a produção foliar das plantas. O estresse provocado pela presença dos hidrocarbonetos no solo faz com que algumas plantas tomam medidas no seu metabolismo com intuito de combater esses efeitos adversos, principalmente na elevação de enzimas antioxidativa e na osmorregulação das células, que passa a elevar suas chances de sobrevivência (Quitério *et al.*, 2011).

De maneira geral o decréscimo do número de folhas, ocasiona a redução da área foliar, portanto, reduz a taxa fotossintética da planta, conseqüentemente ocorrerá uma menor produção e translocação de fotoassimilados para as diferentes partes da planta, fato este passa a alterar no desenvolvimento da planta (Taiz & Zeiger, 2017; Hungria *et al.*, (2019)).

Um baixo desenvolvimento de plantas em solo contaminado por óleo, isso pode ter implicado algum dano no sistema radicular, todo o metabolismo da planta é comprometido, conseqüentemente a produção de biomassa (Hussain *et al.*, 2019).

A destruição de clorofilas ocorre de forma rápida em plantas que são cultivadas sob a presença de hidrocarbonetos na caracterização espectral de *Brachiaria brizantha*, que passou a influenciar na altura final das plantas, massa seca da parte aérea (Quitério *et al.*, 2011). Vale ressaltar que Ferreira *et al.*,(2021) verificaram a soja na presença dos hidrocarbonetos mesmo em baixa concentração no solo apresentaram respostas nas negativas intensas e rápidas durante a fase inicial, onde essas alterações foram visuais na parte aérea, com o surgimento de clorose nas folha. Essas manchas podem ser uma resposta fisiológica quanto ao acúmulo de substâncias tóxicas originadas no estresse oxidativo que a planta pode ter desenvolvido, corroborando com Reis *et al.*, (2018) quando estudaram a soja exposta ao níquel.

5. Conclusão

Não é indicado o arroz para a fitorremediação de solos contaminados com gasolina e querosene.

O arroz apresenta resposta negativa quando exposto a solos contaminados por hidrocarbonetos.

O querosene provocou maiores danos no desenvolvimento do arroz quando comparada com a gasolina.

Referências

- Banzatto, D. A., & Kronka, S. do N. (2013). *Experimentação Agrícola*. (4ª .ed.) Funep. 237p.
- Castro, E. M., Pereira, F. J., & Paiva, R. (2009). *Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos*. Lavras: UFLA, 234p.
- Chang, F. H., & Troughton, J. H. (1972). Chlorophyll a/b ratios in C3 and C4 plants. *Photosynthetica*. 6: 57–65.
- Costa, S., Vicente, M. G., Gomes, V., Arana, A. R. A., & Uliana, M. (2021). Avaliação do potencial de bioacumulação de cromo em plantas de girassol. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 14(2): 515-522. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n2e7634>
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2013). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. (3ª.ed.), 353 p.
- Ferreira, J. P. D. S., Cunha, M. L. O., & Lisboa, L. A. M. (2020). Desenvolvimento inicial do amendoim quando cultivado em solo contaminado por óleo diesel. *Research, Society and Development*, 9(9): 1-18. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7983>
- Fragoso, D. B., Rangel, P. H. N., Rocha, R. N. C., & Cardoso, E. A. (2021). Contribuição das cultivares de arroz da embrapa na produção de arroz irrigado no estado do Tocantins. *Agri-Environmental Sciences*, 7(2): 1-6. <http://dx.doi.org/10.36725/agries.v7i2.5440>
- Hungria, L. C., Oliveira, E. D., Sampaio, I. M. G., Souza, E. S., & Fernandes, A. R. (2019). Tolerância de plantas de Jambu (*Acmella oleracea*) cultivadas em solo contaminado por cádmio. *Brazilian Journal of Development*. 5(11): 26211-26219. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n11-257>
- Hussain, I., Puschenreiter, M., Gerhard, S., Sani, S. G. A. S., Khan, W., & Reichenauer, T. G. (2019). Differentiation between physical and chemical effects of oil presence in freshly spiked soil during rhizoremediation trial. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(18): 18451-18464. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-019-04819-6>
- Parry, C., Blonquist Junior, J. 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., 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: 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.): IAC, 285p.

Reis, A. R., Barcelos, J. P. Q., Osório, C. R. W., Santos, E. F., Lisboa, L. A. M., Santini, J. M. K., Santos, M. J. D., Furlani Junior, E., Campos, M., Figueiredo, P. A. M., Lavres, J., & Gratão, P. L. (2017). A glimpse into the physiological, biochemical and nutritional status of soybean plants under Ni-stress conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 144: 76-87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.10.006>

Reis, T. F. (2019). *Avaliação do desenvolvimento do manjeriço - Ocimum basilicum L. - em latossolo vermelho contaminado com zinco*. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.

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

Segatto, F. B., Bisognin, D. A., Benedetti, M., Costa, L. C., Rampelotto, M. V., & Nicoloso, F. T. (2004). Técnica para o estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. *Ciência Rural*, 5: 1597-1601. <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782004000500042>

Silva, D. C. R. (2018). *Avaliação da ecotoxicidade no solo entorno de uma fonte natural de água pelo teste Allium cepa L. e sua correlação com a presença de resíduos de agrotóxicos*. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2018.

Taiz, L., Zeiger, E., & Moller, I., Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. (6ª.ed): Artmed. 888p.