



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**INTERAÇÃO DE BIOCHAR E PÓ DE ROCHA SOBRE A PROPRIEDADE
QUÍMICAS DO SOLO E ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS DO
GIRASSOL ORNAMENTAL**

Jesus Manuel Perez Clara

ORIENTADOR: Prof. Dr. Delvio Sandri

COORIENTADOR: Prof. Dr. Cícero Célio de Figueiredo

PROJETO DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF

MAIO DE 2024

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**INTERAÇÃO DE BIOCHAR E PÓ DE ROCHA SOBRE A PROPRIEDADE
QUÍMICAS DO SOLO E ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS DO GIRASSOL
ORNAMENTAL**

Jesus Manuel Perez Clara

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDO AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM AGRONOMIA.

APROVADA POR:

DELVIO SANDRI, Doutor/FAV/UnB/ - Orientador

ANDERSON MARCOS DE SOUZA, Doutor/EFL/UnB - Examinador interno

CARLOS EDUARDO PACHECO LIMA, Doutor/ CNPH - Examinador externo

JÓISMAN FACHINI, Doutora/Grupo Campo - Examinadora externa

JORDANA MOURA CAETANO, Doutora/FAV/UnB - Suplente

**BRASÍLIA/DF
MAIO DE 2024**

FICHA CATALOGRÁFICA

Clara, Jesus Manuel Perez

Interação de biochar e pó de rocha sobre a propriedade químicas do solo e atributos morfológicos do girassol ornamental. / Jesus Manuel Perez Clara, orientação de Delvio Sandri e coorientação de Cícero Célio de Figueiredo
- Brasília, 2024.

164 p.: il.

Tese de doutorado (D) – Universidade de Brasília/ Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2024.

1. Rochagem. 2. Química do solo. 3. Manejo da irrigação. 4. Remineralizador. 5. *Helianthus annuus* L. I. Sandri, D. II. Título.

CDD ou CDU
Agris / FAO

CLARA, J.M.P. **Interação de biochar e pó de rocha sobre a propriedade químicas do solo e atributos morfológicos do girassol ornamental.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2024, 164 p. Tese de Doutorado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Jesus Manuel Perez Clara

TÍTULO DA TESE: **INTERAÇÃO DE BIOCHAR E PÓ DE ROCHA SOBRE A PROPRIEDADE QUÍMICAS DO SOLO E ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS DO GIRASSOL ORNAMENTAL.**

GRAU: Doutor, ANO: 2024.

É concedida à Universidade de Brasília de Brasília permissão para reproduzir cópias desta qualificação de doutorado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta qualificação de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Nome: Jesus Manuel Perez Clara

CPF: 085.755.671-10

Endereço: CLN. 324, Bloco D, Ap. 101. Comercial, CEP: 7067540.

Tel.: +55 (61) 99151- 7487, E-mail: chuy19832001@gmail.com

Dedicatória

Dedico este trabalho para: minha família, irmãos e sobrinhos, pais e avós que se encontram no céu com Nosso senhor JESUS e Nossa senhora MARIA. Eu agradeço a amizade e confraternização de meus amigos de diferentes países.

Agradeço muito e com humildade digo que foram minha força para me tornar um Doutor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha força, fé e amor próprio para finalizar o doutorado, como também a nosso DEUS e a JESUS pela sabedoria enviada por intermédio do Espírito Santo, a Nossa Senhora Aparecida pelos milagres concebidos e por permitir que eu faça o que mais amo neste mundo e poder morar onde eu sou feliz.

A todos os meus Santinhos, Padre Pio de Pietrelcina, São Francisco de Assis, Santa Dulce dos Pobres, Madre Teresa de Calcutá, Santa Teresinha do Menino Jesus.

A minha família linda e maravilhosa que torceram durante toda a minha caminhada, em especial aos meus pais Reina Maria e Abelardo, que do céu rezaram todo tempo, também meus irmãos, Maritza, Abelardo e Luis, Liliana, Noemi, Fernando, e aos meus sobrinhos Fernando, Fabricio, Valentina, Ismael, Reina, Eduardo, Reina, Jose, Valentina e Angel Miguel.

Ao Professor Delvio Sandri pela orientação, sabedoria e conselhos na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Cícero Célio de Figueiredo pela coorientação e pelo fornecimento do biochar de lodo de esgoto.

A Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília (UnB) pela disponibilização de espaço para a realização da pesquisa.

A doutoranda e colega Livia Mendonça por fornecer o pó de rocha.

Ao doutorando Adriano pelo auxílio no controle fitossanitário do girassol.

Ao técnico Daniel Athaydes pelo auxílio na montagem da automação do sistema de irrigação.

A Faculdade da Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, pela oportunidade de enriquecer meus conhecimentos.

A Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF) pelo auxílio financeiro concedido para a realização da pesquisa, Processo n. 00193-00001729/2022-61, como também à empresa SAKATA por fornecer gratuitamente as sementes do Girassol ornamental.

Aos funcionários da Fazenda Água Limpa que colaboraram na condução do experimento, Diovaner, senhor Antônio, senhor Augusto, Mestre Queen, Zé Antônio, Zé Vieira e Vanduir,

Aos professores da UnB que ministraram disciplinas, um aprendizado permanente, Prof^a.Chris Vinson, Prof. Fidel, Prof. Maisa, Prof. Álvaro, Prof^a. Michelle.

Aos amigos e colegas, Iago, Neila, Antônio, Luan, Alexandra, Ingrid, Alysson, Ana Angélica, Ananesia, Cecibel, Jorge, Diany, Jazmin, Fany, Ana Cristina, Daniel Sala, Senhora Ivonete, Bruno, Camila, Claudio, Cristal, Gaby, Evelyn, Natividad, Letícia, Daniel Mex,

Denisse Mex, Dio, Dory, Alexandra, Cristobal, Edna, Emanuel, Maria Colom, Jéssica, Era, Emerson Gonçalves, Faby, Fanny, Flavia, Freddy, Hyan, Jesus cana, Joniana, Jose Miguel, Judith, Julia, Senhora Karla, a rrusa Katerina, Leidiane, Leticia, Luísa, Mara, Alexandre, Marileydy, Maristela, Marisol, Yadira, Janet, Mary Nac., Mel Castro, Nádia Mendoza, Nina, Neli, Ornelle, Oslí, Pedro, Priscila Reis, Priscila Pas, Veronica Italy, Ulisse, Terezinha, Tamaris, Suleima, Sida aparecida, Senhora Dora, Sara Colom, Sandra Choca, Rodrigo, Ritsuko, Rennan, e meu querido amigo Jonh o Americano.

Obrigado a todos pelas palavras de força, ditas de coração e por segurar minha mão para não desistir da luta.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO	xviii
ABSTRACT	xix
1. INTRODUÇÃO	20
2. OBJETIVOS	23
2.1 Objetivo geral.....	23
2.2 Objetivos específicos	23
3. REVISÃO DE LITERATURA	24
3.1 Produção e disposição de biochar no solo	24
3.2 Uso de pó de rocha em solo agrícola	27
3.3 Crescimento das plantas, classificação comercial e demanda hídrica do girassol.....	29
3.4 Manejo da água no solo para atender as demandas edafoclimáticas do girassol	34
4. MATERIAL E MÉTODOS	36
4.1 Local do experimento.....	36
4.2 Origem do solo usado no preenchimento dos vasos	36
4.3 Calagem, preparo do solo e parâmetros químicos do solo.....	36
4.4 Cultivar de <i>Sunflower Sunbright</i> vasos de cultivo	37
4.5 Ciclos de cultivo 1 (C1) e 2 (C2) do girassol cultivar sunflower sunbright	38
4.6 Origem do pó de rocha (PR)	39
4.7 Origem do biochar de lodo de esgoto (BLE)	40
4.8 Irrigação e manejo da irrigação.....	41
4.8.1 Sistema de irrigação	41
4.8.2 Manejo da irrigação	43
4.9 Informações climáticas no C1 e C2.....	45
4.10 Atributos morfológico do girassol ornamental (<i>Sunflower Sunbright</i>) medidos nos ciclos de cultivos C1 e C2.....	48
4.10 Análises estatísticas.....	53

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1 Potencial matricial de água no solo C1 e C2 do girassol ornamental	54
5.3 Parâmetros morfológicos do girassol ornamental Sunflower Sunbright	57
5.3.1 Análise de variância das variáveis morfológicas do girassol no ciclo C1 e C2	57
5.3.2 Dados morfológicas do girassol ornamental sunflower sunbright no C1 e C2....	59
5.3.4 Análise morfológica das flores do girassol no C1 e C2	81
5.3.5 Análise biplot dos atributos morfológicos do girassol no C1 e C2.....	102
5.4 Parâmetros químicos do solo nos C1 e C2.....	104
6. CONCLUSÕES	131
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	133

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Padrão de comprimento de haste, espessura da haste e do diâmetro do botão. ...	30
TABELA 2. Tabela para determinação da categoria de qualidade de acordo com a tolerância aos defeitos.....	31
TABELA 3. Valores de atributos físicos, químicos e granulometria do solo utilizado no cultivo do girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright antes a realização da calagem.	37
TABELA 4. Propriedades físico-químicas do pó de rocha de origem micaxisto utilizado no cultivo do girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright.	40
TABELA 5. Propriedades físico-químicas do biochar de lodo de esgoto produzido na temperatura de pirólise de 300 °C e misturado ao solo no início do primeiro ciclo de cultivo do girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright.....	41
TABELA 6. Análise de variância dos atributos morfológicos do girassol ornamental Sunflower Sunbright em função das doses de BLE e PR no C1.	58
TABELA 7. Análise de variância dos atributos morfológicos do girassol ornamental Sunflower Sunbright em função das doses de BLE e PR no C2.	59
TABELA 8. Resumo da análise de variância das propriedades químicas do solo cultivados com girassol ornamental em função das doses de biochar de lodo de esgoto (BLE) e pó e rocha (PR) no C1.....	105
TABELA 9. Análise de variância das propriedades químicas do solo cultivado com girassol ornamental em função das doses de biochar de lodo de esgoto (BLE) e pó e rocha (PR) no C2.	106
TABELA 10. Valores de pH do solo cultivado com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE (0, 2, 4, 6 e 8%) e de PR (0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹) nos C1 e C2.....	108
TABELA 11. Valores do (H+Al) (cmol _c dm ⁻³) do solo cultivado com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ nos C1 e C2.....	109
TABELA 12. Valores da razão entre (H+Al)/CTC (%) do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ nos C1 e C2.	110

TABELA 13. Valores de (H+Al) do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ nos C1 e C2.....	111
TABELA 14. Valores de MO (g kg ⁻¹) do solo cultivado com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ nos C1 e C2.....	112
TABELA 15. Valores de V do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de 0, 2, 4, 6 e 8% de BLE e 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ de PR nos C1 e C2.....	114
TABELA 16. Valores de (P Mehlich) (mg dm ⁻³) do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ nos C1 e C2.	116
TABELA 17. Valores da relação razão (Ca/Mg) (cmol _c dm ⁻³) do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ nos C1 e C2.....	118
TABELA 18. Valores médios de Ca e K do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ nos C1 e C2.	120
TABELA 19. Valores médios de Mg e relação Ca/Mg do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ nos C1 e C2.	121
TABELA 20. Valores médios da CTC, relação Mg/CTC e K/CTC do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ nos C1 e C2.	123
TABELA 21. Valores de K/CTC (%) do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de 0, 2, 4, 6 e 8% de BLE e 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ de PR nos C1 e C2.	124
TABELA 22. Valores médios da razão entre Ca/CTC do solo removido dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de 0, 2, 4, 6 e 8% de BLE e 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ de PR nos C1 e C2.	125
TABELA 25 - Correlação de Pearson's dos valores de pH, Ca, Mg, Ca ⁺ Mg, H+Al, CTC, P, K, M.O., V, Ca/Mg, Ca/CTC, Mg/CTC, (H+Al)/CTC, K/CTC em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ nos C1 e C2.....	127

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Imagem ilustrativa do Girassol cv Sunflower Sunbright.	30
FIGURA 2. Distribuição dos vasos de cultivo no interior do viveiro acomodados sobre tijolos para evitar o contato direto com o solo e minimizar a incidência de doenças.	38
FIGURA 3. Distribuição dos tratamentos de cultivo de girassol ornamental cultivar <i>Sunflower Sunbright</i> em delineamento experimental inteiramente casualizado para os fatores doses de BLE e PR.	39
FIGURA 4. Pó de rocha que foi misturado ao solo no início do primeiro ciclo de cultivo (C1) do girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright.	40
FIGURA 5. BLE no início do primeiro ciclo de cultivo (C1) do girassol ornamental cultivar <i>Sunflower Sunbright</i>	41
FIGURA 6. Tensímetro digital (a) e tensiômetro (b) instalado nos vasos com doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% v/v, independente das doses de PR.	43
FIGURA 7. Curva de retenção de água com valores de teor de água no solo em função do potencial matricial do Latossolo Vermelho Amarelo, segundo o modelo de van Genuchten.	45
FIGURA 8. Valores medidos e linha de tendência da radiação solar global (a), temperatura do ar máxima, mínimas e médias do ar (b) e umidade relativa do ar máximas, mínimas e médias (c) durante o primeiro ciclo (C1) do girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright.	46
FIGURA 9. Valores medidos e linha de tendência da radiação solar global (a), temperatura do ar máxima, mínimas e médias do ar (b) e umidade relativa do ar máximas, mínimas e médias (c) durante o C2 do girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright.	47
FIGURA 10. Altura de plantas (AP) aos 10 (a), 20 (b), 40 (c) e 60 (d) DAS do girassol ornamental cultivar <i>Sunflower Sunbright</i>	48
FIGURA 11. Número de folhas (NF) aos 10 (a), 20 (b), 40 (c) e 60 (d) DAS do girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright.	49
FIGURA 12. Diâmetro do coleto (DC) aos 10 DAS (a), 20 DAS (b), 40 DAS (c) e 60 (d) DAS do girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright.	50
FIGURA 13. Fitomassa úmida (FFA) (a) e seca da parte aérea (MSA) DAC (b) e (c), girassol ornamental cultivar <i>Sunflower Sunbright</i>	50
FIGURA 14. Massa úmida radicular (MFR) (a) e seca radicular (MSR) (b) aos 60 DAS do girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright.	51

FIGURA 15. Diâmetro interno do capítulo (DIC), diâmetro externo do capítulo (DEC), número de pétalas no capítulo (NP) (a e b), fitomassa fresca do capítulo (FFC) e fitomassa seca do capítulo (FSC) (c).....	52
FIGURA 16. Potencial matricial do solo nas diferentes doses de biochar de lodo de esgoto em dias após a semeadura (DAS) e limite mínimo e máximo de tensão adequado para a cultura do girassol ornamental <i>Sunflower Sunbright</i> no C1.....	54
FIGURA 17. Potencial matricial nas diferentes doses de BLE em dias após a semeadura (DAS) do girassol ornamental Sunflower Sunbright no segundo ciclo de cultivo (C2).	57
FIGURA 18. Valores de AP e DC ao longo do C1 e C2, em DAS em função das doses de 0 (B0), 2 (B2), 4 (B4), 6 (B6) e 8% (B8) de BLE e modelo de ajuste, do girassol ornamental Sunflower Sunbright.	61
FIGURA 19. TCAAP (A), TCADC (B), TCRAP (C) e TCRDC (D) em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% v/v, modelo de ajuste ao longo C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright. *-significativo (P< 0,05); **-significativo (P< 0,01).....	63
FIGURA 20. Valores de AP em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ , modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.	67
FIGURA 21. Valores do DC em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ , modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.	71
FIGURA 22. Valores de LF em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ , modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.	74
FIGURA 23. Valores de CF em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ , modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.	76
FIGURA 24. Valores de AF em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ , modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses	

de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.	78
FIGURA 25. Valores do NF em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ , modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.	80
FIGURA 26. Valores do NP em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ , modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.	82
FIGURA 27. Valores do DEC em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ , modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.	84
FIGURA 28. Valores do DIC em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ , modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.	86
FIGURA 29. Valores do FFC em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ , modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.	90
FIGURA 30. Valores do FSC em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ , modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.	91
FIGURA 31. Valores do FFA em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ , modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.	94
FIGURA 32. Valores do FSA em função das doses de 0, 2, 4, 6 e 8% de biochar de lodo de esgoto (BLE) e 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ de pó de rocha (PR), modelo de ajuste de regressão, análise	

de variância e variação em porcentagem das doses em relação a ausência de BLE e PR no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.	96
FIGURA 33. Valores do MFR em função das doses de 0, 2, 4, 6 e 8% de biochar de lodo de esgoto (BLE) e 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ de pó de rocha (PR), modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.	99
FIGURA 34. Valores do MSR em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ , modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.	101
FIGURA 35. Análise biplot dos valores de AP, CF, LF, DC, DEC, DIC, FFC, FSC, FFA, FSA, MFR, MSR, AF, NF e NP para o BLE (A) e PR (B) e, para as doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% (C) e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ (D) no C1.	103
FIGURA 36. Análise biplot dos valores de AP, CF, LF, DC, DEC, DIC, FFC, FSC, FFA, FSA, MFR, MSR, AF, NF e NP para o BLE (E) e PR (F) e, para as doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% (G) e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha ⁻¹ (H) no C1.	104
FIGURA 37. Análise biplot dos parâmetros do solo no C1.	129
FIGURA 38. Análise biplot dos parâmetros do solo no C2.	130

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo/Sigla	Significado	Unidade
θ_{atual}	Umidade volumétrica atual	$\text{cm}^{-3} \text{ cm}^{-3}$
θ_{CC}	Umidade volumétrica na capacidade de campo	$\text{cm}^{-3} \text{ cm}^{-3}$
$(\text{H}+\text{Al})/\text{CTC}$	Acidez potencial/capacidade de troca catiônica	%
A	Área superficial do vaso de cultivo	m^2
ACP	Análise dos componentes principais	-
ADP	Adenosina difosfato	-
AF	Área foliar das plantas de girassol	cm^2
Ag	Prata	ppm
Al	Alumínio	%
Al_2O_3	Óxido de alumínio	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Al^{3+}	Alumínio trocável	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
AM^+	Inoculações de fungos	-
AP	Altura de plantas	cm
As	Arsênico	-
ATP	Adenosina trifosfato	-
Aw	Tropical estacional	-
BLE	Biochar de lodo de esgoto	-
B	Boró	ppm
C/N	Relação carbono/nitrogênio	adimensional
C1	Primeiro ciclo de cultivo do girassol	-
C2	Segundo ciclo de cultivo do girassol	-
Ca	Cálcio	%
Ca/CTC	Relação cálcio/capacidade de troca catiônica	%
Ca/Mg	Relação cálcio/magnésio	adimensional
Ca^+/Mg	Cálcio/magnésio	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Ca_2^+	Ion cálcio	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
CaCl_2	Cloreto de cálcio	-
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal	
CaO	Óxido de cálcio	%
CC	Capacidade de campo	-
Cd	Cádmio	mg kg^{-1}
CE	Condutividade elétrica	$\mu\text{s cm}^{-1}$
CO_2	Dióxido de carbono	%
COMBI	Biochar co-compostado e matéria orgânica	-
COS	Carbono orgânico do solo	g kg^{-1}
COT	Matéria orgânica total	g kg^{-1}
CTC	Capacidade de troca de cátions	%
CTCe	Capacidade de troca de cátions efetiva	%
CTCt	Capacidade de troca de cátions total	%
Cu	Cobre	mg kg^{-1}
CV	Cavalo vapor	-
DAC	Dias após colheita	-
DAS	Dias após a semeadura	dias
DC	Diâmetro do coleto	mm
DEC	Diâmetro externo de capítulo	cm

Continuação...

Símbolo/Sigla	Significado	Unidade
DFC	Dias entre a floração e corte	dias
DIC	Diâmetro interno de capitulo	cm
DPC	Dias pós colheita	dias
Ea	Eficiência de aplicação de água no solo	decimal
EP	Erro padrão	%
EPTs	Elementos potencialmente tóxicos	-
F	Flúor	-
FAL	Fazenda Água Limpa	-
Fe ₂ O ₃	Óxido de ferro (iii)	mg kg ⁻¹
Fe	Ferro	mg kg ⁻¹
FFC	Fitomassa fresca do capitulo	g
FFPA	Fitomassa fresca da parte aérea	g
FSC	Fitomassa seca do capitulo	g
FSPA	Fitomassa seca da parte aérea	g
GL	Graus de liberdade	-
GO	Goiás	-
H ⁺	Ion hidrogênio	-
H ⁺ Al	Acidez potencial	cmol _c dm ⁻³
Hg	Mercúrio	-
IN	Instrução normativa	-
K	Potássio	%
K/CTC	Relação potássio /capacidade de troca catiônica	%
K ⁺	Ión potássio	%
K ₂ O	Óxido de potássio	%
kPa	Kilopascal	-
LVA	Latossolo vermelho amarelo	-
m.	Saturação por alumínio trocável	
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento	-
MDI	Irrigação com déficit moderado	-
MFR	Massa fresca radicular	g
Mg	Magnésio	%
Mg/CTC	Relação magnésio/capacidade de troca catiônica	%
Mg ₂ ⁺	Ión magnésio	cmol _c dm ⁻³
MgO	Óxido de magnésio	cmol _c dm ⁻³
Mn	Manganês	ppm
MnO	Óxido de manganês	ppm
MO	Matéria orgânica	g kg ⁻¹
Mo	Molibdênio	%
MOS	Matéria orgânica do solo	%
MSR	Massa seca radicular	g
N	Nitrogênio	%
Na	Sódio	cmol _c dm ⁻³
Na ₂ O	Óxido de sódio	%
NaCl	Cloreto de sódio	-
NDI	Déficit de irrigação	-
NF	Número de folhas	-

Continuação...

Símbolo/Sigla	Significado	Unidade
NHNO ₃	Ácido nítrico	-
Ni	Níquel	mg kg ⁻¹
NP	Número de pétalas no capítulo	-
p'	Correlação de Pearson	-
P	Fósforo	g kg ⁻¹
Pr	Probabilidade	-
P ₂ O ₅	Fosfato	%
Pb	Chumbo	Pb
PCA	Análise de componentes principais	-
pH	Potencial hidrogeniônico	adimensional
PR	Pó de rocha	-
R6	Estádio R6 (floração final)	-
S	Enxofre	%
SDI	Irrigação com déficit severo	-
SiO ₂	Dióxido de silício	%
SiO ₂	Sílica	%
TCA	Taxas de crescimento absoluto	mm dia ⁻¹
TCR	Taxas de crescimento relativo	mm dia ⁻¹
TiO ₂	Dióxido de titânio	%
TCAAP	Taxas de crescimento absoluto para altura de plantas	cm dia ⁻¹
(TCRAP	Taxas de crescimento relativo para altura de plantas	cm dia ⁻¹
TCRDC	Taxas de crescimento relativo para o diâmetro do coleto	mm dia ⁻¹
V	Saturação de bases	%
v/v	Volume/volume	adimensional
Z	Profundidade do solo no vaso	mm
Zn	Zinco	ppm

RESUMO

O aumento do uso de tecnologias sustentáveis na agricultura é um desafio a ser vencido nas próximas décadas, e, mesmo que os avanços tecnológicos nos sistemas de produção agrícola tenham melhorado, por outro lado demandaram mais insumos como água e fertilizantes. Assim, insumos alternativos como pó de rocha (PR) (remineralizador) e biochar de lodo de esgoto (BLE) têm sido pesquisados individualmente em várias regiões e para diversas espécies vegetais, entretanto, não existem estudos que abordem a interação ou sinergia entre os mesmos quanto aos efeitos nas respostas morfológica da cultura de girassol e nas propriedades químicas do solo. Sendo assim este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da combinação de diferentes doses de PR de origem micaxisto e BLE sobre aspectos morfológicos da cultura do girassol ornamental (Sunflower Sunbright) e na composição química do solo em dois ciclos de cultivo consecutivos, visando analisar o efeito residual dos nutrientes. O cultivo foi conduzido na Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília. No início do primeiro ciclo (C1) foi aplicado doses 0% (0,0 t ha⁻¹), 2% (32,30 t ha⁻¹), 4% (64,60 t ha⁻¹), 6% (96,90 t ha⁻¹) e 8% (129,20 t ha⁻¹) de BLE e as seguintes doses de PR: 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹. Já no segundo ciclo (C2) não foi reaplicado BLE e nem PR, com o objetivo de avaliar o efeito residual nas propriedades químicas do solo e o efeito nas respostas dos atributos morfológicos e de qualidade das flores do girassol. Além disso foram avaliadas as propriedades químicas do solo no início e final dos ciclos de cultivos dos C1 e C2. De forma geral os resultados deste estudo indicam que as doses 6 e 8% de BLE promoveram os maiores valores dos dados morfológicos do girassol ornamental. Já em relação ao efeito das doses de PR, os incrementos mais relevantes entre as doses 0 e 7 t ha⁻¹ foram observados no C2 sob efeito residual. Considerando a análise de componentes principais (ACP), o parâmetro mais influenciado pelo uso de BLE foi o número de folhas (NF) no C1 e diâmetro do coleto (DC) e massa seca radicular (MSR) no C2; Já para o PR foram LF e altura de plantas (AP), tanto no C1 e C2. As propriedades químicas do solo estiveram dentro das faixas recomendada pelas literaturas para a cultura do girassol. A interação/sinergia entre as doses de BLE e PR favoreceu a dissolução dos minerais presentes no PR, mais notadamente nas doses de 5 e 7 t ha⁻¹. Conclui-se que o BLE e PR são bons condicionadores de solo, porém, esses insumos devem ser avaliados por um período maior de tempo após misturado ao solo para melhor compreensão dos seus efeitos em diferentes ciclos culturais.

Palavras-chave: Rochagem, química do solo, remineralizador, lodo de esgoto, nutrientes, pirólise.

ABSTRACT

Increasing the use of sustainable technologies in agriculture is a challenge to be overcome in the coming decades, and even though technological advances in agricultural production systems have improved, they have also demanded more inputs such as water and fertilisers. Thus, alternative inputs such as rock dust (PR) (remineraliser) and sewage sludge biochar (BLE) have been researched individually in various regions and for various plant species, however, there are no studies that address the interaction or synergy between them in terms of their effects on the morphological responses of the sunflower crop and the chemical properties of the soil. The aim of this study was therefore to assess the effect of combining different doses of PR from mica schist and BLE on morphological aspects of the ornamental sunflower crop (Sunflower Sunbright) and on the chemical composition of the soil in two consecutive crop cycles, with the aim of analysing the residual effect of the nutrients. The crop was grown at the University of Brasilia's Água Limpa Farm. At the start of the first cycle (C1), 0% (0.0 t ha⁻¹), 2% (32.30 t ha⁻¹), 4% (64.60 t ha⁻¹), 6% (96.90 t ha⁻¹) and 8% (129.20 t ha⁻¹) of BLE and the following doses of PR were applied: 0, 1, 3, 5 and 7 t ha⁻¹. In the second cycle (C2), neither BLE nor PR was reapplied, with the aim of assessing the residual effect on the soil's chemical properties and the effect on the responses of the sunflower's morphological and flower quality attributes. In addition, the soil's chemical properties were assessed at the beginning and end of the C1 and C2 crop cycles. In general, the results of this study indicate that the 6 and 8% doses of BLE promoted the highest morphological data values for ornamental sunflowers. As for the effect of the PR doses, the most significant increases between the 0 and 7 t ha⁻¹ doses were observed in C2 under the residual effect. Considering the principal component analysis (PCA), the parameter most influenced by the use of BLE was the number of leaves (NF) in C1 and the diameter of the collar (DC) and root dry mass (RSM) in C2; while for PR, it was LF and plant height (PA), both in C1 and C2. The soil's chemical properties were within the ranges recommended by the literature for sunflower cultivation. The interaction/synergy between the doses of BLE and PR favoured the dissolution of minerals present in the PR, most notably at doses of 5 and 7 t ha⁻¹. It can be concluded that BLE and PR are good soil conditioners, however, these inputs should be evaluated for a longer period of time after being mixed with the soil in order to better understand their effects on different crop cycles.

Keywords: Rocking, soil chemistry, remineralizer, sewage sludge, nutrients, pyrolysis.

1. INTRODUÇÃO

O campo tem desempenhado um papel primordial na produção agrícola (Pascutti et al., 2024) e dos interesses econômicos no Brasil (Dantas et al., 2017), onde o país importa cerca de 85% dos fertilizantes (Ribeiro et al., 2023), que com o passar do tempo e com o aumento constante da produção, o uso de insumos químicos agrícolas também foi intensificado, resultando em uma crescente dependência de agrotóxicos em sistemas agropecuários (Meena et al., 2017).

Em sua importância de manter a produtividade elevada e dos avanços para uma agricultura mais sustentável do ponto de vista ambiental (Carrara, 2023) para manutenção das propriedades químicas do solo (Almeida Junior et al., 2022).

O biocarvão ou biochar de lodo de esgoto (BLE) é uma alternativa de grande viabilidade para uso agrícola por suas boas propriedades físicas e químicas, (Silva et al., 2022a), elevada concentração de alguns de nutrientes (Amaral et al., 2020) e que pode melhorar a morfologia e fisiologia da planta (Silveira et al., 1990).

Assim, o lodo de esgoto por estar disponível em grandes quantidades nas grandes cidades e tratado adequadamente tem demonstrando benefícios quando utilizado na agricultura, pela oferta de matéria orgânica e teores satisfatórios de macronutrientes, especialmente nitrogênio (N) e fósforo (P), e micronutrientes como zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e molibdênio (Mo) (Pedrosa et al., 2017), reduzindo o risco da aplicação direta no ambiente sem o devido tratamento (Khalid et al., 2022).

O biochar é um produto desenvolvido a partir da pirólise de resíduos de biomassa na ausência de oxigênio (Miranda et al., 2017; Riaz et al., 2017; Mendes et al., 2021). O BLE quando aplicado ao solo vem demonstrando o aumento da produtividade agrícola (Pedrosa et al., 2017) e ao mesmo tempo a redução da toxicidade dos poluentes orgânicos e inorgânicos no solo quando comparado ao uso do lodo de esgoto *in natura* (Zhang et al., 2017).

O biochar é um material considerado rico em carbono, apresentando diversos benefícios ao meio ambiente como o sequestro de carbono (Laurentino et al., 2021). Além disso, diversos estudos comprovaram que o uso do biochar no solo resultou em diversas melhorias na sistema solo-planta que proporcionaram melhores condições de crescimento das plantas e com isso aumento da produtividade das culturas (Gale e Thomas, 2019). Também já foi relatado a influência do biochar no pH do solo (Miranda et al., 2017), no aumento dos teores de nutrientes como N e P (Gale et al., 2017), liberação lenta de íons (principalmente Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) (Gale e

Thomas, 2019), aumento da matéria orgânica do solo (Reisser et al., 2016), aumento da retenção de água nutrientes e cátions trocáveis (magnésio, sódio e potássio) Mendes et al., 2021.

Outra tecnologia alternativa capaz de substituir, mesmo que parcialmente, o uso de fertilizantes solúveis é o pó de rocha (PR) (Hanisch et al., 2013; Almeida Junior et al., 2022). Apesar de apenas 3% de toda a área agricultável do Brasil utilizar esse insumo (Alovisi et al., 2021), o PR apresenta característica de ser sustentavelmente rentável (Silva da et al. 2020b), por ser capaz de fornecer macro e micronutrientes às plantas (Ramos et al., 2019, Júnior et al., 2022), aumentar a CTC (Korchagin et al. 2019) e os teores de nutrientes do solo (Brito et al., 2023) de forma lenta (Tito et al., 2019). Como consequência, melhora as propriedades físico-químicas e atividade biológica do solo. Apesar dessas vantagens, deve-se conhecer as quantidades máximas permitidas de contaminantes como o Arsênio (As), Cádmio (Cd), Mercúrio (Hg) e Chumbo (Pb) que podem estar presentes no PR (Brasil, 2016).

Apesar de não poder ser utilizado como a principal fonte de nutrientes às plantas (Alovisi et al., 2021), o uso do PR para reposição de nutrientes em áreas agrícolas é uma opção ecológica (Ramos et al., 2019). Seu uso resulta em benefícios econômicos, ambientais e produtivos significativos como demonstrado em algumas pesquisas (Theodoro e Leonardos, 2006a, Theodoro e Leonardos 2006b; Susawaengsup et al., 2022). Assim, o BLE e o PR são fontes naturais de nutrientes com potencial para substituir fertilizantes convencionais (Almeida Junior et al., 2022) além de poder aumentar a eficiência da produção de culturas agrícolas (Júnior et al., 2024). Neste contexto, o BLE e PR são estratégicos para uma agricultura sustentável com baixo risco de poluição no solo, água e ar.

O estudo isolado do BLE e do PR para diferentes culturas apresenta bastante resultados de pesquisas, no entanto, estudos sobre o uso combinado desses dois insumos não foram encontrados na literatura. Diante disso, acredita-se que a disponibilização de nutrientes ao solo das duas fontes concomitantemente pode melhorar o desenvolvimento das plantas e a qualidade das flores.

O girassol ornamental amplia o mercado de comercialização de plantas ornamentais no Brasil, apresentando crescimento expansivo, com faturamento em 2023 em torno de R\$ 10,9 bilhões, e segundo o Instituto Brasileiro de Floricultura (IBRAFLOR) além de apresentar ter um aumento no faturamento do Setor entre 7% e 9%. O Brasil cultiva mais de 2.500 espécies de flores e plantas ornamentais, sendo que 29% da área cultivada com estas, é ocupada por flores utilizadas para arranjos (IBRAFLOR, 2023).

Dentre as espécies para fins de ornamentação, o girassol ornamental (*Helianthus annuus* L.) destaca-se por sua beleza, aspecto rústico e fácil manejo, podendo ser cultivado em diversas regiões (Silva et al., 2022), valorizada na comercialização de flores (Campos et al., 2016) e sendo uma excelente cultura para pequenos agricultores rurais (Nascimento et al., 2019). Nesse sentido, está entre as mais comercializadas espécies ornamentais, apresentando características desejáveis do ponto de vista agrônomo, como ciclo curto e adaptabilidade nas diferentes condições edafoclimáticas do país.

Do ponto de vista econômico, a produção de girassol ornamental desperta grande interesse dos produtores e investidores devido a sua alta rentabilidade, demanda de pequenas áreas, produção intensiva e o rápido retorno do capital investido (Oliveira et al. 2017). No entanto apresenta alta demanda por N que é o nutriente mais exigido pelo girassol (Fagundes et al., 2007), P que em solos tropicais apresenta baixa disponibilidade e Boro (B) que é crucial para a formação das flores que são o produto comercial do girassol (Santos et al., 2010). Sendo assim, o BLE e o PR se apresentam como uma alternativa sustentável para o fornecimento de nutrientes para a cultura do girassol.

O uso e a combinação do BLE e PR na produção do girassol ornamental em ambiente protegido, resulta benefícios econômicos, ambientais e produtivos para a região do cerrado, capaz de fornecer macro e micronutrientes necessário e exigido para o crescimento de planta.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito da combinação/sinergia de diferentes doses de BLE e PR no desempenho do girassol ornamental, cultivar sunflower sunbright e na composição química do solo em dois ciclos de cultivo consecutivos.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a influência da combinação do BLE e PR sobre os parâmetros morfológicos do girassol: altura de planta (AP), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF), diâmetro interno do capítulo (DIC), diâmetro externo do capítulo (DEC), número de pétalas no capítulo (NP), dias pós colheita (DPC), fitomassa fresca da parte aérea (FFPA), fitomassa seca da parte aérea (FSPA), fitomassa fresca do capítulo (FFC), fitomassa seca do capítulo (FSC), massa fresca das raízes (MFR), massa seca das raízes (MSR);
- Estimar o índice de área foliar e a influência do BLE e PR;
- Estimar a Taxas de crescimento absoluto (TCA) e de crescimento relativo (TCR) e a influência do BLE e PR.
- Quantificar a influência da combinação do BLE e PR sobre o efeito residual na a composição química do solo entre o início e no final dos dois ciclos de cultivo (C1 e C2) do girassol.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Produção e disposição de biochar no solo

O biochar é o produto sólido final obtido por meio da pirólise, uma tecnologia de conversão termoquímica pela qual os materiais orgânicos são aquecidos na ausência de oxigênio sendo transformados em bio-óleo, biogás e biocarvão (biochar), segundo Weber e Quicker, 2018 se requer o conhecimento no processo e de temperatura de produção. O Biochar é um material poroso, rico em carbono orgânico recalcitrante, nutrientes e com características favoráveis para a adsorção de água (Mendez et al., 2015).

Segundo Gul et al. (2015) a produção lenta do biochar a partir da faixa de temperatura de 300 °C a 600 °C aumenta algumas propriedades físico-químicas como pH, CTC e agregação, influência nos parâmetros microbianos quando aplicado ao solo (abundância e estrutura da comunidade de microrganismos) sendo observado em muitos solos durante incubações de laboratório em períodos curtos (90 dias) e estudos de campo mais longos (1 a 3 anos).

Assim, a utilização de biochar pode ser uma alternativa viável para aumentar o estoque de carbono, e melhorar a fertilidade do solo (Freitas et al., 2012b; Verheijen et al., 2014; Farhangi-Abriz et al., 2017; Yang et al., 2018; Oliveira et al., 2021), e esse aumento da fertilidade é atribuído ao aumento da condutividade elétrica do solo (CE), carbono orgânico do solo (COS) e a capacidade de retenção de N, P e K do solo (Enders et al., 2012, Quilliam et al., 2012, Kameyama et al., 2012; Blume et al., 2016).

Nesse escopo, cada vez mais pesquisas recomendam o uso de biochar, por ser fonte de carbono orgânico recalcitrante para melhorar a fertilidade do solo e de diminuir a acidez de solos (Banwart et al., 2019; Lima et al., 2018; Lima et al., 2019; Medeiros et al., 2020b), fonte de nutrientes, principalmente P e K (Tito et al., 2020), sendo que a qualidade do biochar varia da matéria-prima e condições de produção (Mendes et al., 2015). Além de reduzir a emissão de gases de efeito estufa, promover o sequestro de carbono e melhorar a estrutura do solo (Lilli et al., 2023; Weber e Quicker, 2018), conseqüentemente, aumenta a produtividade das culturas (Lima et al., 2018; Nguyen et al., 2017, Tito et al., 2020; Shi et al., 2018).

Nesse sentido, as características do biochar para promover o aumento da fertilidade do solo é focada no pH, teor de compostos voláteis, teor de cinzas, capacidade de retenção de água, densidade aparente, volume de poros e área de superfície específica, nutrientes disponíveis e a dinâmica de liberação dos nutrientes (Mendez et al., 2015), como foi observado no biochar feito de lodo de esgoto, pH (em água) $6,75 \pm 0,01$, condutividade elétrica $0,23 \pm 0,01 \mu\text{S cm}^{-1}$, cálcio

equivalente carbonato $2,20 \pm 0,23\%$, teor de carbono fixo $19,74 \pm 0,49\%$ e base seca e teor de cinzas $58,89 \pm 0,45\%$ (Buss et al., 2018).

A mudança do pH do solo pelo biochar (Medeiros et al., 2020a) é atribuído principalmente a grupos químicos carregados negativamente na superfície do biochar (Lima et al., 2018). Esses grupos químicos como fenólicos, carboxila e hidroxila carregados negativamente, promovem a troca catiônica que irá se ligar aos íons H^+ da solução do solo, reduzindo, assim, a concentração desses íons na solução e aumentando o valor do pH do solo (Gul et al., 2015) nas faixas 7 a 11 (Qambrani et al., 2017).

O aumento do pH no solo para a faixa de 6,0 a 7,0 aumenta a disponibilidade de P para as plantas, principalmente como fosfato mono e dicálcico que são mais solúveis, o que confirma a capacidade do biochar de aumentar produtividade agrícola em áreas tropicais (Buss et al., 2018), fornecimento direto dos nutrientes (Pandit et al., 2018), do aumento da CTC (Lim et al., 2016), reduzindo a disponibilidade de elementos potencialmente tóxicos (EPTs), como alumínio (Al) e manganês (Mn) (Blume et al., 2016).

No trabalho de Buss et al. (2018) o uso do BLE aplicado em solo arenoso ácido (pH 4,9, 3,1% de argila e teor de carbono orgânico de $0,68 \pm 0,07\%$) promoveu o aumento do pH para $\geq 5,4$, ficando dentro da faixa ideal 5,0 a 5,5 com teor de carbono orgânico $< 4\%$ e teor de argila $< 5\%$.

Segundo Borno et al. (2018) o tipo de biochar influencia a adsorção e biodisponibilidade de P quando adicionado ao solo rico em óxidos de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , Blume et al. (2016) mostraram que o uso pode aumentar o pH do solo para uma faixa ideal para a disponibilidade da maioria dos nutrientes e toxicidade mínima de Al e Mn quando aplicado a um solo ácido de pH 4,8-4,9. Por outro lado, o baixo pH é comumente associado ao aumento das concentrações de Al na solução do solo, que é altamente tóxico para as raízes das plantas (Gruba e Mulder, 2008).

O K^+ saturado é uma das principais propriedades físicas que auxilia na previsão de caminhos complexos de movimentação e retenção de água através do perfil do solo (Quin et al., 2014). Estudos relataram que a incorporação de biochar ao solo aumentou o K^+ saturado (Herath et al., 2013) e em outros estudos observaram diminuição de K^+ saturado após adições de biochar (Githinji, 2014). Diferentes resultados podem estar relacionados ao efeito da textura do solo e da distribuição do tamanho das partículas do biochar (Lim et al., 2016), além da diminuição da densidade, volume total e porosidade do solo após aplicação do biochar (Jones et al., 2010).

Na agricultura, o biochar tem sido utilizado como condicionador de solos, ao elevar a fertilidade, melhorar a estrutura e beneficiar diversas espécies de microrganismos que promovem uma agricultura mais sustentável (Partey et al., 2015; Lima et al., 2018; Yang et al., 2018). Além disso, a aplicação de biochar considerada uma estratégia promissora para promover o armazenamento de carbono no solo, devido a sua propriedade de resistência à oxidação que reflete em maior estabilidade e recalcitrância em solos. Sendo assim, o uso do biochar no solo apresenta grande potencial para sequestrar carbono, contribuindo para a mitigação do aquecimento global e uma agricultura mais sustentável.

O biochar pode acelerar a formação de microagregados por meio de interações organomineral, resultando na estabilização e acúmulo de carbono derivado de raízes no solo, pois melhora as propriedades físicas e auxilia na hidrologia do solo (Hafeez et al., 2017). Além disso pode reduzir a necessidade de altas doses de fertilizantes, pois promove a liberação lenta de nutrientes e com isso resulta na maior absorção de nutrientes pelas plantas, favorecendo a recuperação de solos degradados (Cushion et al., 2010; Chiaramonti e Panoutsou, 2019). Os autores Cheng et al. (2018) e Liu et al. (2016) verificaram a redução da necessidade de fertilizante de N. Farhangi-Abriz et al. (2017) observaram aumento na proteção contra o estresse por NaCl e mitigação do estresse oxidativo. Hafeez et al., (2017) relataram que o biochar mitigou o estresse hídrico da planta e reduziu os teores de açúcar e prolina.

Além de diversos benefícios já relatados do uso do biochar para melhoria das características físico-química do solo, diversos estudos relatam a influência do biochar na melhoria das características da planta. No trabalho de Xu et al. (2015) o biochar aumentou a taxa e capacidade da fotossíntese, absorção de nutrientes como N, K, P, Ca e Mg associados às respostas de crescimento das plantas, especialmente o K que regula o potencial osmótico (Walter e Rao, 2015), retenção da água na folha e do índice de estabilidade da membrana (Akhtar et al., 2014), e em taxas de aplicação de 5 e 10 mg ha⁻¹ de COMBI Biochar co-compostado e matéria orgânica (COMBI) tiveram rendimentos nas culturas de 15 % a 30% comparada com modo de cultivo convencional (Chiaramonti e Panoutsou, 2019).

Uso do biochar em diferentes taxas de aplicação (0, 2,5 e 5 t ha⁻¹) em um cenário com déficit de irrigação (NDI), irrigação com déficit moderado (MDI) e irrigação com déficit severo (SDI) e plantas de girassol com inoculações de fungos (AM+) e não inoculadas (AM-), mostrou que o crescimento, eficiência de uso de radiação, pigmentos foliares e produtividade de sementes diminuíram na ordem NDI > MDI > SDI. Já na combinação de fungos AM com o

biochar aumentou as atividades de enzimas antioxidantes, osmoprotetores, teor de nutrientes e teor relativo de água e aumento da produtividade (Langeroodi et al., 2021).

O uso de biochar na produção de arroz favoreceu a retenção de N no solo, que se refletiu no aumento da massa seca da parte aérea, esterilidade das espiguetas, número de panículas e massa dos grãos (Miranda et al., 2017). Já no trabalho de Mendes et al. (2021), ao estudarem o efeito do biochar de cama de frango no estado nutricional do milho observaram aumento de N, P e K nos teores foliares, refletindo melhor estado nutricional das plantas.

Na avaliação da produtividade do girassol com quatro diferentes biochars, aplicados na dose de 15 t ha⁻¹, apresentaram diferença significativa na biomassa vegetal, pouca alteração no pH do solo durante todos o experimento, e aumento da CE do solo (Peneque et al., 2016).

Em outra avaliação do crescimento do girassol (variedade SH-25) sob condições controladas, com aumento da taxa de aplicação (15, 30, 75, 150 e 225 mg ha⁻¹) de 5 diferentes biochars, a germinação (100%), a massa folhar, o pH e CE do solo aumentaram conforme o aumento das taxas de aplicação dos biochars. Por outro lado, a concentração de nitrato no solo e o diâmetro do coleto diminuíram (Albuquerque et al., 2014).

Em todos os casos do uso de biochar na cultura de girassol, as taxas de germinação permaneceram em torno de 90% que foi dependente do pH do solo ($r= 0,73$; $p<0,001$), a produtividade foi similar aos solos controle (140 a 150 g de sementes de girassol por planta), não teve aumento do número folhar, mas aumentou ($\leq +15\%$) de diâmetro do capítulo (Peneque et al., 2016).

3.2 Uso de pó de rocha em solo agrícola

O PR geralmente consiste em rocha finamente britada e moída com materiais minerais primários (Arnott et al., 2021), disponibilizando nutrientes para o crescimento da planta, bem como à comunidade microbiana do solo (Ramezani et al., 2015; Dahlin et al., 2015; Li et al., 2020b; Ramos et al., 2019). Produto com utilização acentuada nos últimos anos no Brasil, sendo fonte de nutrientes no solo e podendo reduzir o estresse das plantas em condições de déficit de nutrientes (Carvalhais et al., 2010).

Os nutrientes do PR podem suprir total ou parcialmente os fertilizantes convencionais solúveis devido ao esgotamento de N, P, boro (B), Fe, Cu, Zinco (Zn) e outros nutrientes no solo a cada novo ciclo, sendo de maior preocupação o K, já que precisa pelo menos dobrar para repor as quantidades retiradas das lavouras (Manning, 2015). Além disso, o PR pode ser usado para aumentar a tolerância da planta ao estresse hídrico (Römheld e Kirkby, 2010). O PR

feldspato é uma fonte de K (Basak et al., 2018). Já as rochas silicatadas são fontes naturais de P, K, Ca e Mg (Ramos et al., 2021), a exceção do N (Deer et al., 2013).

O PR pode sofrer um intemperismo acelerado no campo para todos os minerais devido aos tamanhos das partículas, partículas mais finas que 60 µm em comparação com tamanhos de partículas variando de 60 a 140 e 250-350 µm, trocam cátions e a hidrólise catalisada (Swoboda et al., 2022). De acordo com Basak et al. (2018) a liberação de K aumentou com o aumento da finura do material, diferindo também pelo uso nas soluções aquosas, sendo a menor liberação quando do uso de água destilada e maior liberação em solução de ácido nítrico (HNO₃) independentemente do tamanho das partículas.

O PR é considerado um material que apresenta uma liberação lenta de nutrientes (referência). Pesquisas realizadas com uso de PR (Theodoro e Leonardos, 2006b) trazem vantagens econômicas, ambientais e produtivas significativas em culturas de milho, arroz, mandioca, cana-de-açúcar em comparação à adubação convencional (Theodoro e Leonardos 2006a) e a qualidade dos produtos (Susawaengsup et al., 2022). Sendo assim, o PR é uma alternativa para fornecer nutrientes de maneiras mais eficiente para as plantas e contribui com a redução da lixiviação de K devido a utilização de fontes altamente solúveis como o cloreto de K (KCl). O uso de KCl é propenso à lixiviação em vários ambientes tropicais devido à baixa CTC dos solos, e as perdas podem representar 70% dos fertilizantes aplicados em solos arenosos tropicais (Rosolem et al., 2018).

As análises físico-químicas do PR (MB-4) revelaram a presença de silicato de Mg, P, fosfato de cálcio (Ca₃(PO₄)₂), Fe, K e enxofre (S) e diversos micronutrientes, como Cu, Zn, Mn e cobalto (Co) que melhoram a qualidade química do solo (Santos et al., 2014), porém Mendes et al. (2015) o uso do MB-4 não aumentou a disponibilidade do P do solo devido à liberação do silício. Os autores relataram ainda que o PR pouco contribui com a produção das culturas de ciclo curto, devido à baixa solubilidade de seus minerais constituintes, a lenta liberação de nutrientes deste material na solução do solo, porém forneceu nutrientes para as plantas em períodos mais prolongados do que os fertilizantes convencionais. Segundo Shukla et al. (2013) o sistema radicular exsuda açúcares, aminoácidos e ácidos orgânicos, que reagem com o PR, que libera os nutrientes.

No uso de PR vulcânico individual e em combinação com N, Dahlin et al. (2015) observaram que todos os tratamentos aumentaram a biomassa vegetal (fertilização com N em maior extensão) e as concentrações de Mg e Ca em azevém perene (*Lolium perenne*) e trevo vermelho (*Trifolium pratense*). Porém, o PR de origem vulcânica não melhorou as propriedades

químicas de três tipos de solos, não apresentou influencia no aumento do crescimento da planta e tampouco nas comunidades microbianas (Ramezani et al., 2013).

Na produção de alface, a dose de 32 g vaso⁻¹ de PR basáltica não provocou algum impedimento ao crescimento das plantas comparadas nas doses 8, 16, e 24 g, nas diferentes doses a média da AP, DC e MSA das plantas foi de 54%, 30% e 13% respectivamente, em relação a testemunha, nesse sentido a média do DC dos tratamentos com PR foi de 13 mm no tratamento com adubação mineral, e nos demais sem PR foi de 4 mm (Dalcin et al., 2018). Já na cultura de milho nas doses de 3,625 e 7,251 kg ha⁻¹ de PR composto de plagioclásio, feldspato K, quartzo, clinopiroxênio, mectita e apatita, aumento a massa seca das folhas e melhora nas propriedades do solo com o aumento das concentrações de Ca, K e P.

Diferentes pesquisadores mostraram resultados favoráveis com o uso do PR, Li e Dong (2013) avaliou os efeitos de correção do PR com as propriedades do solo, atividades enzimáticas do solo, crescimento da planta e a eficácia de controle contra murcha bacteriana do tomate, observando aumento de pH de 5,13 para 6,8, aumentando as concentrações de Ca na planta, e em combinação com os fertilizantes aumentou as atividades enzimáticas, mas não houve efeito significativo na altura, diâmetro e biomassa da planta, Li et al. (2020a) observou melhora significativas nas concentrações de Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, B e Al, sem aumentar a fitotoxicidade do composto e no composto fortificado, aumentando um 187% de produção de milho e diversidade microbiana no solo.

3.3 Crescimento das plantas, classificação comercial e demanda hídrica do girassol

A cultura Sunflower Sunbright (Figura 1) não tem produção de pólen, resultando numa maior durabilidade no uso ornamental. É sensível ao fotoperíodo, possui ciclo tardio e é indicado para cultivo o ano todo no Centro – Oeste, Norte e Nordeste, e de setembro a fevereiro na região Sul e de agosto a março na região Sudeste. Atinge de 150 a 200 cm de altura, ciclo de 65 a 80 dias, com encurtamento de 10 a 50 dias em comparação a cultivares utilizados para produção de grãos (Tabela 1) e possui 20 semente por grama.



FIGURA 1. Imagem ilustrativa do Girassol cv Sunflower Sunbright.

Fonte: <https://www.sakata.com.br/flores/corte/sunflower/sunbright-supreme>

O girassol é uma planta de ciclo anual, que devido a sua fácil adaptação aos ambientes mais diversos, tem sido cultivada em todo o mundo. Produz grãos e forragem e hoje ocupa a quarta colocação entre as oleaginosas mais consumidas do mundo (Lira et al., 2011). Na Tabela 1 são apresentadas algumas informações pertinentes do girassol ornamental.

Segundo Silva et al. (2022b) a floricultura no Brasil tem apresentado crescimento expansivo, destacando o girassol ornamental (*Helianthus annuus* L.) por sua beleza, aparência rústica e fácil manuseio. De acordo com a classificação realizada pelo Centro Atacadista de Flores e Plantas Ornamentais da América (Pizetta et al., 2022), a melhor classificação para os girassóis ornamentais é chamada de Padrão 90 (plantas com altura igual ou superior a 90 cm e diâmetro da base do caule igual ou superior a 11 mm e diâmetro mínimo da inflorescência aberta de 7,5 cm).

O Veiling Holambra fez um critério de classificação na comercialização, valorização do melhor produto, maior qualidade e maior consumo do girassol de corte, Código ET-0059-V.1 (Tabela 1).

TABELA 1. Padrão de comprimento de haste, espessura da haste e do diâmetro do botão.

Padrão	Comprimento de haste (cm)	Espessura (cm)	Diâmetro do botão	
			Flor fechada (com rede) (cm)	Flor aberta (sem rede) (cm)
50	50	0,8	4,5	6,0
60	60	0,8	4,5	6,0
70	70	0,8	4,5	6,0
80	80	1,1	5,5	7,5
90	90	1,1	5,5	7,5

Por outro lado, a qualidade foi classificada em A1 ou A2 (Tabela 2), essa categoria deverá ser estabelecida conforme limites de tolerâncias para defeitos graves ou leves, ou seja, os defeitos graves serão aqueles que podem continuar a evoluir durante o processo de comercialização.

TABELA 2. Tabela para determinação da categoria de qualidade de acordo com a tolerância aos defeitos.

Defeitos (Hastes no maço).		
1 Defeitos graves	2 A1	3 A2
Danos de doenças	0	0
Danos de pragas	1	2
4 Defeitos leves	5 A1	6 A2
Queima por fototoxidez	1	2
Rachadura da haste	0	2

Considerando os padrões e critérios de qualidade do girassol e aos impactos negativos das mudanças climáticas, especialmente às altas temperaturas e estresse hídrico (Debeake et al., 2021, Gul et al., 2021), a cultura tem um bom desempenho em uma ampla gama de condições climáticas (Debaeke et al., 2017), uma resistência em climas quentes secos do que em climas frios e secos (Cerny et al., 2013) bem como em climas temperados, subtropicais e tropicais (Debaeke et al., 2021). Além disso apresenta uma adaptabilidade em regiões de recursos hídricos limitados (Azevedo et al., 2016) que não afeta o rendimento devido à sua fotossensibilidade (Hilli e Immadi, 2021) o que desperta grande interesse comercial nos produtores.

Em geral, a produção de girassol é caracterizada por variações significativas nas áreas comerciais e produtiva, devido as condições agroecológicas, preços das matérias-primas e recompra, sistema de incentivo e suporte, tecnologia aplicada e conhecimento técnico dos produtores (Mijic et al., 2021).

Como os girassóis têm características de resistência à seca e forte tolerância à salinidade, são amplamente plantadas em todo o mundo (Gou et al., 2017). Devido o bom desempenho em ambientes de temperatura relativamente mais quente (Brouder e Volenec, 2008) e adaptabilidade, são capazes de ajustar processos morfofisiológicos que permitem o crescimento, a fotossíntese ideal e a sobrevivência (Romanowski et al., 2021), porém, pode afetar negativamente o excesso de energia luminosa no processo fotossintético (Simões et al., 2018).

Outro fator ambiental de análise no crescimento do girassol ornamental, é a alta temperatura, que exerce um aumento de evapotranspiração do girassol, que eleva a extração da solução do solo e a demanda de irrigação das lavouras (Rauf et al., 2016), que atinge o pico durante a fase reprodutiva, tornando a cultura vulnerável ao calor e ao estresse hídrico (Khan et al., 2017b), e em conjunto, a luz incidente durante a fase vegetativa pode aumentar a área folhar (Pereyra-Irujo et al., 2008), dado que uma redução da área foliar reduz a capacidade fotossintética que afeta a produtividade da planta (Gul et al., 2021).

Nesse sentido, em regiões subtropicais em condições de escassez de chuvas e altas temperaturas, aumentam as chances de perda de safra devido à alta evapotranspiração do girassol durante estágios críticos de crescimento (Gul et al., 2021). Esses fatores (baixa umidade do solo e alta temperatura) podem induzir senescência foliar, esterilidade gametofítica, baixo enchimento de grãos e crescimento desuniforme das plantas (Debaeke et al., 2017), e no baixo teor de umidade do solo também podem causar diminuição da massa seca da parte aérea da planta e de índice de colheita, mas com aumento na massa seca da raiz, (Rauf e Sadaqat, 2008).

Em nesse sentido, nas condições semiáridas, o girassol ornamental teve mudanças na troca gasosa e morfofisiológica da planta, pelos fatores do clima quente, umidade relativa baixa e alta luminosidade (Silva et al., 2022b).

Segundo Purcell et al. (2018) o ambiente muito quente e a temperatura alta apresentam redução de condutância estomática, o que diminui a disponibilidade de CO₂ para a fotossíntese que interfere no crescimento da planta. Eyland et al. (2021) explica que o fechamento estomacal desencadeia elevada associação com o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar, que de acordo com Silva et al. (2022b), resulta em aumento na taxa de transpiração.

No experimento do girassol ornamental Silva et al. (2022b) os valores de déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar 0,8 a 2,2 kPa, não comprometeu a taxa de assimilação líquida e condutância estomática próximos 0,9 mol m⁻² s⁻¹, porém a eficiência instantânea do uso da água (A/E) elevado, indicou que mais CO₂ foi absorvido devido a menos perda de água. Ou seja, os complexos estomáticos, as variações nas aberturas, tamanho e posição dos estômatos ajudam às plantas a crescer em condições de déficit hídrico (Santos e Chavarria, 2012).

Por outro lado, considerando os padrões e critérios de qualidade do girassol a concentração de clorofila é uma variável que normalmente tem uma relação direta com a eficiência fotossintética e é fortemente influenciado pelas condições ambientais e genéticas e que os maiores valores da temperatura foliar pode estar relacionado ao arranjo foliar que é perpendicular à incidência de radiação solar (Souza et al., 2021).

Aumentar ou manter a clorofila permite às plantas alcançar uma concentração fotossintética eficiente, altas taxas de crescimento, e produtividade sob diferentes condições ambientais. Segundo Silva et al. (2018) as características genéticas da planta, permite a ativação de mecanismos para que aumentam e mantenham as concentrações de clorofila em diferentes condições ambientais.

Segundo Carvalho et al. (2012), a área foliar está relacionada com a cultivar e o número e tamanho das folhas, uma vez que o menor número de folhas é equilibrado por uma maior área de superfície por folha. Porém, uma maior incidência de radiação solar global, temperaturas mais elevadas e menor umidade relativo do ar pode acontecer menor área folhar e taxa fotossintética pela maior taxa de evaporação (Silva et al., 2022b).

A redução da área foliar é uma das principais estratégias de aclimação do girassol ao estresse ambiental. Segundo Shafiq et al., (2021a) sob condições de estresse abiótico, a diminuição da expansão celular é um mecanismo para evitar a alta irradiância solar e preservar o sistema fotossintético. Debaeke et al. (2021) argumenta que um sistema radicular profundo, bem desenvolvido e com água suficiente permite aumentar a transpiração das folhas.

As evidências indicam que o girassol é sensível ao estresse hídrico durante a fase vegetativa e no estágio de enchimento das sementes, o que causa considerável diminuição na produtividade (Hilli e Immadi, 2021), reduz significativamente o status de água na folha e do menor conteúdo relativo de água (CRA), idem, do fechamento estomático, taxa fotossintética, transpiração e condutância estomática das plantas de girassol (Shafiq et al., 2021a), fatores como altura da planta (Iqrasan et al., 2017), comprimento e diâmetro da raiz, densidade de raízes, volume da raiz, peso fresco e seco da raiz e matéria seca total são reconhecidos como indicadores significativos de tolerância à seca (Comas et al., 2013).

Durante o estresse hídrico ocorre a regulação na absorção de SO_4^{2-} do xilema estimula a síntese de biossíntese de ácido abscísico (ABA) para iniciar o fechamento estomático nas folhas durante os estágios iniciais de estresse hídrico (Shekoofa e Sinclair, 2020), influenciando negativamente na fotossíntese e restringindo a transformação de fotossintatos na biomassa vegetal (Vicente-Serrano et al., 2019), desidratação do protoplasma (Abdelaal et al., 2020), diminuição no alongamento e a expansão celular devido à perda de turgor (Sun et al., 2020), em comparação com outros íons, refletindo uma maior demanda de enxofre (S) nos órgãos de origem sob condições de déficit hídrico (Shafiq et al., 2021b).

Portanto, a redução da biomassa induzida pela seca pode estar associada à divisão celular prejudicada, à diminuição da taxa fotossintética, a restrição na aquisição de nutrientes ou uma combinação de todos esses fatores (Khan et al., 2017a).

3.4 Manejo da água no solo para atender as demandas edafoclimáticas do girassol

O desafio no século XXI no agronegócio é a sustentabilidade agrícola e a escassez da água. Matsunaga et al. (2022), propõe o uso de sistema de irrigação controlado, ou seja, o método de irrigação por gotejamento devido a sua facilidade de operação, redução de gastos com mão de obra, energia e água. Além disso, segundo Pereira et al. (2017), este sistema promove um maior controle na quimificação e eficiência de uso de água.

O sistema de irrigação controlado melhora o aproveitamento da água e do equipamento de irrigação, e também dos nutrientes pelas plantas (Wang et al., 2018), resultado no aumento de produtividade e qualidade das culturas, e podendo reduzir a demanda de água e fertilizantes pelas plantas. Além disso, de acordo com Lemos et al. (2021) é um sistema que contribui para o uso sustentável e racional de água na agricultura e gera economia de energia, (Lemos et al., 2021). Sendo assim, este o sistema de irrigação por gotejamento se destaca como o método mais adequado para a cultura do girassol ornamental.

Nas características morfológica, o girassol tem uma estrutura anatômica específica do caule e nas folhas o que permite atingir rendimentos em condições estressantes (Gadzo et al., 2011). As raízes grossas e finas, e o comprimento específico da cultura do girassol resultam na extração de mais água e nutrientes do que a maioria das outras culturas (Connor e Hall, 1997), por outro lado o torna mais tolerante a seca (Hilli e Immadi, 2021).

Nesse sentido, as características da raiz, como biomassa, comprimento máximo e volume, ajudam a determinar a eficiência da extração de umidade do solo (Hilli e Immadi, 2021). Segundo Gonçalves et al. (2006) as plantas são mais suscetíveis ao déficit hídrico, quando se apresenta concentração radicular superficial por consequência à compactação do solo. Portanto, as plantas respondem por meio de vários processos adaptativos ou de defesa à escassez de água como fisiológicas, anatômicas e morfológicas (Felippe et al., 2020) chamado mecanismo de resistência à seca.

Como mecanismos de defesa pelo déficit da água, as plantas podem responder com a redução da taxa de transpiração e crescimento na área foliar (Pereyra-Irujo et al., 2008), fechamento estomático (Debaeke et al., 2021), redução da condutância estomática, redução da fotossíntese e de transpiração (Taiz et al., 2017), rediz a viabilidade do pólen, germinação das sementes, biomassa reprodutiva e aumento das lesões da membrana celular (Kalyar et al., 2014).

Sendo assim, devido os mecanismos de defesa da planta devido o estresse hídrico poder prejudicar o desenvolvimento da planta, se faz necessário a determinação do consumo de água das culturas para o correto manejo da irrigação, podendo ser obtido a partir de medidas efetuadas no solo, na planta e na atmosfera (Boareto et al., 2012), em todas as fases de produção

(Barros et al., 2021), eleva a qualidade fitotécnica nas mudas, especialmente na fase inicial de formação (Lima et al., 2019, Barros et al., 2021), assim, na cultivar de girassol ‘SH222’ o estresse hídrico resultou na diminuição da quantidade de clorofila e proteína, e danos à membrana celular e falta de equilíbrio entre as substâncias nutrientes (Nazarli et al., 2010) .

Na utilização de lâminas de irrigação iguais ou superiores ao nível de reposição equivalente a 70% da porcentagem de evapotranspiração da cultura (média de 1,94 mm dia⁻¹), promoveu aumento na altura da planta, diâmetro do caule, diâmetro da inflorescência, massas frescas e secas das folhas e caules, massas frescas e secas da inflorescência e longevidade pós-colheita das hastes florais na cultura de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L.; *Vincent's Choice*) (Pizetta et al., 2022).

Em estudo de Oliveira et al. (2018), o aumento da lâmina de água teve efeito significativo na altura da planta, diâmetro da base do caule, massa fresca dos caules e folhas, massa seca dos caules e folhas e área foliar na cultura de girassóis em vaso. Dutra et al. (2012) afirma que o aumento da lâmina de irrigação aumenta o diâmetro do caule do girassol, que se deve ao aumento da produção de etileno, pois o etileno é um hormônio produzido em condições de maior umidade do solo. Com isso, as plantas se tornam mais rígidos, diminuem a curvatura e a porcentagem de quebra do caule na colheita e pós-colheita (Pizetta et al., 2022). Além disso, aumentam a longevidade potencial das flores porque há maiores reservas de carbono contido no caule (Biscaro et al., 2008).

Taiz et al. (2017) enfatiza que a menor disponibilidade de água no solo produz menor pressão de turgescência nas células vegetais e, conseqüentemente, menor expansão foliar e esse déficit hídrico pode diminuir a expansão celular, fechamento dos estômatos e diminuição da taxa de fotossíntese e conseqüentemente a produção de biomassa.

Segundo Durigan (2009) e Reis (2009), a longevidade das hastes das flores pode ser afetada pela turgescência floral que resulta da transpiração excessiva deste órgão devido à senescência natural, à obstrução do sistema vascular condutor de água por fungos e bactérias, à redução das reservas, ou à ação do etileno. Lima et al. (2017) sugere-se uso de diferentes lâminas de irrigação, para diferentes doses de biocarvão na cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do experimento

O cultivo do girassol foi realizado na Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília (UnB) (15°57'16"S, 47°55'89"W e altitude de 1.103 m). O clima local é caracterizado como tropical estacional (Aw), segundo Köppen-Geiger, que tem como característica a sazonalidade do regime de chuvas, com um período chuvoso de outubro a abril e um período seco de maio a setembro (ALVARES, 2014).

O estudo foi conduzido em viveiro com dimensões de 13 x 13 m, com altura do pé direito de 2,5 m, coberto com sombrite com retenção de 50% da luminosidade solar, e sob este um filme plástico de 100 microns. O primeiro ciclo (C1) foi durante o período de 29 de junho a 10 de setembro e o segundo ciclo (C2) de 13 de outubro a 16 de dezembro de 2022.

Os valores de temperatura do ar e umidade relativa do ar máximas, médias e mínimas e radiação solar no C1 e C2 foram obtidas em estação meteorológica semi automática localizada a 250 m do local do experimento devido a impossibilidade de medições in loco.

4.2 Origem do solo usado no preenchimento dos vasos

O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) distrófico típico segundo o sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2013). O solo utilizado foi coletado numa trincheira localizada na fazenda experimental da UnB (15° 56' 45" S, 47° 55' 43" W; 1095 m), no perfil de solo de 0,15 m a 0,30 m.

4.3 Calagem, preparo do solo e parâmetros químicos do solo

Após a coleta do solo foi feita a correção com calagem com calcário calcítico, PRNT de 100%, 60 dias antes da semeadura do girassol para elevar a saturação de bases a 70%.

O solo foi peneirado em uma peneira #2 e coletado subamostras em 10 diferentes pontos para formar uma amostra composta para análise de fertilidade do solo antes da calagem, representativa do início do experimento e utilizada para correção com calagem. Ao término de cada ciclo de cultivo do girassol ornamental, o solo foi removido dos vasos para separação das raízes e após foi homogeneizado para coleta de três amostras de solo para cada tratamento, totalizando 75 amostras por ciclo de cultivo, sendo que no final do C1 o solo foi recolocado no vaso de cultivo para início do C2.

Os parâmetros do solo avaliados foram o pH, matéria orgânica, fósforo extraível, potássio extraível, sódio, cálcio extraível, magnésio extraível, alumínio extraível, capacidade

de troca catiônica efetiva, saturação por bases e soma de bases, manganês extraível, seguindo metodologia da Embrapa (2017) (Tabela 3).

TABELA 3. Parâmetros físicos, químicos e granulometria do solo utilizado no cultivo do girassol ornamental (*Sunflower Sunbright*) antes a realização da calagem.

pH	MO	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	AcP	CTCe	CTCt	B	Cu	Fe	Mn	Zn
CaCl ₂	g kg ⁻¹	cmol _c dm ⁻³						ppm				
7,70	20,00	3,00	1,8	0,2	0,00	5,0	12,5	0,00	0,88	105,8	13,6	8,30
P	K ⁺	S	m.	V	Areia	Silte	Argila					
g kg ⁻¹	cmol _c dm ⁻³	ppm	%		g kg ⁻¹							
0,1	<0,10	<0,1	4,0	38	430,0	470,0	100,0					
COT	Na											
11	<0,1											

pH: pH em água; MO: Matéria Orgânica; K: Potássio Extraível; Ca: Cálcio Extraível; Mg: Magnésio Extraível; Al: Alumínio Trocável; AcP: Acidez potencial (H+Al); CTCe: CTC efetiva; CTCt: CTC total a pH 7,0; m: Saturação por Al trocável; V: Saturação por bases e P: Fósforo Extraível (Mehlich). CTC: Capacidade de Troca de Cátions, B: Boro; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: manganês, Z: Zinco, COT: carbono orgânico total e Na: sódio.

4.4 Cultivar de *Sunflower Sunbright* vasos de cultivo

Cinco sementes de girassol ornamental, cultivar *Sunflower Sunbright*, da empresa Sakata® Seed Sudamerica foram semeadas em cada vaso de cultivo, com desbaste realizado após 30 dias de germinação, deixando-se 4 mudas de girassol por vaso, totalizando 24 plantas úteis por tratamento. Os vasos possuem capacidade de 11 L, com 0,27 m de diâmetro na parte superior do vaso e 0,245 m de altura, adicionando-se em cada um 9 L da mistura de LVA, BLE e PR (de acordo com cada tratamento), que resultou em altura no perfil de solo no interior do vaso de 0,20 m, sendo dispostos no espaçamento de 0,60 m x 0,55 m e acomodados sobre tijolos para evitar o contato direto com o solo e minimizar a incidência de doenças via solo (Figura 2).



FIGURA 2. Distribuição dos vasos de cultivo no interior do viveiro acomodados sobre tijolos para evitar o contato direto com o solo e minimizar a incidência de doenças.

4.5 Ciclos de cultivo 1 (C1) e 2 (C2) do girassol cultivar sunflower sunbright

O delineamento experimental nos dois ciclos de cultivo do girassol foi o inteiramente casualizado (Figura 3), fatorial 5 x 5, com seis repetições (vasos de cultivo), sendo os tratamentos com doses de BLE de B0 = 0% (0,0 t ha⁻¹), B2 = 2% (32,30 t ha⁻¹), B4 = 4% (64,60 t ha⁻¹), B6 = 6% (96,90 t ha⁻¹) e B8 = 8% (129,20 t ha⁻¹) base volume (v/v), selecionada em função de pesquisas anteriores desenvolvidas por outros pesquisadores e de PR de P0 = 0 t ha⁻¹, P1 = 1 t ha⁻¹, P3 = 3 t ha⁻¹, P5 = 5 t ha⁻¹ e P7 = 7 t ha⁻¹, sendo estas duas últimas doses as mais utilizadas pelos agricultores na região do Cerrado, totalizando 150 vasos de cultivo.

Os dois ciclos de cultivo foram realizados mantendo a mesma disposição dos tratamentos e solo no interior dos vasos, objetivando avaliar o efeito residual dos nutrientes no solo e desempenho das plantas de girassol em função das doses de BLE e PR, assim, no segundo ciclo não foi adicionado BLE e nem PR.

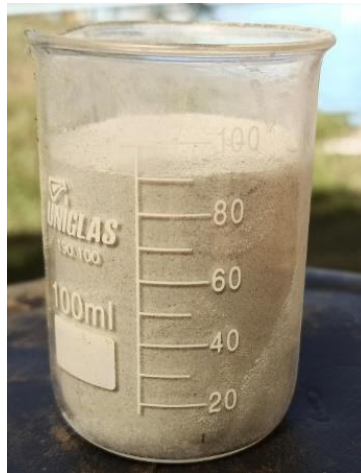


FIGURA 4. Pó de rocha que foi misturado ao solo no início do primeiro ciclo de cultivo (C1) do girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright.

TABELA 4. Propriedades físico-químicas do PR de origem micaxisto utilizado no cultivo do girassol ornamental cultivar *Sunflower Sunbright*.

SiO ₂	K ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	MnO	Al ₂ O ₃	FC2O ₃
%							
43,7	2,7	12,6	7,79	0,1	0,12	9,08	4,66
TiO ₂	Na ₂ O	Al	Fe	K	F	Mg	Na
%							
0,54	0,73	0,96	2,44	0,3	4,04	4,04	<0,01
Zn	Hg	Ag	As	B	Ba	Be	Cu
ppm							
47	<0,05	<0,01	<1	<10	70	0,2	2,5
Mo	Mn	P					
ppm							
0,53	967	519					

Dióxido de silício (SiO₂), Óxido de potássio (K₂O), Óxido de cálcio (CaO), Óxido de magnésio (MgO), Fosfato (P₂O₅), Óxido de manganês (MnO), Zinco (Zn), Óxido de alumínio (Al₂O₃), Óxido de ferro (III) (FC2O₃), Dióxido de titânio (TiO₂), Óxido de sódio (Na₂O), Mercúrio (Hg), Prata (Ag), Alumínio (Al), Arsênio (As), Boro (B), Bário (Ba), Berílio (Be), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Molibdênio (Mo), Potássio (K), Flúor (F), Manganês (Mn), Sódio (Na), Fósforo (P), Enxofre (S). Fonte: REMAX, 2022

4.7 Origem do biochar de lodo de esgoto (BLE)

O lodo de esgoto (LE) foi obtido na estação de tratamento de esgoto da CAESB, Unidade de Samambaia, Distrito Federal. Após a coleta, as amostras de LE foram secas ao ar, atingindo aproximadamente 10% de umidade, passadas por uma peneira de 4 mm e em seguida foram submetidas a 300°C em forno de pirólise (Linn Elektro, Eschenfelden, Alemanha) por 3 horas. O BLE apresentou rendimento de 77,4%, na taxa de aquecimento de 2.5 °C por minuto. Após a produção, o BLE foi padronizado com tamanho médio dos grânulos menores que 4 mm

e analisado quanto às propriedades físico-químicas, cujos resultados são apresentados na (Tabela 5).



FIGURA 5. BLE no início do primeiro ciclo de cultivo (C1) do girassol ornamental cultivar *Sunflower Sunbright*.

TABELA 5. Propriedades físico-químicas do BLE de esgoto produzido na temperatura de pirólise de 300 °C e misturado ao solo no início do primeiro ciclo de cultivo do girassol ornamental cultivar *Sunflower Sunbright*.

Cd	Ni	Pb	Cu	Fe	Mg	Zn	Um	pH
mg kg ⁻¹								
4,0	43,0	28,0	115	24,90	134,0	400,0	9,2	6,5
N	Ca	Mg	S	K ₂ O	MO	P ₂ O ₅	CO	C/N
%								
3,4	0,7	0,18	0,86	0,3	47,2	5,5	7,5	2,2

Cádmio (Cd), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Óxido de potássio (K₂O), Potencial hidrogênio (pH), Matéria orgânica (MO), Porcentagem de umidade (Um), Relação carbono/nitrogênio (Rel. C/N), Pentóxido de fósforo (P₂O₅), Nitrogênio (N), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn) e Carbono orgânico (CO).

4.8 Irrigação e manejo da irrigação

4.8.1 Sistema de irrigação

A irrigação foi realizada por gotejamento superficial com tubos de 12 mm de diâmetro externo, com um gotejador on line por vaso de cultivo de vazão nominal de 8,0 L h⁻¹ na pressão de 120 kPa, com o turno de rega de 2 dias. Até aos 34 dias após da semeadura (DAS) no primeiro ciclo e 47 DAS no segundo ciclo, a irrigação foi realizada duas vezes ao dia com tempo de 7 min cada uma para melhor germinação e melhorar o stand das mudas.

No C1 o sistema de irrigação foi acionado a partir da programação do timer digital com precisão de 1 s, sendo composto ainda de uma motobomba de 0,5 CV para captar a água vinda de um córrego e armazenada e uma caixa de 2000 L, cabeçal de controle com um filtro de disco de 125 micras, tomada de pressão e registros de esfera.

No C2 o sistema de irrigação foi semiautomatizado (SIAS), projetado para facilitar o acionamento da irrigação. O SIAS foi acionado via internet (wifi), através de uma interface web simplificada. Nessa interface foram definidos cinco campos que representam às válvulas solenoides ordenados de S1 a S5, correspondentes às válvulas solenoides de Vs1 a Vs5, respectivamente. O tempo de irrigação, em segundo, foi digitado nos espaços para registrar a solicitação e clicando no botão “Executar”, iniciado, assim, o processo de irrigação. O processo é iniciado com o acionamento do relê da válvula solenoide Vs1, sendo o relé da válvula solenoide Vs2 acionado após o desligamento da Vs1, e assim sucessivamente até a Vs5. Os tempos, em segundos, ficam armazenados para uso posterior. Componentes utilizados para construir o SIAS:

- ESP32, responsável pela parte lógica e de comandos;
- 01 motobomba periférica 220 V;
- 05 válvulas solenoides de controle de fluxo de água de 24 V;
- 06 relés para controle da motobomba e das válvulas solenoides;
- 01 Disjuntor monofásico;

- Para alimentação do sistema foram utilizados: 01 transformado de 220V/24V; 01 transformador de 220V/12V e 01 placa de alimentação para equipamentos embarcados de 12V/5V;

- Interface web: A interface frontal da web (frontend) foi programada em HTML e JAVASCRIPT. Para trazer um design simples foi necessário a utilização do CSS, já a interface por “trás” da web (backend) foi utilizado o PHP para criar, salvar e alterar os dados e o MySQL para armazenar os dados;

- Interface embarcada: A programação do ESP32 foi feita por meio da plataforma ARDUINO IDE, onde o circuito embarcado utilizada linguagem C++;

Infraestrutura: Para o funcionamento da SIAS utilizou-se um repetidor de sinal WIFI com criptografia AES2, acesso à internet, energia e água.

4.8.2 Manejo da irrigação

Para manejo da irrigação foi realizada a curva de retenção de água no solo e utilizando três tensiômetros instalados nos vasos que representavam as doses de 0, 2, 4, 6 e 8% v/v de BLE (Figura 6a e 6b), independente das doses de PR.



FIGURA 6. Tensímetro digital (a) e tensiômetro (b) instalado nos vasos com doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% v/v, independente das doses de PR.

Para determinação da lâmina ou volume de irrigação em cada vaso de cultivo com turno de rega de 2 dias, foi utilizando a Equação 1, proposta por Hasanvandi et al. (2014), aplicando-se o mesmo volume em todos os vasos de cultivo, tomando-se como referência sempre a tensão de água no solo medida nos vasos sem presença de BLE devido a textura e características do solo e PR para definir o volume a ser resposto em todos os tratamentos.

Equação 1

$$\text{Vol. água} = \frac{[(\theta_{CC} - \theta_{\text{atual}}) Z \cdot A]}{E_a}$$

Em que:

Vol. água = volume de água (L);

θ_{CC} = umidade volumétrica à CC ($\text{cm}^{-3} \text{cm}^{-3}$);

θ_{atual} = umidade volumétrica atual ($\text{cm}^{-3} \text{cm}^{-3}$);

Z = profundidade do solo no vaso (mm);

A = área superficial do vaso de cultivo (m^2) e

E_a = Eficiência de aplicação (0,97). Obtida considerando em ensaio de uniformidade de distribuição de água dos emissores novos.

Foram utilizadas amostras indeformadas de solo retiradas nos 5 vasos sem presença de BLE e PR, para isso, o solo, após colocados nos vasos de cultivos, recebeu irrigação duas vezes ao dia, por 5 dias para estabilização da estrutura do solo. A curva de retenção de água foi feita pelo método da câmara de pressão de Richards, nos potenciais matriciais de -300, -80, -50, -33, -10, -8, -6, -5 e -2 kPa e ajustando a curva de retenção de água pelo modelo Van Genuchten et

al. (1980), através da SWRC (Soil Water Retention Curve) (Figura 7), assim o decréscimo linear foi devido à areação do solo (Soares et al., 2017).

Os resultados de retenção da água no solo foram ajustados pela equação de van Genuchten (1980) com o intuito de transformar os dados de potencial matricial (Ψ_m) medidos ao longo do tempo por meio dos tensiômetros em dados de umidade volumétrica Equação 2.

Equação 2

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \cdot |\Psi_m|)^n]^m}$$

Em que:

θ = umidade volumétrica atual ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$);

θ_r = umidade residual ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$);

θ_s = umidade na saturação ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$);

Ψ_m = potencial matricial do solo (kPa);

m, n e α = parâmetros de ajuste;

m = 1-1/n

(Mualem, 1976).

Os potenciais matriciais foram medidos com tensímetro digital de punção (Figura 6a) a cada dois dias, considerando como referência os tratamentos que não receberam PR e BLE para determinar a lâminas de irrigação, suficiente para elevar a umidade do solo a 10 kPa, admitida como sendo a tensão na capacidade de campo (CC), sendo aplicado a mesma lâmina em todos os tratamentos. Assim, a dinâmica da água no solo na cultura do girassol ornamental variou entre o primeiro e segundo ciclo, observando-se 25,09 L (437 mm) e 29,52 L (506 mm) de água por vaso no primeiro ciclo (C1) e segundo ciclo (C2), respectivamente. A diferença apresentada entre C1 com o C2, pode estar relacionada as condições climáticas do local bem como da maior incidência de doenças no girassol como mancha de alternaria causada por *alternaria helianthi* nas folhas mais baixas para as folhas do ponteiro (Embrapa, 2010) e aumento da evaporação do solo e a transpiração das plantas separadamente (Soares et al., 2017) pelos danos físicos causados em parte das folhas do girassol no C2.

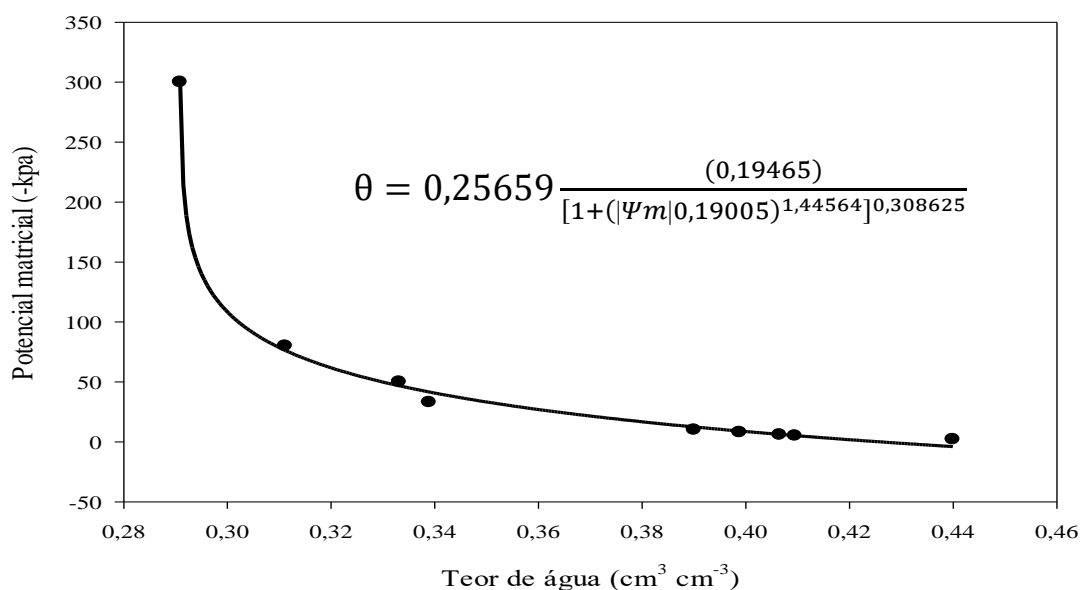


FIGURA 7. Curva de retenção de água com valores de teor de água no solo em função do potencial matricial do Latossolo Vermelho Amarelo, segundo o modelo de van Genuchten.

4.9 Informações climáticas no C1 e C2

Ciclo de cultivo C1

A temperatura, máxima, mínima e média se elevou ao longo do C1, atingindo máxima de 35,4 °C aos 74 DAS e mínima de 4,5 °C no 1º DAS, e média de 19,77 °C, abaixo de 28 °C (Figura 14) que é a temperatura ótima durante os diferentes estádios de crescimento do girassol (Hwaidi, 2023), com radiação solar global máxima de 21 MJ m⁻² dia⁻¹ aos 73 DAS e de 19 MJ m⁻² dia⁻¹ no 5º e 26º DAS.

Aos 45, 53, 54, 55, 56, 57, 58 e 59 DAS, a umidade relativa aumentou decorrente das precipitações pluviométricas ocorrida nesse período, atingindo 85,6, 91,1 e 81,9% aos 55, 56 e 57 DAS, respectivamente, (Figura 14). Esses fatores podem interferirem no desempenho das plantas, como relata Cechin et al. (2018), onde observaram que as plantas de girassol (*Helianthus annuus L. variedade IAC-Iarama*) cultivada em casa de vegetação sob condições fotoperiódicas naturais, onde a radiação fotossintética ativa de 2.100 μmol m⁻² s⁻¹ reduziu a produtividade fotossintética.

Já Silva et al. (2022b) relatam que em temperatura de 27 °C, 53% de umidade relativa do ar e 21 MJ m⁻² dia⁻¹ resulta em maior taxa de crescimento e de produtividade na atividade estomática em planta de girassol ornamental GS2.

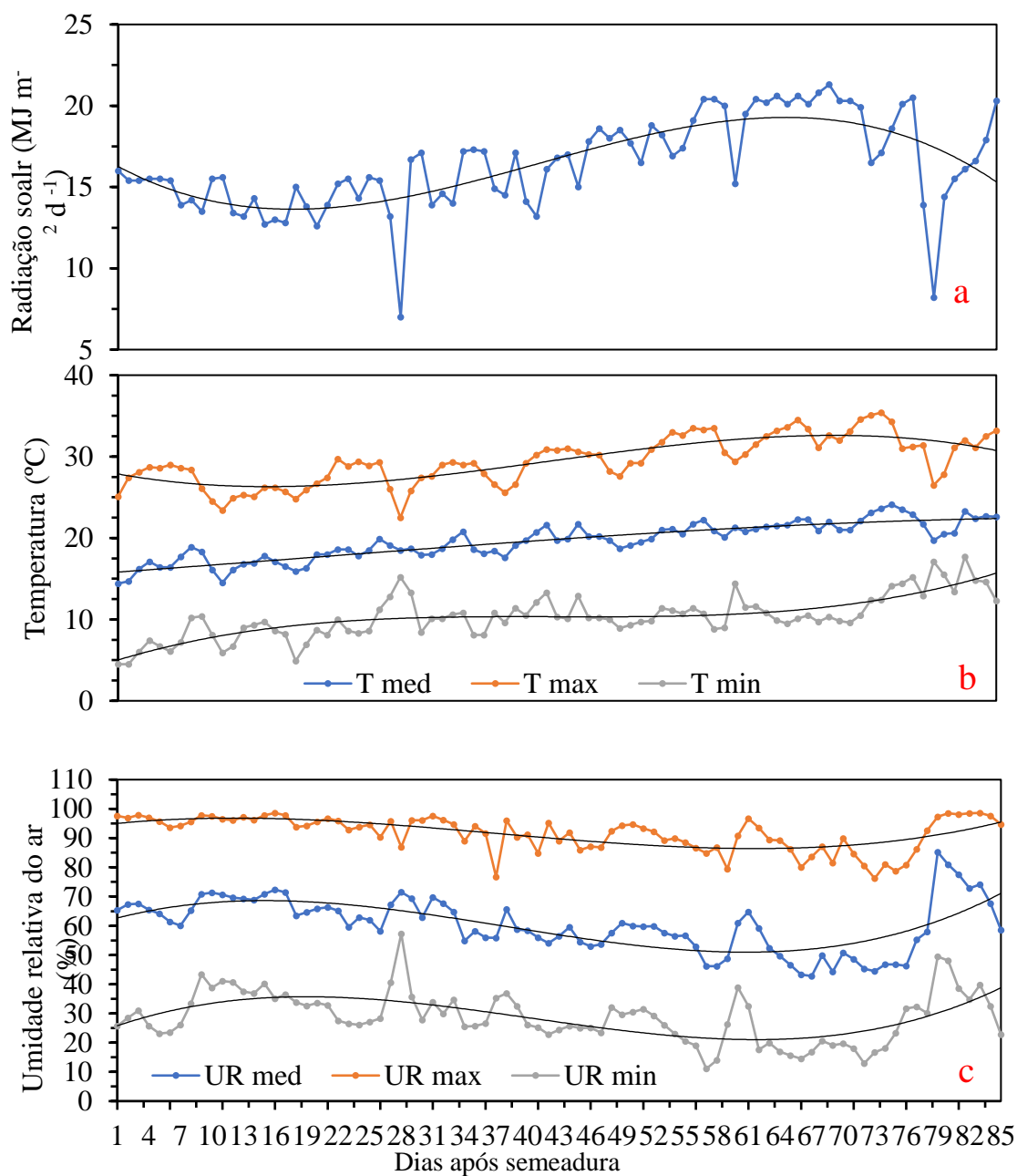


FIGURA 8. Valores medidos e linha de tendência da radiação solar global (a), temperatura do ar máxima, mínimas e médias do ar (b) e umidade relativa do ar máximas, mínimas e médias (c) durante o primeiro ciclo (C1) do girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright.

Ciclo de cultivo C2

A temperatura, máxima, mínima e média se elevou ao longo do C2, atingindo máxima de 33,5 °C aos 65 DAS e mínima de 10,4 °C no 6º DAS, e média de 21,0 °C (Figura 15b), abaixo dos 28 °C que é a temperatura ótima nos diferentes estágios de crescimento da planta (Hwaidi, 2023), com uma média de radiação solar global de 14 MJ m⁻² dia⁻¹ aos 65 DAS, sendo a mínima de 5,3 °C aos 21 DAS e máxima no 4º DAS de 22,2 MJ m⁻² dia⁻¹ (Figura 15a). Por

outro lado, a partir do 20º DAS, a umidade relativa do ar aumento decorrente das precipitações pluviométricas, atingindo 94,1, 92,2, 90,9, 90,8, 91,1, 93,1 e 91,2% aos 21, 22, 31, 34, 51, 64 e 65 DAS, respectivamente (Figura 15c).

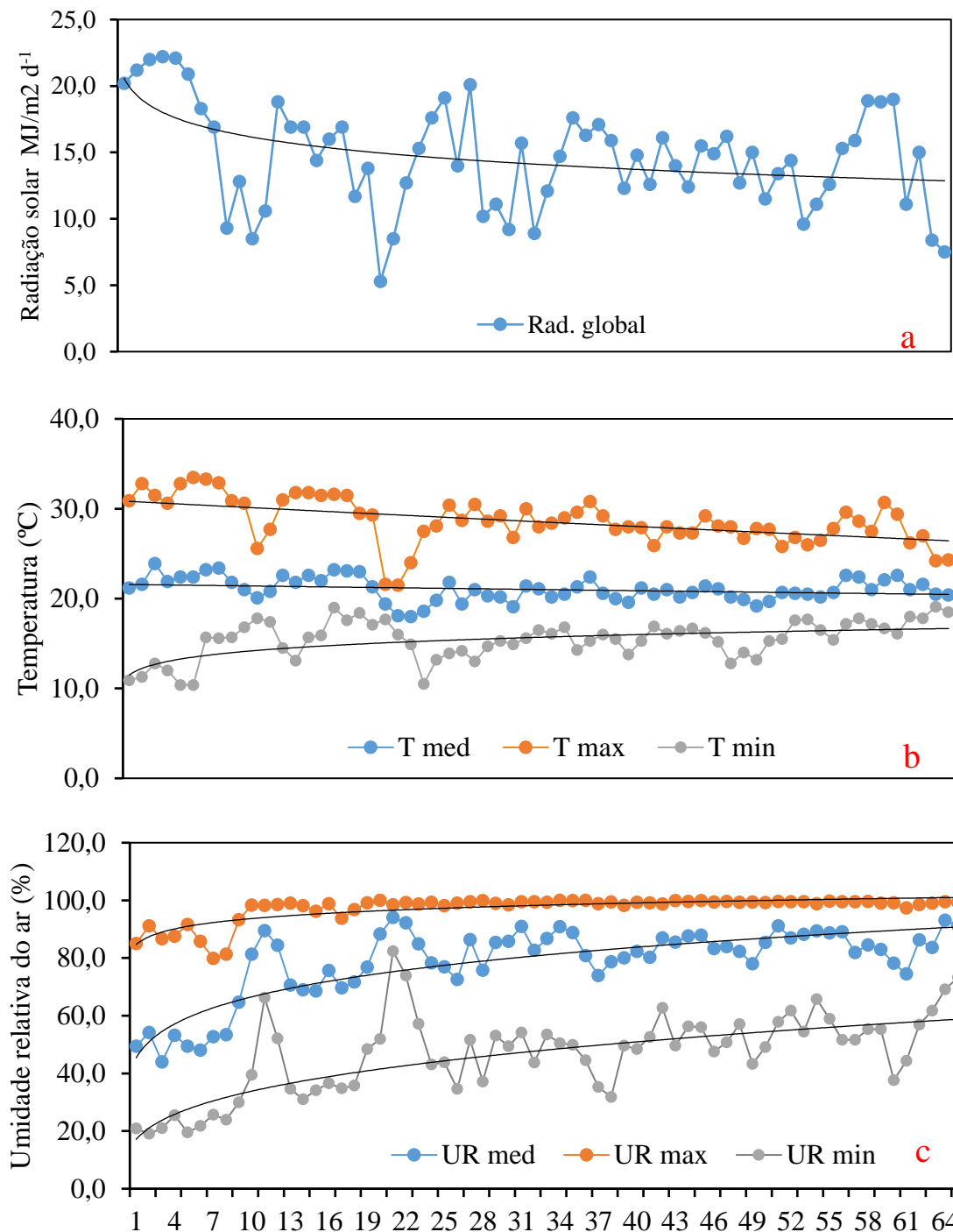


FIGURA 9. Valores medidos e linha de tendência da radiação solar global (a), temperatura do ar máxima, mínimas e médias do ar (b) e umidade relativa do ar máximas, mínimas e médias (c) durante o C2 do girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright.

Portanto, no C1, a umidade relativa do ar, a temperatura e a radiação solar foram adequadas para o melhor desenvolvimento do girassol. Já no C2, o aumento da umidade relativa do ar e a diminuição da temperatura e radiação solar, favoreceu a incidência de fungo de *A. helianth*, que, considerando a classificação proposta na Tabela 2, os danos podem ser considerados de nível grave (A2), mesmo fazendo-se aplicações de fungicidas (Amistar top e Platinum Neo, Voraz e Supera) semanalmente. Segundo a Embrapa, (2010b), esses danos podem influenciar negativamente a fotossíntese pelas lesões formando áreas extensas de tecido necrosado, provocando início da desfolha de forma precoce das plantas mais afetadas, motivo qual, a colheita do girassol foi realizada ao atingir a fase R6.

4.10 Atributos morfológico do girassol ornamental (*Sunflower Sunbright*) medidos nos ciclos de cultivos C1 e C2

Altura de plantas (AP), Número de folhas (NF) e Diâmetro do coleto (DC).

A AP foi medida em 6 plantas úteis por tratamento aos 10, 20, 40 e 60 dias após a semeadura (DAS) (Figura 8), determinada com o auxílio de régua graduada, em mm. Foram medida a altura do caule principal das plantas eretas desde a superfície do solo até o ápice da planta.

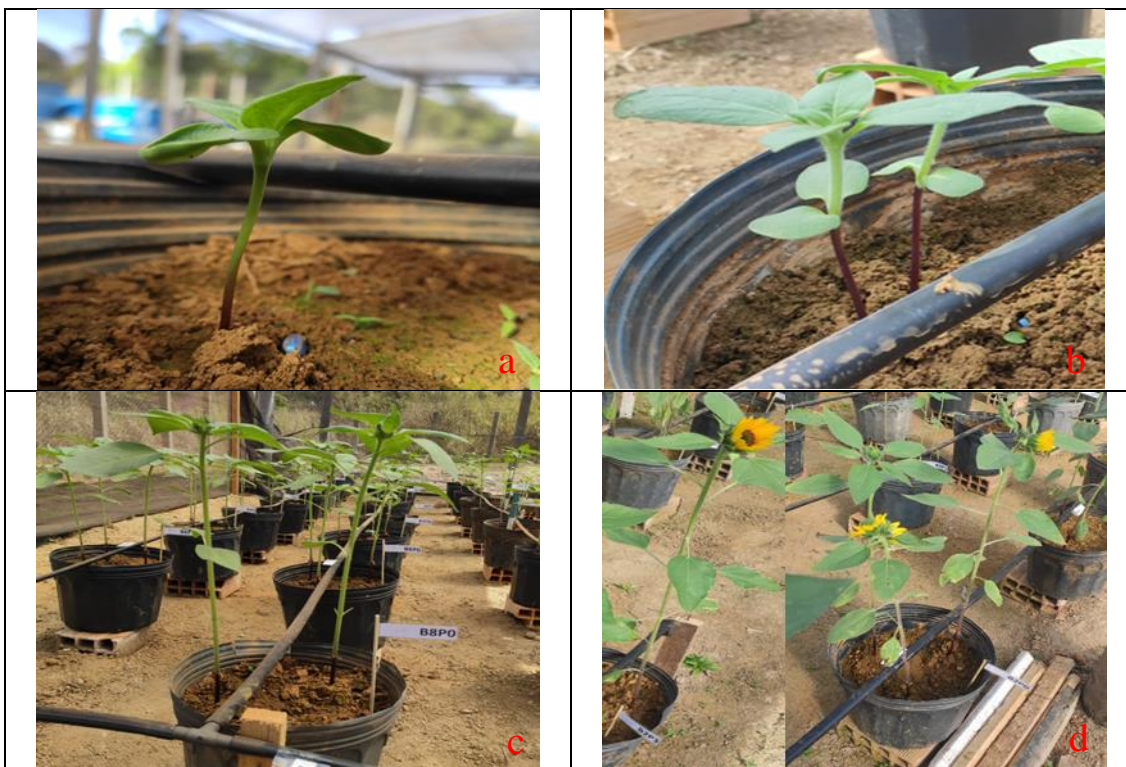


FIGURA 10. Altura de plantas (AP) aos 10 (a), 20 (b), 40 (c) e 60 (d) DAS do girassol ornamental cultivar *Sunflower Sunbright*.

O NF foram contadas todas as folhas aos 10, 20, 40 e 60 DAS em 6 plantas úteis por tratamento (Figura 9).

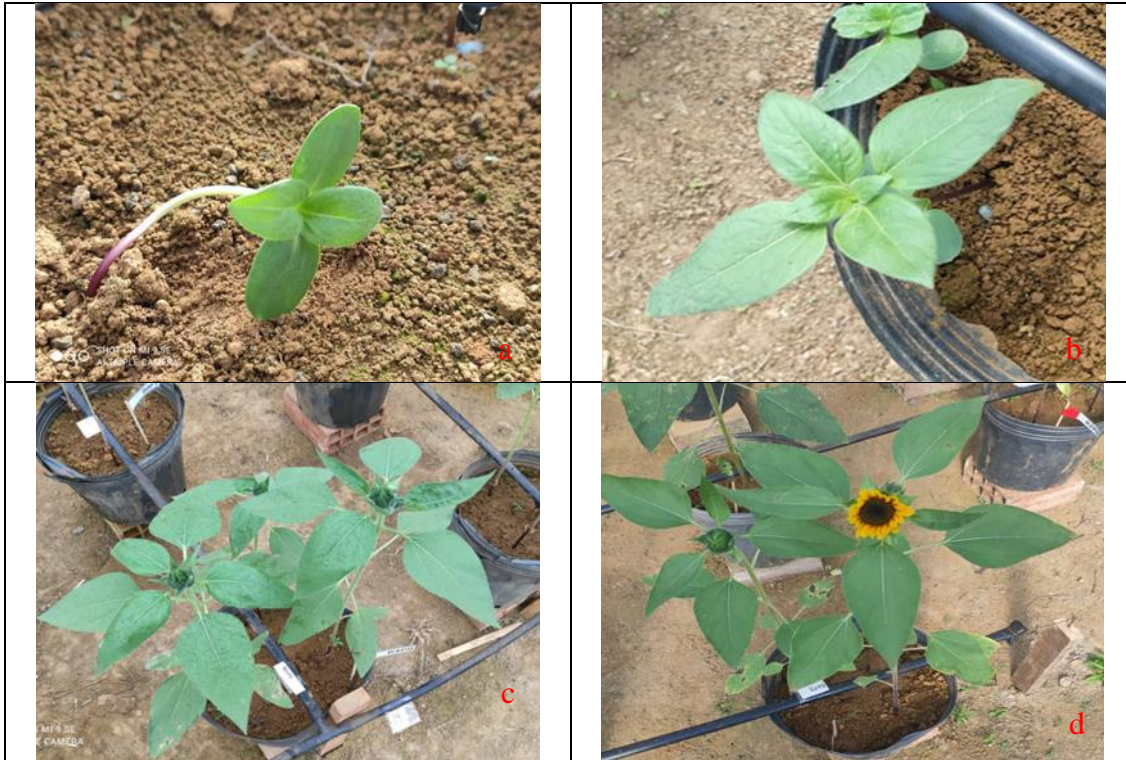


FIGURA 11. Número de folhas (NF) aos 10 (a), 20 (b), 40 (c) e 60 (d) DAS do girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright.

O DC foi medido a 1 cm acima da superfície do solo aos 10, 20, 40 e 60 DAS (Figura 10) em 6 plantas úteis por tratamento, utilizando um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm.





FIGURA 12. Diâmetro do coleto (DC) aos 10 DAS (a), 20 DAS (b), 40 DAS (c) e 60 (d) DAS do girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright.

Fitomassa fresca da parte aérea (FFA) e seca da parte aérea (FSA), Massa fresca radicular (MFR) e seca radicular (MSR)

Aos 60 DAS foi medida a FFA e FSA (Figura 11a, 11b e 11c), esta última foi obtida a partir da secagem em estufa de ar forçado a 65 °C (± 1 °C) por 48 h ou até peso constante. Para isso foram podadas rente à superfície do solo 4 plantas úteis de cada tratamento, e pesadas em balança analítica com precisão de 0,01 g.

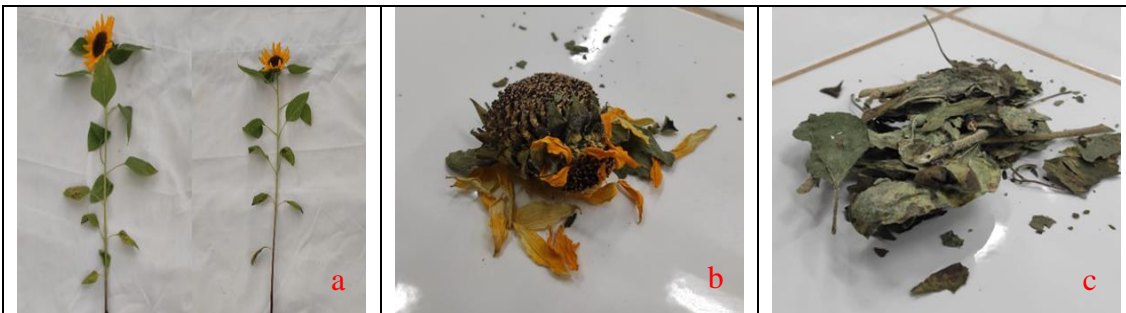


FIGURA 13. Fitomassa úmida (FFA) (a) e seca da parte aérea (MSA) DAC (b) e (c), girassol ornamental cultivar *Sunflower Sunbright*.

A MFR e MSR foram obtidas em 4 plantas úteis de cada tratamento utilizando balança analítica com precisão de 0,0001 g (Figura 12). A secagem foi realizada em estufa de circulação de ar forçada com temperatura de 65 °C (± 1 °C) por 48 h ou até peso constante.

A amostra de biomassa de raízes foi retirada de um conjunto de quatro plantas por vaso.



FIGURA 14. Massa úmida radicular (MFR) (a) e seca radicular (MSR) (b) aos 60 DAS do girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright.

Área foliar das plantas de girassol (AF)

Foi estimada pela Equação $AF = 1,7582 L^{1,7067}$ em que: L = Largura da folha, sendo que o somatório final das áreas por folha fornece o valor da área foliar total da planta (cm^2) (Maldaner et al., 2009), em 4 plantas úteis de cada tratamento.

Qualidade das flores

Foi medido o diâmetro interno do capítulo (DIC), diâmetro externo do capítulo (DEC), número de pétalas no capítulo (NP), dias após colheita (DAC), fitomassa fresca do capítulo (FFC) e fitomassa seca do capítulo (FSC) no estágio R6 (floração final) (Figura 13).

O DEC foi obtido pela média das medições horizontais e verticais dos limites das pétalas, o DIC foi obtido a partir da média aritmética dos limites verticais e horizontais obtidos nas flores do disco e o NP foi contado todas as pétalas sem qualquer critério de discriminação. Para o DPC foi levado em consideração o número de dias de duração da flor desde que todas as pétalas (flores do raio) se abriram inteiramente até o final do estágio R6.



FIGURA 15. Diâmetro interno do capítulo (DIC), diâmetro externo do capítulo (DEC), número de pétalas no capítulo (NP) (a e b), fitomassa fresca do capítulo (FFC) e fitomassa seca do capítulo (FSC) (c).

Taxas de crescimento absoluto (TCA) e de crescimento relativo (TCR)

Conhecidos os valores da altura e diâmetro do coleto foram determinadas as taxas de crescimento absoluto (TCA) e de crescimento relativo (TCR), conforme metodologia de Benincasa (2003) para cada dia de medida ao longo de cada ciclo de cultivo.

A taxa de crescimento absoluto foi obtida pela Equação 3.

Equação 3

$$TCA = (M2 - M1)/(T2 - T1)$$

Em que:

M2 = medição final da altura da planta de girassol (cm) ou diâmetro do coleto (mm);

M1 = medição inicial da altura da planta de girassol (cm) ou diâmetro do coleto (mm);

T2 - T1 = intervalo de tempo entre a mediação inicial e final (dias).

A taxa de crescimento relativo foi obtida pela Equação 4.

Equação 4

$$\text{TCR} = (\text{LnM2} - \text{LnM1}) / (\text{T2} - \text{T1})$$

Em que:

- M2 = medição final da altura da planta de girassol (cm) ou diâmetro do coleto (mm);
- M1 = medição inicial da altura da planta de girassol (cm) ou diâmetro do coleto (mm);
- T2 – T1 = intervalo de tempo entre a medição inicial e final (dias);
- Ln = logarítmo neperiano.

4.10 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F, seguida de análise de comparação de médias pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Também foi aplicada análise de regressão, quando não houve interação entre os fatores BLE e PR. Adicionalmente, aplicou-se a Análise de Componentes Principais (PCA) e metodologia de análise Biplot, utilizando o programa Sigma Plot, versão 5.7 (Ferreira, 2018).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Potencial matricial de água no solo C1 e C2 do girassol ornamental

Potencial matricial de água no solo no C1

Aos 45, 53, 54, 55 e 56 DAS, o potencial matricial foi abaixo de -10 kPa nos tratamentos com doses de 0, 2, 4 e 8% de BLE, que são condições que podem comprometer a cultura de expressar seu máximo potencial pela limitação na oxigenação no solo, desperdiçando água e resultar em lixiviação de nutrientes por superar a capacidade de campo do solo (Figura 16).

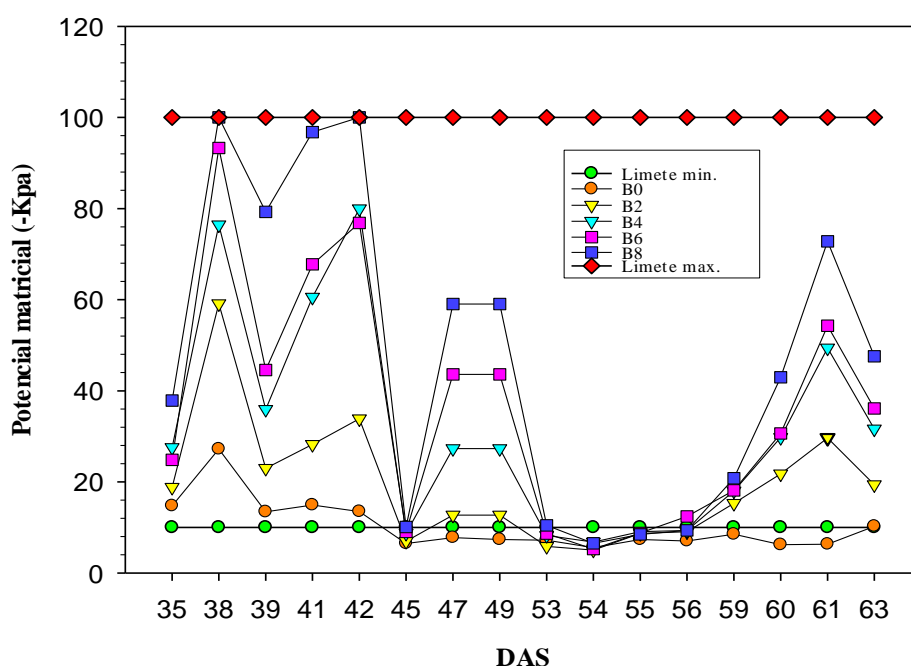


FIGURA 16. Potencial matricial do solo nas diferentes doses de biochar de lodo de esgoto em dias após a semeadura (DAS) e limite mínimo e máximo de tensão adequado para a cultura do girassol ornamental *Sunflower Sunbright* no C1.

Observa-se que as tensões medidas nas doses de BLE de 4, 6 e 8% foram influenciados pela alta porosidade do Latossolo Vermelho-Amarelo (Souza et al., 2018), propriedades químicas do solo (Laurentino et al., 2021), capacidade de retenção de água (Donagemma et al., 2016), forças capilares, forças de adsorção (Nóbrega et al., 2022) e pelos parâmetros físico-hídricos do solo (Silva et al., 2020a), durante o desenvolvimento da cultura do girassol.

No tratamento testemunha (0% de BLE), no período de 44 a 62 DAS o solo apresentou elevada umidade, que segundo Singor e Deon (2017), pode provocar a murcha das plantas, devido ao solo argiloso ter mais capacidade de reter mais água comparado a solos arenosos quando na mesma tensão de água (Nóbrega et al., 2022; Souza et al., 2018) e distribuição do

tamanho de poros por diâmetro (Silva et al., 2020a). Já a umidade na capacidade de campo, depende da interação entre conteúdo de argila, estrutura, densidade e teor carbono orgânico do solo (Coelho et al., 2014). Uma vez a umidade estando abaixo da capacidade de campo, pode haver crescimento desigual das plantas, desuniformidade no sistema radicular, amarelecimento e queda de folhas, e perda da biomassa foliar. No entanto, no presente estudo mesmo que o potencial matricial tenha sido acima de -10 kPa, não foi possível afirmar que estes efeitos tenham ocorrido de forma a comprometer o desempenho das plantas.

Na dose de 8% de BLE o potencial matricial chegou -100 kPa, seguida por 6% com -90 kPa, 4% com -80 kPa e 2% com -60 kPa, possivelmente, devido a textura e alta porosidade do BLE que pode ter proporcionado maior aeração no solo, principalmente nos tratamentos que receberam maior dose de BLE diminuindo, segundo Laurentino et al. (2021), a retenção da água (Lira et al., 2015).

O potencial matricial da água diminui com o aumento das doses de BLE, mantendo potencial matricial mais estável em 0% BLE e, na maior parte do ciclo do girassol foi superior a capacidade de campo (CC) (-10 kPa) (45 a 63 DAS). Já no tratamento B8 (8% de BLE), o potencial matricial da água foi inferior à CC na maior parte do ciclo com elevada amplitude entre os valores (-100 kPa aos 38 e 42 DAS até 7 kPa aos 54 DAS), o mesmo ocorreu com as demais doses de BLE, mas com menor amplitude entre os valores.

Existem diversos fatores que influenciaram no menor valor do potencial matricial no solo com a presença do BLE, como: i) alta porosidade do BLE; ii) espessura das paredes celulares lignificadas que podem resultar em um efeito hidrofóbico (Gondim et al., 2018) repelindo a umidade perto das raízes devido à sua estrutura aromática (Pacheco et al., 2024); iii) os teores de celulose, alifáticos e aromáticos, ângulo de contato que permite verificar a interação molecular entre sólidos e líquidos (Batista, 2018), onde o ângulo de contato maior que 90° e as pressões capilares impedem a entrada de água nos poros na superfície hidrofóbica (Silverstein, 1993; Gray et al., 2014).

Estudos afirmam que o biochar é um material hidrofóbico (Petter e Madari, 2012). Essa característica é devido a predominância de alguns grupos funcionais que repelem a água. Isto foi observado pela análise de ângulo de contato, onde o biochar interagiu melhor com o líquido apolar do que com a água (Batista, 2018). Chun et al. (2004) realizaram experimentos sobre a absorção de água em biochar, observando que uma temperatura mais elevada pela pirólise leva a uma menor absorção de água na superfície interna dos biochar.

É importante lembrar que o biochar não se torna hidrofílico em temperaturas elevadas, porque nenhum grupo funcional polar é formado, apenas se torna menos hidrofóbico devido à ausência de funcionalidades não polares (Batista, 2018).

Temperaturas mais elevadas no processo de pirólise resultam em carvões mais hidrofóbicos, porque os grupos funcionais de superfície mais polar são removidos e a aromaticidade é aumentada. Superfícies hidrofóbicas podem impedir a entrada de água na estrutura porosa do carvão (Fang et al., 2014; Gray et al., 2014).

A hidrofobicidade do biochar é geralmente eliminada por uma breve exposição ambiental, e resulta na melhor retenção de água no solo (Gondim, et al., 2018).

Outro aspecto a considerar, são os compostos orgânicos presentes no BLE capazes de aumentar a agregação e estabilidade dos agregados do solo, causando, assim, aumento na porosidade total, sendo capaz de reter mais umidade no solo (Sharma et al., 2018). Além disso, a amplitude nas diferentes doses de BLE pode ter se dado pelo desenvolvimento das plantas já que a área foliar foi diferente entre doses de BLE. Portanto, uma maior área foliar pode ter contribuído para uma maior transpiração das plantas. Além disso, deve ser levado em consideração, fatores como estresses bióticos como variações de temperatura que as plantas podem ter sido submetidas, ao mesmo tempo, variações de potencial matricial entre os tensiômetros de um mesmo tratamento pode ser devido à posição de instalação da cápsula porosa em relação à ao local exato de aplicação de água pelos gotejadores e espalhamento da água no solo no interior dos vasos de cultivo.

Potencial matricial de água no solo no C2

Observou-se que aos 29 e 43 DAS o potencial matricial nas doses 0, 2, 4, 6 e 8% de BLE foram abaixo de -10 kPa, sendo estável no tratamento testemunha (0% de BLE) aos 29 a 37, 43 a 50 e 53 a 57 DAS.

Aos 62 DAS na dose de 8% o potencial matricial foi -74 kPa, com 6% de BLE foi de -70 kPa e com 4% de BLE foi de -34 kPa, por outro lado, aos 26 DAS, com 0% de BLE foi de -24 kPa e com 2% de BLE de -36 kPa (Figura 17), essa amplitude de valores é pelas diferentes doses de BLE, que resultou em diferentes porosidades e estrutura do solo, além de diferença na massa radicular do girassol ornamental.

No C2, em função das condições climáticas, como a maior umidade relativa do ar, favoreceu o surgimento de patógeno alternaria (*Alternaria helianthi*) que pode ter afetado a altura da planta do girassol (Tripathi e Lal., 2023), sendo significativos em função da incidência

da doença (Binodh et al., 2023). Também houve a presença do míldio foliar, que foi favorecido por fatores ambientais como a temperatura entre 18 °C a 30 °C e precipitação (Leite e Amorim, 2002).

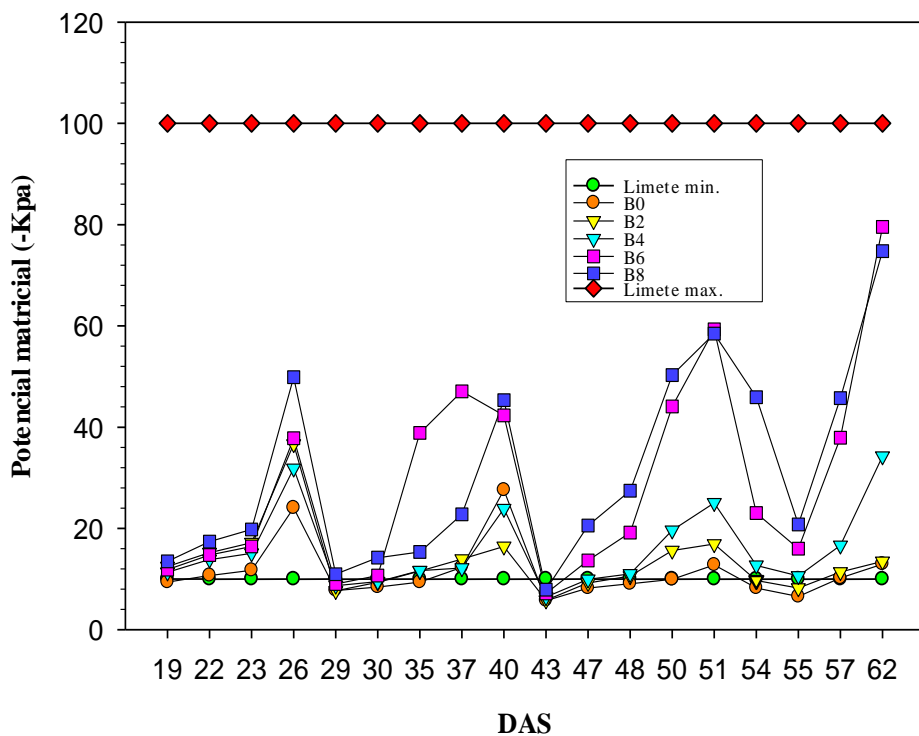


FIGURA 17. Potencial matricial nas diferentes doses de BLE em dias após a semeadura (DAS) do girassol ornamental Sunflower Sunbright no segundo ciclo de cultivo (C2).

5.3 Parâmetros morfológicos do girassol ornamental Sunflower Sunbright

5.3.1 Análise de variância das variáveis morfológicas do girassol no ciclo C1 e C2

Todos os parâmetros morfológicos do girassol ornamental apresentaram efeitos significativos ($P < 0,001$) com o uso de BLE, enquanto para o PR houve significância ($P < 0,01$) apenas para a AP, já na interação entre o BLE e PR houve variação significativa para o DC e DEC ($P < 0,01$) e em FFC ($P < 0,05$), no C1 (Tabela 6).

TABELA 6. Análise de variância dos atributos morfológicos do girassol ornamental Sunflower Sunbright em função das doses de BLE e PR no C1.

Fator de variação	GL	Valores de Quadrados Médios				
		AP	CF	LF	DC	DEC
BLE	4	290,70***	86,93***	54,07***	45,21***	168,78***
PR	4	55,25*	1,47 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,44 ^{ns}
BLExPR	16	24,65 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,69**	1,88**
CV (%)		7,44	9,09	11,29	10,55	9,12

Fator de variação	GL	Valores de Quadrados Médios				
		DIC	NF	NP	FFC	FSC
BLE	4	59,68 ***	38,13***	27,47***	2028,97***	28,63***
PR	4	0,57 ^{ns}	1,33 ^{ns}	1,68 ^{ns}	8,10 ^{ns}	0,15 ^{ns}
BLExPR	16	0,42 ^{ns}	1,57 ^{ns}	0,94 ^{ns}	9,09*	0,15 ^{ns}
CV (%)		11,33	12,86	6,63	13,71	18,74

Fator de variação	GL	Valores de Quadrados Médios				
		FFA	FSA	MFR	MSR	AF
BLE	4	1531,10***	54,04***	44,21***	1,72***	13772,68***
PR	4	5,11 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,03 ^{ns}	107,51 ^{ns}
BLExPR	16	7,91 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,06 ^{ns}	80,41 ^{ns}
CV (%)		15,54	24,07	27,01	30,21	20,74

Altura da planta (AP), Comprimento folhar (CF), Largura folhar (LF), Diâmetro de coletor (DC), Diâmetro externo do capítulo (DEC), Diâmetro interno do capítulo (DIC), Número folhar (NF), Número de pétalas (NP), Fitomassa fresca do capítulo (FFC), Fitomassa seca do capítulo (FSC), Fitomassa fresca aérea (FFA), Fitomassa seca aérea (FSA), Massa fresca radicular (MFR), Massa seca radicular (MSR) e Área foliar (AF), biochar de lodo de esgoto (BLE), pó de rocha de origem micaxisto (PR), GL: graus de liberdade; ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

As variáveis FFC, FSC, FFA, FSA, MFR e MSR no C1 apresentaram diferença significativa (P<0,01) somente em função das doses de BLE (Tabela 6). Já no C2 os parâmetros FFC, FSC, FFA, FSA, MFR e MSR apresentam diferença significativa (P<0,01) em função das doses de BLE, PR e na interação de BLE e PR (Tabela 7). Essas diferenças significativas no C2 podem estar relacionadas, segundo Santos et al. (2015), pela concentração dos nutrientes como P e N presentes no BLE.

No C2, todos os parâmetros morfológicos do girassol ornamental apresentaram efeitos significativos (P<0,001) com uso BLE e PR, com exceção de NP (P<0,01) e, na interação entre o BLE e PR (P<0,001) em todos os atributos morfológicos (Tabela 7).

No C2, a partir dos 25 DAS houve o surgimento do fungo *alternaria alternata* e, para realizar o controle foram utilizados 4 tipos de produtos químicos nas dosagens conforme recomendação no rótulo do fabricante: Amistar top e Platinum Neo, Voraz e Supera aplicados

semanalmente até o final do ciclo, mesmo assim afetou especialmente as folhas mais velhas do girassol, mas de forma similar em todos os tratamentos, não sendo possível mensurar com exatidão o efeito sobre as variáveis morfológicas.

TABELA 7. Análise de variância dos atributos morfológicos do girassol ornamental Sunflower Sunbright em função das dosagens de BLE e PR no C2.

Fator de variação	GL	Valores de Quadrados Médios				
		AP	CF	LF	DC	DEC
BLE	4	666,52***	29,66***	15,31***	37,10***	145,77***
PR	4	143,15***	1,75***	1,17***	0,71***	7,57***
BLExPR	16	63,27***	1,04***	0,34***	2,08***	2,09***
CV (%)		6,00	3,49	4,14	9,22	10,79

Fator de variação	GL	Valores de Quadrados Médios				
		DIC	NF	NP	FFC	FSC
BLE	4	5,71***	38,13***	10,72**	279,83***	2,11***
PR	4	5,71***	38,13***	10,72**	9,41***	0,08***
BLExPR	16	5,71***	38,13***	10,72***	1,41***	0,03***
CV (%)		12,37	12,71	6,83	12,26	18,38

Fator de variação	GL	Valores de Quadrados Médios				
		FFA	FSA	MFR	MSR	AF
BLE	4	129,86***	11,90***	12,45***	0,18***	730,99***
PR	4	10,78***	0,34***	0,76***	0,01***	57,37***
BLExPR	16	3,14***	0,47***	0,36***	0,01***	18,43***
CV (%)		6,67	16,02	28,27	21,21	7,30

Altura da planta (AP), Comprimento folhar (CF), Largura folhar (LF), Diâmetro de coleto (DC), Diâmetro externo do capítulo (DEC), Diâmetro interno do capítulo (DIC), Número folhar (NF), Números de pétalas (NP), Fitomassa fresca do capítulo (FFC), Fitomassa seca do capítulo (FSC), Fitomassa fresca aérea (FFA), Fitomassa seca da aérea (FSA), Massa fresca radicular (MFR), Massa seca radicular (MSR) e Área foliar (AF). GL: graus de liberdade; ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

5.3.2 Dados morfológicas do girassol ornamental sunflower sunbright no C1 e C2

AP e DC ao longo dos ciclos C1 e C2

Na análise de regressão quadrática polinomial para a AP e DC no C1, em DAS, o coeficiente de determinação (R^2) variou de 0,965 a 0,999, já no C2 variou entre 0,987 a 0,995 para AP e de 0,854 a 0,883 para DC (Figura 18). As doses de 4, 6 e 8% de BLE apresentaram os maiores valores de AP e DC tanto no C1 e C2, decorrente da presença de N (3,4%), P_2O_5 (5,5%), K_2O (0,3%), dentre outros nutrientes, no BLE (Tabela 5). Também já foi relatado por outros autores que a elevação da biomassa fresca dos frutos de pimenta de bico ocorreu com o aumento as doses de BLE, especialmente em função da presença de K e P Tito et al. (2020).

Assim, o valor de R^2 para a AP e DC foram próximo a 1,0 no C1 e na AP do C2. Já no C2, o R^2 para os DCs foram de 0,87, 0,85, 0,86, 0,88 e 0,86 nas doses 0, 2, 4, 6 e 8% de BLE, respectivamente. Segundo Miot (2018) são consideradas correlações fortes quando os valores de R^2 se apresentam entre 0,71 e 0,90, ou seja, no presente trabalho a equação de ajuste representa bem a variabilidade do uso do BLE nas diferentes doses no crescimento do girassol ornamental.

Aos 73 DAS, no C1, a dose de BLE de 2% foi menor na AP (60,40 cm) em relação a 4 (64,32 cm), 6 (62,30 cm) e 8% (67,30 cm) de BLE (Figura 18A). Estes resultados são similares ao observado por Magaña et al. (2022), que aos 70 DAS com girassol Sunflower Sunbright registrou AP de 64,65 cm com o reúso de água residuária doméstica tratada. Já Guimarães et al. (2021) observaram AP de 60,57 cm em girassol Sol noturno irrigado com água salina, ou seja, mesmo que a cultivar e os fatores de variação sejam outros, foram similares quanto ao comportamento da AP.

Já no C2, aos 65 DAS os valores de AP para os tratamentos B2, (20,87 cm) foi menor em relação aos tratamentos B4 (22,73 cm), B6 (21,74 cm) e B8 (23,82 cm) (Figura 18C).

No C1, a dose de BLE de 8% apresentou DC de 6,52 mm aos 33 DAS, enquanto aos 73 DAS, as doses de 8 (6,52 mm), 6 (6,26 mm) e 4% (6,02 mm) foram iguais, mas maiores a de 2% (5,14 mm) e 0% de BLE (3,50 mm) (Figura 18B). Já aos 65 DAS no C2, a dose de 8% (4,11 mm) foi maior que a de 2 (3,61 mm), 4 (3,64 mm) e 6% (3,67 mm) de BLE (Figura 18C). Resultados desse estudo são similares aos já observados para planta de girassol cv. Anão de Jardim aos 52 DAS 6,91 mm (água residual), 4,15 mm (lâminas de irrigação) e 5,90 mm (água x lâminas) (Oliveira et al., 2017).

Gonzaga et al. (2018) ao usarem diferentes doses de BLE, observaram que a AP aumentaram significativamente, sendo de 16,8% (20 t ha⁻¹) 23,1% (40 t ha⁻¹), 32,0% (80 t ha⁻¹) e 35% (100 t ha⁻¹), enquanto que o DC aumentou 9,7% (100 t ha⁻¹), 12,2% (80 t ha⁻¹), 23,6% (40 t ha⁻¹) e 31,3% (20 t ha⁻¹) em relação ao tratamento testemunha aos 60 DAS.

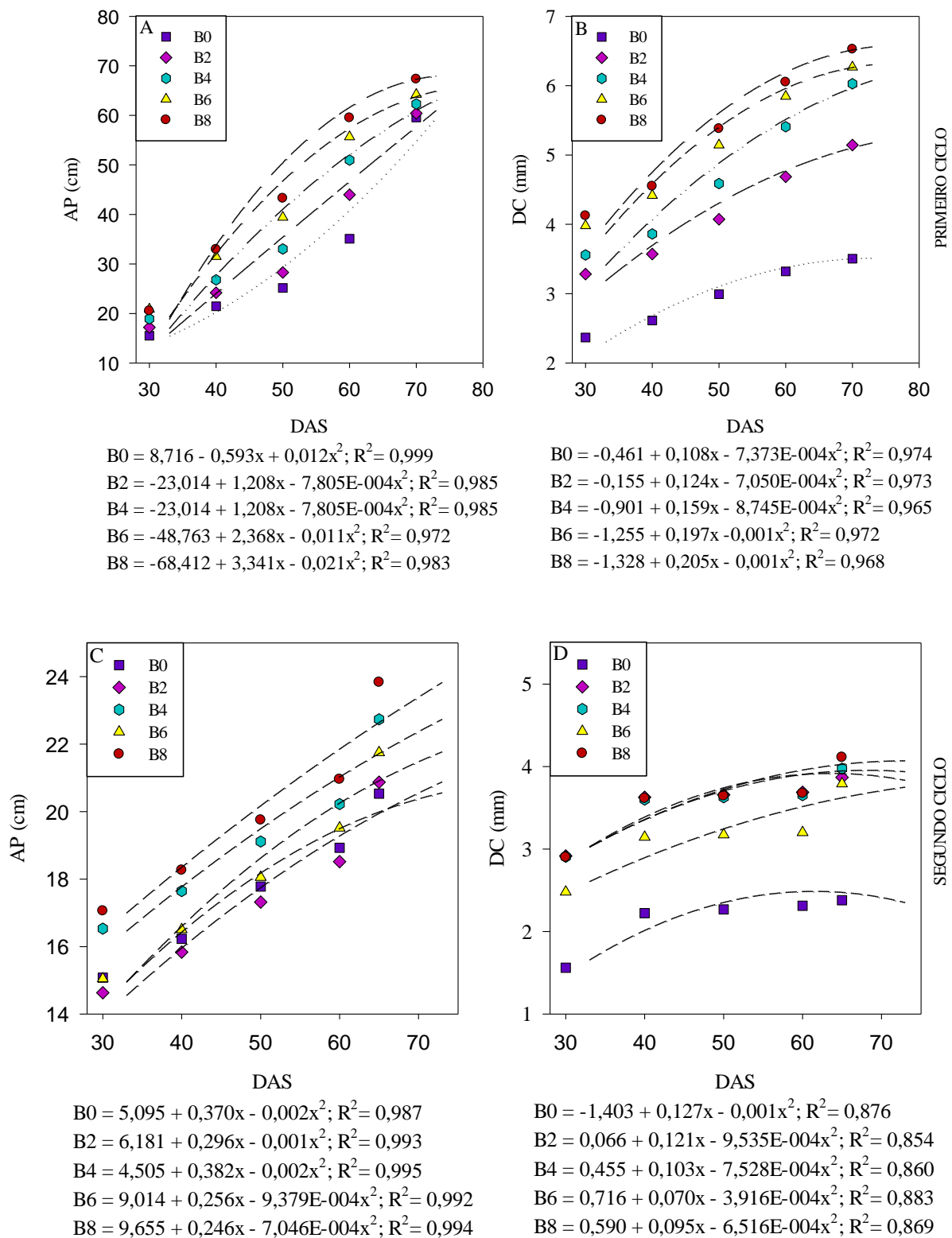


FIGURA 18. Valores de AP e DC ao longo do C1 e C2, em DAS em função das doses de 0 (B0), 2 (B2), 4 (B4), 6 (B6) e 8% (B8) de BLE e modelo de ajuste, do girassol ornamental Sunflower Sunbright.

TCAA, TCRA, TCADC e TCRDC

A análise de regressão quadrática foi significativa ($P < 0,01$) nas TCAAP (Figura 19A), TCRA (Figura 19C) e TCRDC (Figura 19D), com exceção CADC (Figura 19B) no C1, bem como na TCAAP, TCRAP, TCRDC e TCADC no C2. Assim, a TCAAP e TCRAP expressaram a produtividade, mostrando que na dose de 8% de BLE houve maior indicador em TCAAP, com $0,64 \text{ cm dia}^{-1}$ em relação 0% de BLE ($0,60 \text{ cm dia}^{-1}$), 2% ($0,59 \text{ cm dia}^{-1}$), 4% ($0,59 \text{ cm dia}^{-1}$) e 6% ($0,59 \text{ cm dia}^{-1}$) no C1; já no C2, 4% foi maior, com $2,95 \text{ cm dia}^{-1}$ em relação 0% de BLE ($0,08 \text{ cm dia}^{-1}$), 2% ($0,01 \text{ cm dia}^{-1}$), 6% ($0,77 \text{ cm dia}^{-1}$) e 8% ($0,64 \text{ cm dia}^{-1}$) em TCAAP. Esses resultados foram similares dos cultivares girassol (BRS Gira 26, Agrobel 962 e Embrapa 122) com $0,57 \text{ cm dia}^{-1}$ em TCAAP (Junior et al., 2013). Resultados contrários com $-1,9 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ mostraram valores negativos aos 53 DAS na aplicação de 200 kg ha^{-1} de P (Santos et al., 2015) justificado por Barni et al. (1995b) que a morte de folhas excedeu a produção de grãos.

No entanto, no C1, os valores de TCADC foram similares nas doses de 4 ($0,033 \text{ mm dia}^{-1}$), 6 ($0,031 \text{ mm dia}^{-1}$) e 8% ($0,032 \text{ mm dia}^{-1}$), em comparação com 2 ($0,025 \text{ mm dia}^{-1}$) e 0% de BLE ($0,015 \text{ mm dia}^{-1}$). Por outro lado, no C2, 4% de BLE ($2,96 \text{ mm dia}^{-1}$) foi maior em comparação com a de 0 ($0,09 \text{ mm dia}^{-1}$), 2 ($0,01 \text{ mm dia}^{-1}$), 6 ($1,30 \text{ mm dia}^{-1}$) e 8% de BLE ($0,03 \text{ mm dia}^{-1}$). Junior et al. (2013) observaram resultados próximos de $0,0974 \text{ mm dia}^{-1}$ em girassol Embrapa 122 submetidas a diferentes regimes hídricos quanto aos valores de TCADC, maior que os obtidos nesse estudo para a cultivar Sunflower Sunbright que possui menor DC.

O efeito das doses do BLE sobre os valores de TCRAP e TCRDC aos 73 DAS no C1, bem como o intervalo em dias entre a floração e corte (DFC), expressam a influência no desenvolvimento da planta (Figura 19C, 19D). O efeito residual das doses do BLE na TCRAP e TCRDC aos 65 DFC no C2, não expressou o desenvolvimento da planta devido a incidência de doenças fúngicas, como fungo *alternaria alternata* (Figura 19G, 19H). Em C1, a TCRDC com 8% de BLE ($4,16 \text{ cm dia}^{-1}$) foi maior que de 4 ($1,77 \text{ cm dia}^{-1}$) e 6 ($1,81 \text{ cm dia}^{-1}$). Já no C2 a TCRAP na dose de 8% de BLE ($4,16 \text{ cm dia}^{-1}$) e a de 4% de BLE ($3,00 \text{ cm dia}^{-1}$) na TCRDC, apresentaram os melhores resultados em termos de desempenho dessas variáveis.

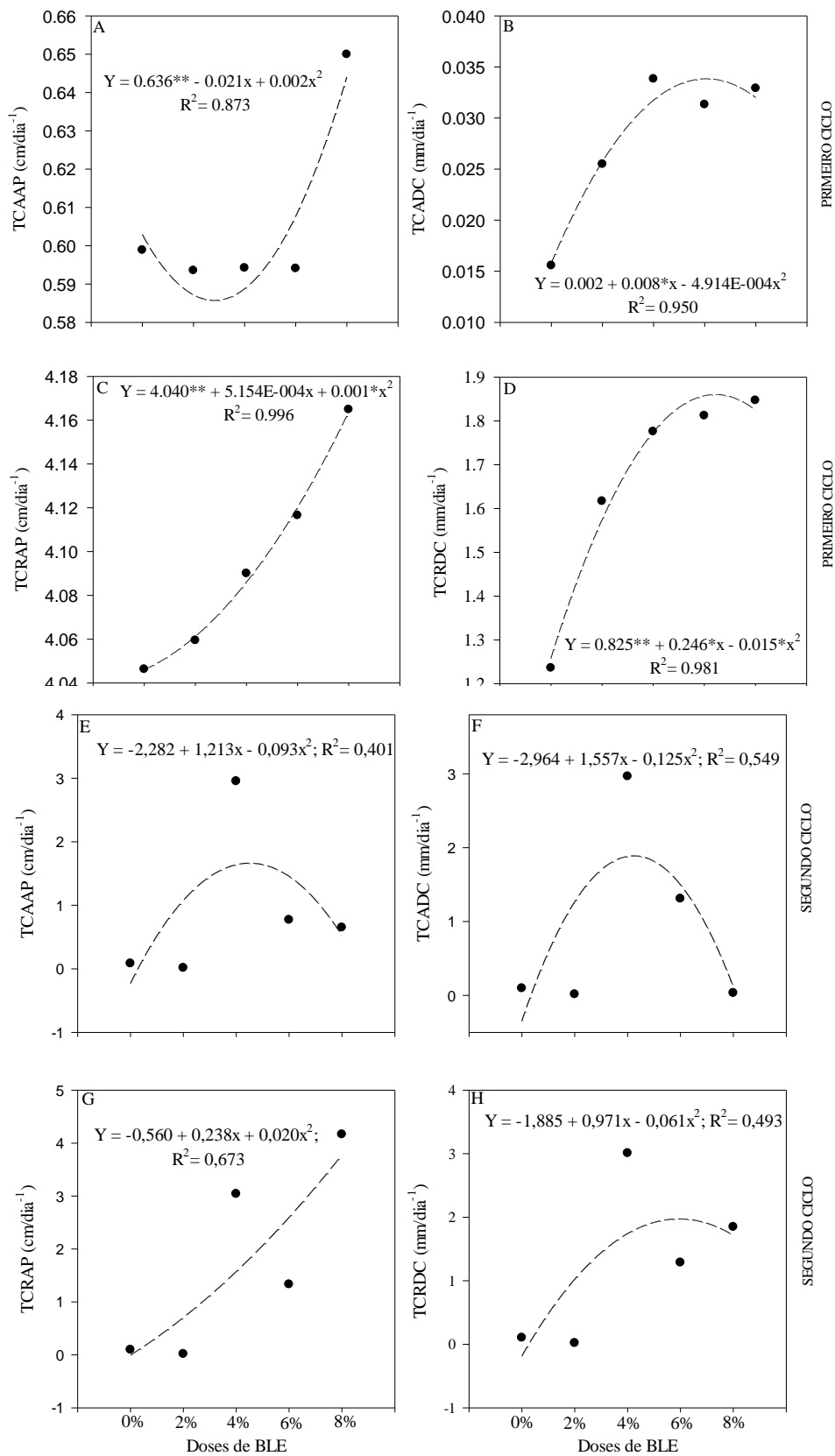


FIGURA 19. TCAAP (A), TCADC) (B), TCRAP (C) e TCRDC (D) em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% v/v, modelo de ajuste ao longo C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright. *-significativo (P< 0,05); **-significativo (P< 0,01).

A redução da TCRAP na AP e DC na dose de 0% de BLE, segundo Santos et al. (2015), se deve a omissão ou exigência do P no solo para o desenvolvimento do girassol.

Assim, como indicador de produtividade no C1, observa-se que a TCAAP e TCRAP foram maiores na dose de 8% de BLE (Figura 19C e D). Já no C2 na dose de 8% ($4,16 \text{ mm dia}^{-1}$) em TCADC e 4% ($3,00 \text{ mm dia}^{-1}$) em TCRDC (Figura 19G e H), como indicou Magalhães (1985), a TCA é medida mais apropriada para avaliação do crescimento vegetal. Os autores Reis e Muller (1979) e indicam ser representativa de variação entre amostras ao longo de um determinado período de tempo, pois depende, segundo Peixoto et al. (2011), de outros fatores do crescimento: a área foliar útil para a fotossíntese ou razão de área foliar, e da taxa fotossintética bruta. Ao contrário, para a AP no C2, a dose de 4% ($2,95 \text{ cm dia}^{-1}$) quanto a TCA e 8% ($4,16 \text{ cm dia}^{-1}$) para a TCR foram influenciados, em parte, devido a presença de fungo *alternaria alternata*.

De modo geral, no C1, o melhor desempenho, mesmo que em valor absoluto em certos casos foram nas doses de 2, 4, 6, 8% de BLE, e se deveu ao fato do fornecimento de nutrientes às plantas durante todo o seu período de crescimento, sendo que neste estudo, houve redução da disponibilidade de nutrientes no C2, uma vez que parte dos nutrientes disponibilizados pelo BLE foi removido do solo pelas plantas de girassol no C1. Qotaiba (2022) relata que a ação de microrganismos quando da adição de MO ao solo, tende contribuir para a elevação da CTC e conseqüentemente favorecendo a disponibilização de nutrientes e aumento a taxa de crescimento das plantas (Oliveira et al., 2014; Souza et al., 2017; Silva et al., 2020b).

5.3.3 Modelos de regressão e análise de variância dos parâmetros morfológicos do girassol ornamental ao final dos C1 e C2

Na Tabela 8, esta apresentada a variação porcentual entre o tratamento de maior valor em relação ao tratamento testemunha nos C1 e C2 para os parâmetros morfológicos do girassol ornamental, grandemente influenciados pelas doses de BLE que forneceu sais como o N (Medeiros et al., 2020a), P e K que contribuíram no desenvolvimento das plantas do girassol (Andrade et al., 2017), nesse estudo, mais notadamente no C1 em função da maior oferta de nutrientes fornecida pelo BLE.

TABELA 8. Variação entre o maior valor em relação ao tratamento testemunha (0% de BLE e 0 t ha⁻¹) (Var, em %) nos C1 e C2 para os parâmetros morfológicos do girassol ornamental em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹.

Atributos morfológicos	Ciclos de cultivo do girassol							
	C1		C2		C1		C2	
	BLE (%)	Var. (%)	BLE (%)	Var. (%)	PR (t ha ⁻¹)	Var. (%)	PR (t ha ⁻¹)	Var. (%)
AP	8	12,99	8	57,44	7	5,87	7	22,69
DC	8	86,28	8	93,63	1 e 7 5	0,54 0,34	1 e 7	2,63
LF	8	129,21	6 8	55,93 29,13	3 7	1,51 5,82	1 5 7	5,55 6,98 13,65
CF	8	71,94	8	38,21	3 5 7	2,44, 2,09 6,61	7	9,64
AF	8	587,55	6 8	112,44 120,35	1 3 5 7	4,04, 7,73, 9,64 12,26	7	3,36
NF	2 4 6	26,78, 31,38 28,28	4 6 8	26,78, 31,38 28,28	-	-	3 5 7	26,78, 31,38 28,28
NP	2 4 6 e 8	9,11 10,79 11,83	6 8	5,37 5,09	1 3	0,48 1,78	5 7	5,33 5,09
DEC	4 6 8	79,79 82,37 86,32	8	259,41	1 e 3 5 7	0,28, 0,75 2,63	7	28,17
DIC	4 6 8	135,92 127,76 133,06	6 8	41,06 37,68	3 5 7	1,05 1,89 6,30	5 7	41,06 37,68
FFC	6 8	564,76 584,64	8	1198,70	1 3 5 7	1,01 0,25 0,32 7,71	7	50,51
FSC	8	510,42	8	620,00	1 3 5 7	2,67, 4,81, 9,09 12,83	7	42,42
FFA	4 6 8	238,77 252,30 261,87	6 8	188,36 187,50	7	2,24	7	39,85
FSA	6 8	276,70 319,42	8	280,00	1 5 e 7	2,10, 5,24	7	27,62
MFR	8	316,00	8	333,33	-	-	7	48,86
MSR	4 8	121,74 126,09	8	135,71	1 3	8,24 1,18	7	15,00

Deve-se destacar que mesmo havendo interação entre os fatores BLE e PR, optou-se por apresentar também o modelo de ajuste de regressão e o erro padrão (EP), ampliando a discussão dos resultados dos parâmetros morfológicos, uma vez que o BLE e PR são quantitativos.

AP

A AP no C1, indica que a dose de 8% de BLE (67,30 cm) foi maior se comparada a 0% (59,82 cm) e 2% (60,40 cm). Por sua vez, o aumento foi de 12,99% da AP entre os tratamentos B0 e B8(Figura 20A). Esses resultados se devem ao fornecimento de nutrientes, especialmente N e P. Resultados semelhantes foram relatados por Lima et al. (2016,) que observaram aumento de 18,92% entre as doses de 0 e 35% + 200 mg dm⁻³ (biochar + N) e 34,57% nas doses 0 e 35% + 400 mg dm⁻³ (biochar + P) nas mudas de *Anadenanthera colubrina*. Esses resultados indicam que o BLE apresenta potencial para melhorar o crescimento de diferentes espécies de plantas devido seu alto teor de nutrientes, em especial o N e P.

Resultados similares na AP de girassol ornamental foram obtidos por Nascimento et al. (2016) para a cultivar Blue net e Red net com 63,75 e 60,97 cm, respectivamente. Oliveira et al. (2018) na cultivar Vicent's Choice observaram AP de 66,73 cm. Já no trabalho de Guimarães et al. (2021) na cultivar Sol Noturno foi observado 60,57 cm cultivares apresentam resultados próximos de AP para a cultura de girassol ornamental. De acordo com Kays (1991), plantas mais altas (hastes mais longas) aumentam a longevidade potencial das flores (maior durabilidade pós-colheita), essa afirmação foi observada em nossos estudos com maior clareza nos tratamentos que receberam maiores doses de BLE. Sendo assim, além de proporcionar maior AP, o BLE contribui para uma maior longevidade potencial das flores do girassol, que é um fator importante e muito requisitado no setor de ornamentação.

No C2, a AP com o uso de 8% de BLE (30,23 cm) foi maior que a de 0% (19,20 cm) (Figura 20C). No que se refere ao aumento entre 0 e 8% de BLE, este foi de 57,44% no C2, maior que o observado no C1, já que neste ciclo havia mais nutrientes no solo, que foram absorvidos em parte pelas plantas, mesmo assim no C2, a AP foi crescente com o aumento das doses do BLE, a exemplo do que ocorreu no C1.

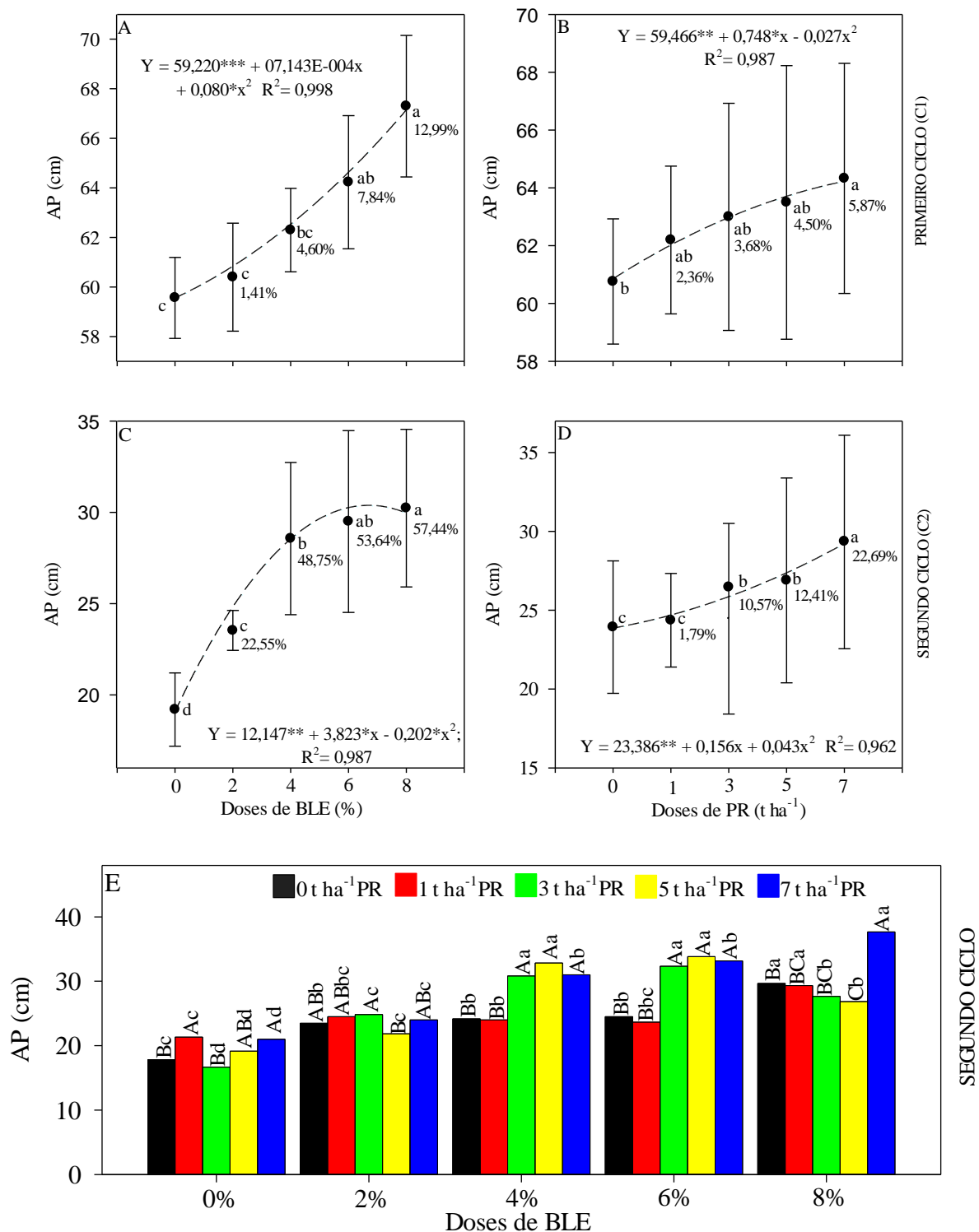


FIGURA 20. Valores de AP em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹, modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright. ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

No C1, a AP com o uso de 7 t ha⁻¹ (64,40 cm) foi maior se comparada com 0 t ha⁻¹ de PR (60, 76 cm) (Figura 20B), correspondendo um aumento de 5,87%, muito inferior ao

observado com os aumentos quando do uso de BLE, fato também observado por Redin et al. (2023.) Da mesma forma, no C2 a AP com 7 t ha⁻¹ (29,36 cm) foi maior em relação a 0 (23,93 cm) e 1 t ha⁻¹ de PR (24,36 cm) (Figura 21D), o que corresponde a um aumento de 22,69% entre 0 e 7 t ha⁻¹, que segundo Amaral et al. (2020), deve-se a possível disponibilização de P pelo PR, sendo mais evidente nas maiores doses deste.

A AP no C2, no que se refere a interação ou sinergia entre o BLE e o PR, mostra que o uso de 8% de BLE com a dose de 7 t ha⁻¹ (37,66 cm) foi maior em relação a 5 t ha⁻¹ de PR (26,83 cm) e, o mesmo ocorreu com 6% de BLE, onde 3 (32,33 cm), 5 (33,83 cm) e 7 t ha⁻¹ de PR (33,16 cm) foram maiores em relação a 0 (24,50 cm) e 1 t ha⁻¹ de PR (23,66 cm). Por sua vez, na dose 4% de BLE com 0 t ha⁻¹ (24,16 cm) e 1 t ha⁻¹ de PR (24,00 cm) foram menores se comparado a 3 (30,83 cm), 5 (32,83 cm) e 7 t ha⁻¹ de PR (31,00 cm). Também, na dose 2% de BLE com 5 t ha⁻¹ de PR (21,83 cm) foi menor que a de 3 t ha⁻¹ de PR (24,83 cm), enquanto que 7 t ha⁻¹ de PR (21,00 cm) foi maior em relação a 0 t ha⁻¹ de PR (17,83 cm) (Figura 20E). Tudo isso demonstra que de maneira geral, maiores doses de PR aumentaram a AP, o mesmo acontece com as doses de BLE, mas com variações muito maiores.

Já na interação de PR com BLE, observa-se que a AP com o uso de 7 t ha⁻¹ de PR, 0% de BLE em relação a 8% (37,66 cm) de BLE. Com 5 t ha⁻¹ de PR, as doses de 4 (32,83 cm) e 6% (33,83 cm) de BLE foram maiores que a de 0% (19,66 cm). Com o uso de 3 t ha⁻¹ de PR, observa-se que 6% de BLE (32,33 cm) foi maior em relação a 0% (16,66 cm). Ao se utilizar 1 t ha⁻¹ de PR, 0 (21,33 cm) e 2% (24,00 cm) de BLE foram menores que a de 8% (29,33 cm) de BLE. Já no uso de 0 t ha⁻¹ de PR, a dose de 0% de BLE (17,83 cm) foi menor em relação a dose de 8% (29,66 cm) de BLE na AP (Figura 20E). Demonstrando que em todas as doses de PR, a combinação com a dose de 8% de BLE foi maior.

O Erro padrão (EP) da AP no C1 (Figura 20), indica que 6 e 8% de BLE foram maiores em relação a 4%, e, quando do uso de 5 t ha⁻¹ foi maior que ao se usar 0 t ha⁻¹. Já no C2, a dose de 6% foi maior que a 2% de BLE e 7 t ha⁻¹ de PR maior em relação a 1 t ha⁻¹.

A AP com 8% de BLE no C2 foi de 57,42% maior que em relação a 0% de BLE, apresentando um crescimento progressivo de 0 até 6% e praticamente estável de 6 para 8%, demonstrando que a dose de 6% pouco difere em relação a de 8% (Figura 20C). No C1 a maior diferença foi de 12,99% de 8% em relação a 0% de BLE, ou seja, menor amplitude nos valores de AP (Figura 20A). Já com o uso de PR no C2, a maior amplitude foi de 22,69% (Figura 20D), enquanto que no C1 não passou de 5,87% (Figura 20B), portanto, o efeito das doses de PR

influenciou menos na AP se comparado ao uso de BLE. Ao mesmo tempo, os valores de R^2 obtidos em polinômio de segundo grau foi sempre acima de 0,96, considerados elevado.

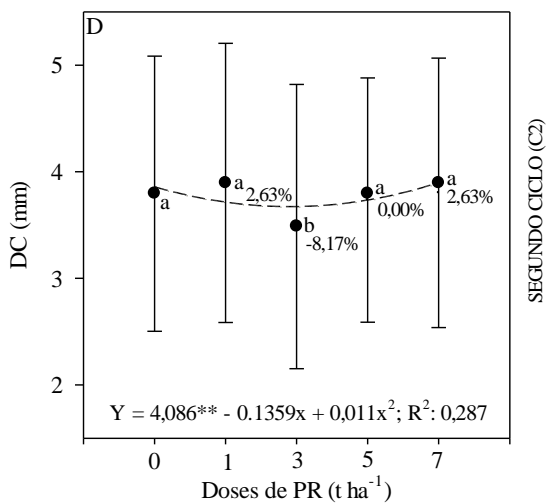
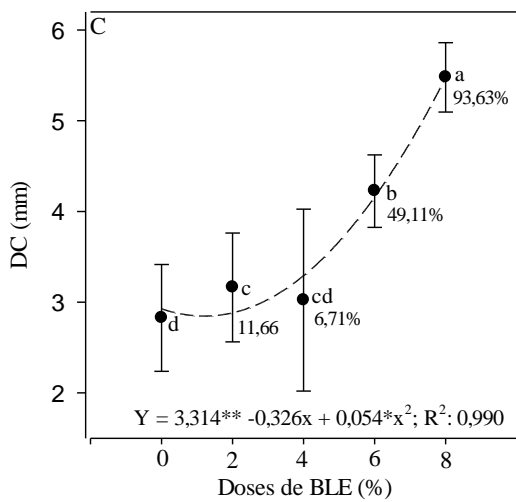
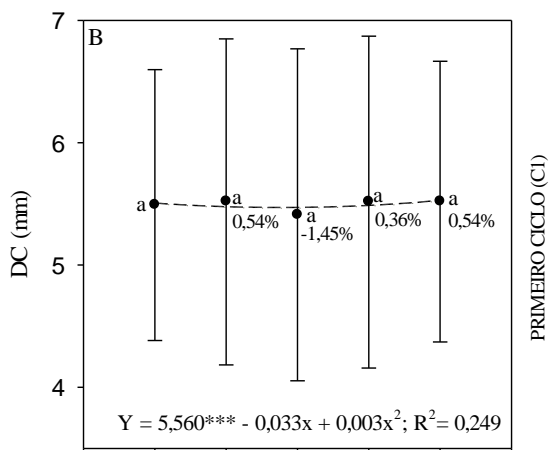
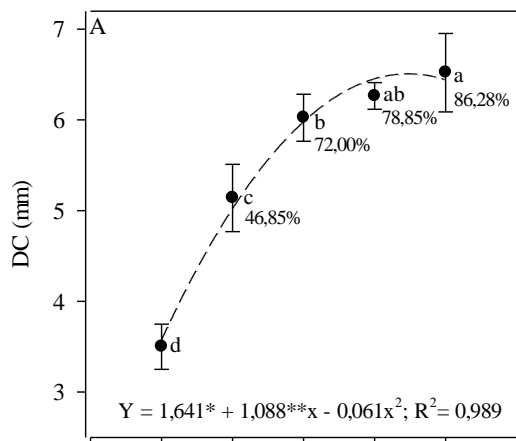
DC

Para o DC no C1, observa-se que 6 (6,26 mm) e 8% de BLE (6,52 mm) foram maiores se comparado a 0% de BLE (3,50 mm) (Figura 21A), resultando em um aumento de 86,28%. Já no C2, a dose de 8% de BLE (5,48 mm) foi maior se comparada a 0% (2,83 mm) (Figura 22B), aumento de 93,63% maior que no C1. Este resultado pode estar relacionado principalmente pela presença do P. Lima et al. (2016) observaram aumento de 17,43% do DC nas mudas de *Anadenanthera colubrina* entre as doses 0 e 35% + 400 mg dm^{-3} (biochar + P). Já Nascimento et al. (2016) observaram para o girassol Blue net e Red net 6,57 e 6,29 mm, respectivamente, próximos ao obtidos para o girassol Sunflower sunbright deste estudo, mas bem maiores aos obtidos por Oliveira et al. (2017) que observaram DC de 3,9 mm, 4,3 mm, 4,3 mm e 4,6 mm para o girassol Anão de Jardim com diferentes lâminas de irrigação de 70%, 90%, 110% e 130%, respectivamente. Plantas que apresentaram DC mais grossos, possivelmente tem maiores reservas de carboidratos, o que prolongou sua durabilidade ou vida útil (Pizetta et al., 2021) e longevidade potencial das flores (Pizetta et al., 2022). Assim, pode-se dizer que as maiores doses de BLE (6 e 8%) podem proporcionar maior vida útil ao girassol se comprada às plantas produzidas com menores doses de BLE (0 e 2%).

O DC no C2 indicou que 0 (3,78 mm), 1 (3,89 mm), 5 (3,73 mm) e 7 t ha^{-1} de PR (3,80 mm) foram maiores se comparadas com a 3 t ha^{-1} de PR (3,48 mm), porém, o aumento no DC entre 0 e 7 t ha^{-1} de PR foi de apenas 2,63% (Figura 21C).

Portanto, essa diferença na AP e DC podem ser explicadas pela concentração de K e P nas doses de 2, 4, 6 e 8% de BLE, que segundo Lima et al. (2016), a AP e DC são influenciados pela concentração do P. Santos et al. (2015) observaram maior DC (19,1 mm) em doses de 140 kg ha^{-1} de P, aumento de 123,1% (160 cm) na AP na dose de 120 kg ha^{-1} de P, em comparação aos 88,3 cm sem a aplicação de P, demonstrando ser um nutriente que afeta grandemente o desempenho das plantas, fato que é observado quando do uso de BLE neste estudo.

Outra possível explicação da AP do girassol, segundo Qotaiba. (2022) é pelo uso de biochar que evitou que as células-tronco da planta sofressem tensões bióticas e abióticas na cultura de milho; o que aumentou a atividade da fotossíntese e a velocidade de transmissão dos seus produtos para a célula-mãe, que refletiu positivamente na AP, fato que pode ter ocorrido com o girassol neste experimento.



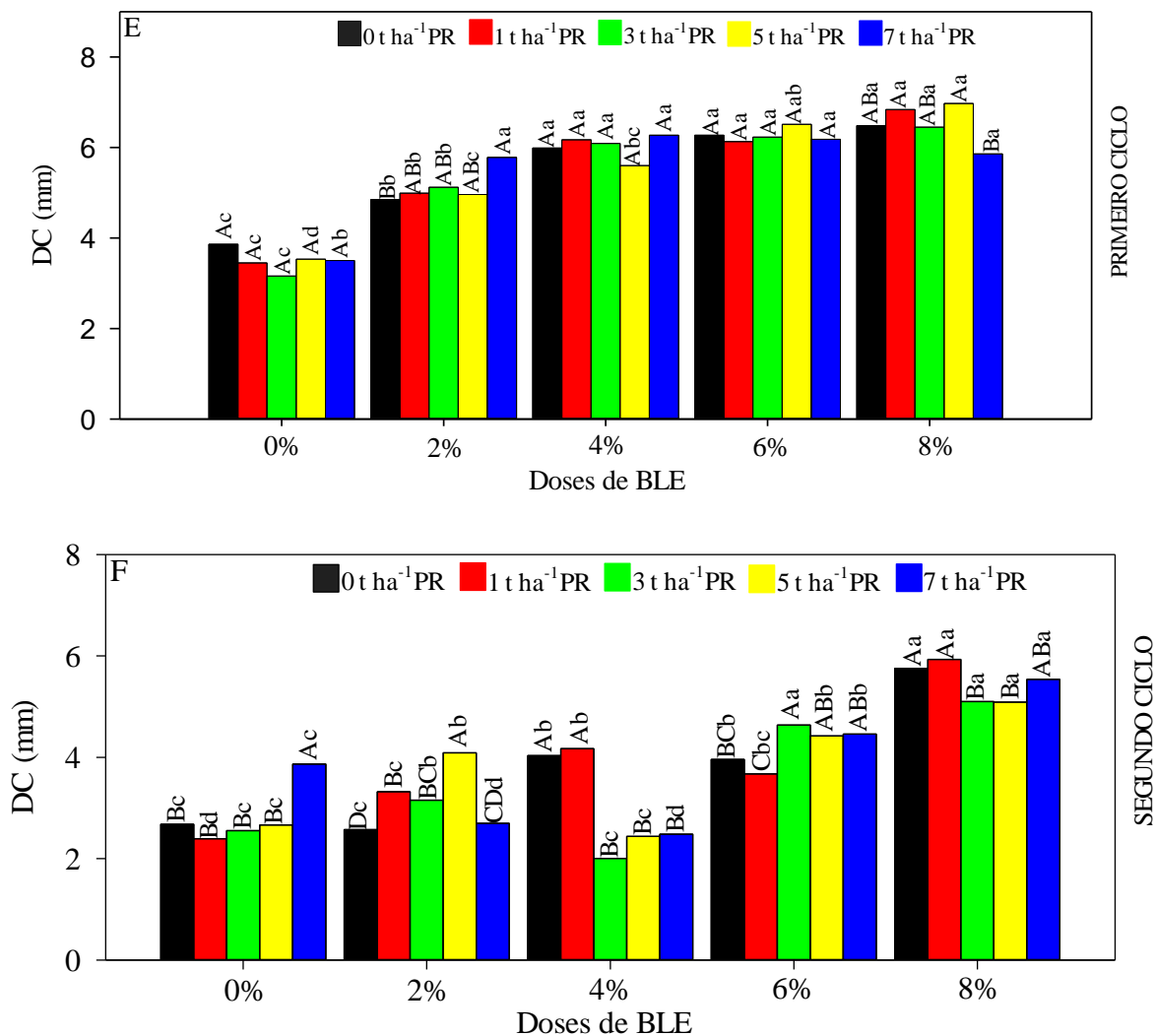


FIGURA 21. Valores do DC em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹, modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright. Letras maiúsculas iguais não diferem entre as doses de PR dentro de cada dose de BLE e letras minúsculas não diferem entre as doses de BLE dentro de cada dose de PR. ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

A interação ou sinergia de BLE com o PR apresentaram diferença significativa do DC (P<0,01), DEC (P<0,01) e FFC (P<0,03) no C1 (Figura 22, 28 e 30). De acordo com Almeida et al. (2022) a combinação de BLE com PR associados à ação dos ácidos orgânicos presentes na MO do BLE, pode potencializar os efeitos positivos e aumentar a dissolução dos minerais presentes no PR.

No C1, o DC na dose de 2% de BLE, observa-se que 7 t ha⁻¹ de PR (5,78 mm) foi maior em relação 0 (4,48 mm), 1 (6,84 mm), 3 (6,45 mm) e 5 t ha⁻¹ (6,97 mm) (Figura 22E), que se deve ao aumento da produção de etileno (Pizetta et al., 2021). No C2 a dose de 4% de BLE, os valores do DC com o uso de 3 (2,00 mm), 5 (2,43 mm) e 7 t ha⁻¹ (2,48 mm) de PR foram

menores em relação 0 (4,03 mm) e 1 t ha⁻¹ (4,17 mm) de PR; e com 2% de BLE, 5 t ha⁻¹ (4,08 mm) foi maior que a 0 t ha⁻¹ (2,57 mm) de PR (Figura 21F).

O DC no C1 com aplicação de 0 t ha⁻¹ de PR, indicou que 0 e 2% de BLE foram inferiores às doses de 4 (5,99 mm), 6 (6,27 mm) e 8% (6,48 mm) de BLE, o mesmo ocorreu com 1 t ha⁻¹ de PR, onde o DC com 4 (6,17 mm), 6 (6,13 mm) e 8% (6,84 mm) foram maiores em relação a 0 (3,45 mm) e 2% (4,99 mm) de BLE. Com 3 t ha⁻¹ de PR observou-se que 0% (3,16 mm) foi inferior em relação a 4 (6,09 mm), 6 (6,23 mm) e 8% (6,45 mm) de BLE. Na dose de 5 t ha⁻¹ de PR os maiores valores do DC foram obtidos nas doses de 6 (6,51 mm) e 8% (6,97 mm) de BLE e inferior a 0% (3,53 mm) de BLE.

No C2, o DC tanto na dose de 0 (2,67 mm) e 2% (2,57 mm) de BLE foram menores em 0 t ha⁻¹ em relação a 7 t ha⁻¹ (5,75 mm) de PR. O mesmo ocorreu a 1 t ha⁻¹ de PR para 0 (2,39 mm) e 2% (3,32 mm) de BLE em relação a 7 t ha⁻¹ (5,93 mm). Na dose de 3 t ha⁻¹ de PR, 8% (5,10 mm) de BLE foi maior em relação a 4% (2,00 mm) de BLE, e, com 5 t ha⁻¹ de PR, 8% (5,08 mm) de BLE foi maior que a 0 (2,66 mm) e 4% (2,43 mm) de BLE. Quando do uso de 7 t ha⁻¹ de PR, 8% (5,53 mm) de BLE foi maior que a 2 (2,69 mm) e 4% (2,48 mm) de BLE (Figura 21F).

Trabalhos com a utilização de BLE na composição do substrato apresentam resultados similares aos encontrados neste estudo. Por exemplo, Gomes et al. (2013), estudando o LE como substratos para a produção de mudas de *Tectona grandis*, concluíram que incorporação de 40% de LE ao substrato foi a que obteve melhor desempenho para a variável DC. Duarte et al. (2021) na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L) observaram comportamento similar a este estudo quanto ao DC, onde, foi maior em T6 (6,25 mm) em relação de T3 (6,01 mm) e T1 (6,09 mm).

O EP no DC, quando se usou PR mostrou maior dispersão, tanto no C1 como no C2, já nas doses de BLE, 8% foi maior que a 6% no C1, e 4% maior que a 6 e 8% no C2 (Figura 21A e C).

O DC na dose de 8% de BLE (93,63%) foi maior em relação a 0% de BLE no C2, já entre 2 e 4% houve pouca variação, sendo de 11,66% e 6,71% em relação a 0%, respectivamente (Figura 21C), no C1, o uso do BLE apresentou crescimento progressivo de 0 até 6%, sendo que a dose de 8% de BLE (86,28%) foi maior em relação a 0% de BLE (Figura 21A). O uso de PR não apresentou diferença progressiva no C1 e C2, apresentando maior amplitude em 1 (2,63%) e 7 t ha⁻¹ (2,63%) em relação a 0 t ha⁻¹ no C2 (Figura 21D), da mesma forma, em 1 e 7 t ha⁻¹ (0,54%) em relação a 0 t ha⁻¹ no C1 (Figura 21B), ou seja, a liberação de nutrientes do PR foi

lenta para influenciar o DC em comparação com o uso de BLE. Os valores de R^2 obtidos em polinômio de segundo grau do DC foi sempre acima de 0,989, considerados elevado no uso de BLE.

LF, CF e AF

Todas as doses de BLE no C1 diferiram entre si quanto à LF do girassol Sunflower Sunbright, variando de 6,20 cm (0% de BLE) até 10,54 cm (8% de BLE) (Figura 22A), resultando em um aumento de 129,21% entre as doses de 0 e 8% de BLE. O mesmo ocorreu no CF variando de 2,57 cm (0% de BLE) a 6,12 (8% de BLE), aumento de 71,94% entre as doses 0 e 8% de BLE (Figura 22A). Por sua vez, no C2 a LF foi de 3,93 cm (6% de BLE) e 4,02 cm (8% de BLE), maiores se comparados com 2,52 cm (0% de BLE) e 2,58 cm (2% de BLE), aumento de 29,13% entre as doses 0 e 8% de BLE (Figura 22C). Já para o CF, foi de 7,49 cm quando do uso da dose de 8% de BLE, sendo maior em comparação com 5,60 cm (0% de BLE) e 5,65 cm (2% de BLE), aumento de 38,21% entre 0 e 8% de BLE (Figura 23C). Os resultados apresentados podem ser decorrentes da presença de N no BLE que aumentou o desempenho vegetativo, especialmente no CF (Qotaiba, 2022; Neves et al., 2005). Além disso, o fornecimento de N pelo BLE pode ter melhorado o processo da fotossíntese, eficiência fotoquímica do fotossistema fotossíntese, eficiência fotoquímica do fotossistema II e índice Soil Plant Analysis Development (SPAD) e com isso maior desenvolvimento da planta (Guimarães et al., 2021).

No C2, a LF na dose de 7 t ha⁻¹ de PR (3,58 cm) foi maior comparada com a de 3 t ha⁻¹ de PR (3,09 cm). Já no C1 o aumento foi de 5,82% entre 0 e 7 t ha⁻¹ de PR (Figura 22D). O mesmo ocorreu no CF na dose de 7 t ha⁻¹ de PR (7,05 cm) em relação a 3 t ha⁻¹ de PR (6,43 cm) e aumento de 9,64% entre 0 e 7 t ha⁻¹ de PR (Figura 23D) para o C1.

A interação do BLE e PR correu no C2 para as variáveis LF e CF, observando que o LF na dose de 2% de BLE, 3 t ha⁻¹ de PR (2,26 cm) foi menor que a 0 (2,65 cm), 1 e 5 (2,63 cm) e 7 t ha⁻¹ (2,78 cm) de PR. Por sua vez, na dose 4% de BLE, 0 (2,99 cm) e 1 t ha⁻¹ (2,92 cm) de PR foram menores comparado as de 5 (3,70 cm) e 7 t ha⁻¹ (3,87 cm) de PR. Com 6% de BLE, 1 t ha⁻¹ (4,34 cm) de PR foi maior a 3 t ha⁻¹ (3,67 cm) de PR, o mesmo ocorreu com 8% de BLE, onde 7 t ha⁻¹ (4,37 cm) foi maior em relação a 1 (3,80 cm) e 3 t ha⁻¹ (3,71 cm) de PR (Figura 22E).

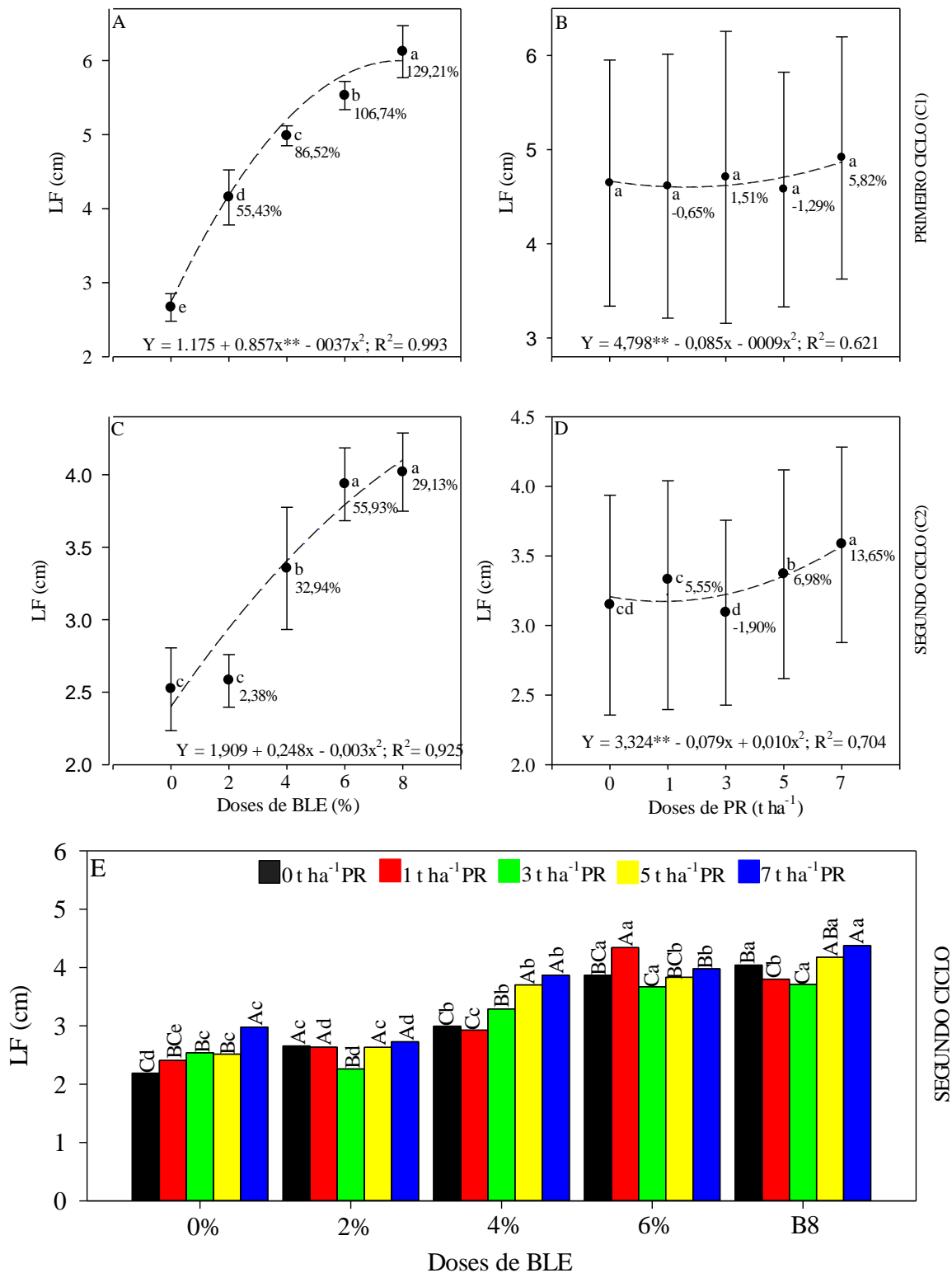


FIGURA 22. Valores de LF em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹, modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.

Letras maiúsculas iguais não diferem entre as doses de PR dentro de cada dose de BLE e letras minúsculas não diferem entre as doses de BLE dentro de cada dose de PR. ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

Ao se utilizar a dose de 1 t ha⁻¹ de PR, observou-se que a dose de 6% (4,34 cm) foi maior que a de 0% (2,40 cm) de BLE, enquanto que na dose de 3 t ha⁻¹ de PR, 2% (2,26 cm) foi menor em relação a 6 (3,67 cm) e 8% (3,71 cm) de BLE, o mesmo ocorreu nas doses de 2% (2,72 cm) de BLE em relação a 8% (4,37 cm) de BLE quando do uso de 7 t ha⁻¹ de PR. Já na dose de 5 t ha⁻¹ de PR, 8% (4,17 cm) de BLE foi maior que a de 0 (2,51 cm) e 2% (2,63 cm) de BLE. Quando não foi utilizado PR no C2 (Figura 22E), as doses de 6 (3,86 cm) e 8% (4,04 cm) foram maiores em relação a 0% (2,19 cm) de BLE (Figura 22E).

O CF na dose de 2% de BLE, observou-se que 3 (5,70 cm), 5 (5,77 cm) e 7 t ha⁻¹ (5,81 cm) foram maiores em relação a 1 t ha⁻¹ (5,32 cm) de PR. Já com o uso de 8% de BLE, a dose de 0 (7,82 cm), 3 (7,98 cm) e 7 t ha⁻¹ (7,83 cm) foram maiores que a 1 t ha⁻¹ (7,42 cm) de PR. Também, com 4% de BLE, a dose de 1 t ha⁻¹ (7,44 cm) foi menor em relação a 3 e 5 t ha⁻¹ (6,86 cm) de PR. Já com 6% de BLE (Figura 23E), 0 (6,59 cm) e 1 t ha⁻¹ (6,78 cm) de PR foram menores em relação a 5 (8,05 cm) e 7 t ha⁻¹ (7,87 cm) de PR (Figura 23E).

Sem o uso de PR, 0% de BLE (4,89 cm) foi menor se comparado a 8% (7,82 cm) o mesmo ocorre com 3 t ha⁻¹ de PR (0% (5,24 cm) menor que com 8% (7,98 cm) de BLE). Ao se utilizar 1 t ha⁻¹ de PR, 4 (7,44 cm), 8% (7,42 cm) foram maiores em relação a 0 (5,67 cm) e 2% (5,32 cm) de BLE. Já com 5 t ha⁻¹ de PR, 6 (8,05 cm) e 8% (7,67 cm) foram maiores que a 0 (5,60 cm) e 2% (5,77 cm) de BLE. Por sua vez, com o uso de 7 t ha⁻¹ de PR, observa-se que 6 (7,87 cm) e 8% (7,83 cm) de BLE foram maiores que a 2% (5,81 cm) do C2 (Figura 23E).

O LF na dose de 1 t ha⁻¹, 8% foram maiores que a 4% de BLE no C1 e 2% menor que 4% no C2. Com o uso de PR houve maior dispersão dos dados entre doses no C1 e C2, sendo que 3 t ha⁻¹ foi menor em relação a 0, 1, 5 e 7 t ha⁻¹ (Figura 22). Por sua vez, o CF em 2% foi maior em relação a 8% no C1, e, 2 e 8% menores que a 6% no C2 (Figura 22A, 22B, 22C e 22D).

Tanto no C1 como no C2, o LF foi crescente com o aumento das doses de BLE com variação de 129,21% no C1 e de 29,13% no C2 entre 0 e 8% de BLE (Figura 22A e 22C). A menor diferença entre os tratamentos no C2 pode estar relacionada possivelmente, pela adsorção dos sais no C1 reduzindo a disponibilidade dos mesmos no C2, indicando que no C2 em decorrência da redução de alguns nutrientes na solução do solo, as plantas apresentaram desenvolvimento mais próximos entre as diferentes dosagens de BLE.

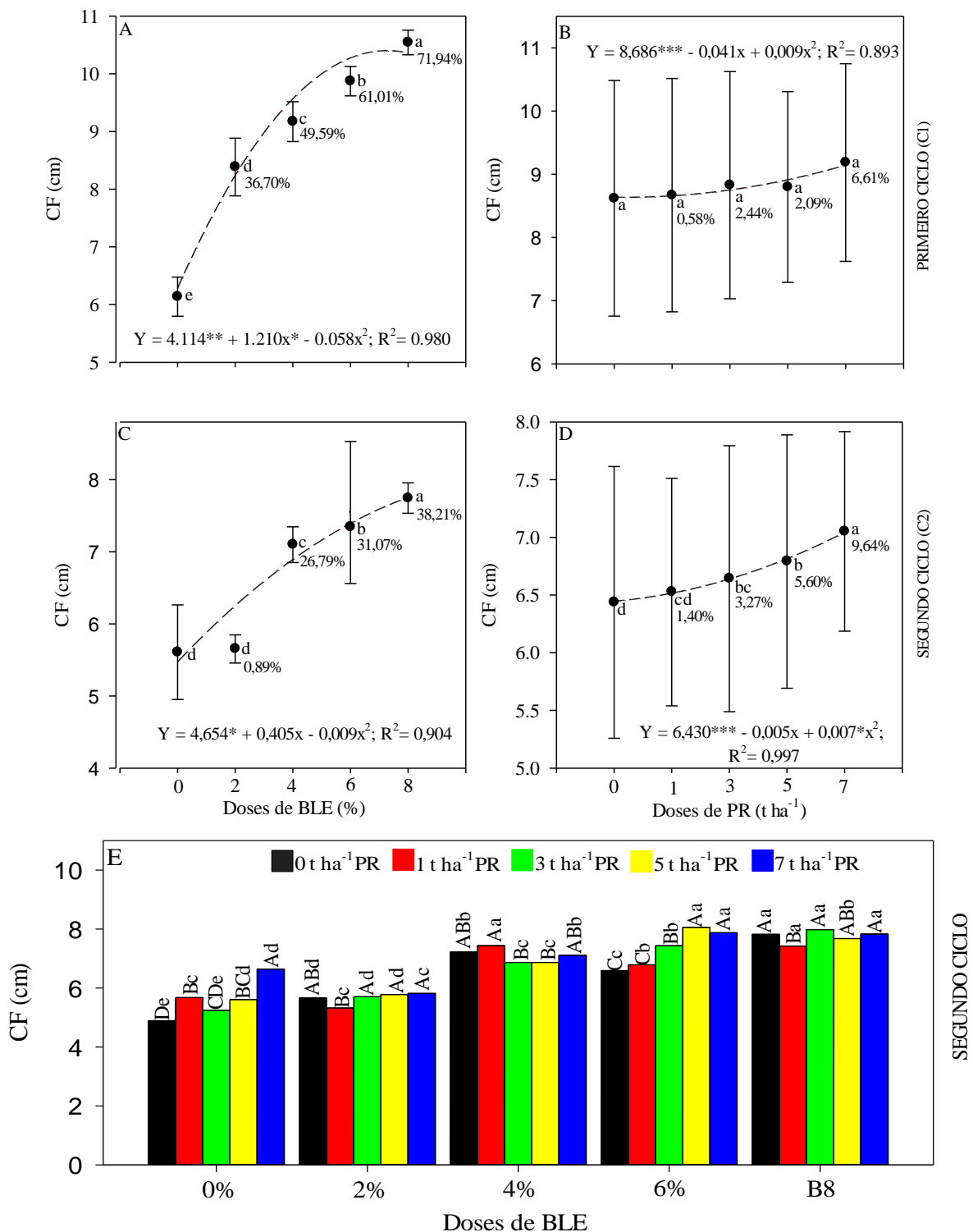


FIGURA 23. Valores de CF em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹, modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright. Letras maiúsculas iguais não diferem entre as doses de PR dentro de cada dose de BLE e letras minúsculas não diferem entre as doses de BLE dentro de cada dose de PR. ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

Por sua vez, com o uso de PR, observam-se menor variação entre as doses, chegando a 13,66% no C2 (Figura 22D) e 5,82% no C1 (Figura 22B) entre 0 e 7 t ha⁻¹. Sendo assim pode-se afirmar que no C2 houve maior disponibilização de nutrientes pelo PR em função do tempo

de contato com o solo, embora com efeito reduzido, ocorrendo, com isso, melhor mineralização do PR. Por outro lado, a não aplicação de BLE no C2 resultou em valores menores de LF de C1 (6 cm) para C2 (4 cm), demonstrando a possível necessidade de reposição de BLE no C2. No entanto, foram maiores se comparado ao uso de PR nos dois ciclos, especialmente nas doses de 4, 5 e 8% de BLE. Ao mesmo tempo, observa-se que o maior R^2 com o uso de BLE foi de 0,99 no C1 (Figura 22A), mas com o uso de PR não passou de 0,70 no C2 (Figura 22D), o que reflete disponibilização dos sais menos homogêneo entre as diferentes doses.

Os valores no CF foram crescentes no C1 e C2 com o aumento das doses de BLE e PR, com variação de 71,94% no C1 e 38,21% no C2 entre o 0 e 8% de BLE (Figura 23A e 23C), de 6,61% C1 e 9,64% no C2 entre 1 a 7 t ha⁻¹ de PR (Figura 23B e 23D). Pode-se afirmar que a diferença dos valores do CF entre o uso de BLE e PR foi pela presença do N presente no BLE, com altos valores de R^2 chegando a 0,99 no C1 e 0,90 no C2 em função das doses de BLE (Figura 23A e 23C) e de 0,89 no C1 e 0,99 no C2 em função as doses PR (Figura 23B e 23D).

A AF média no C1 quando do uso de 8% de BLE foi de 62,98 cm², maior se comparada com 9,16 cm² obtido em 0% de BLE, aumento de 587,55% entre 0 e 8% de BLE (Figura 24A). Já no C2, 6 (18,27 cm²) e 8% de BLE (18,95 cm²) foram maiores quando comparadas a 0 (8,60 cm²) e 2% de BLE (8,91 cm²), aumento de 120,35% entre 0 e 8% de BLE (Figura 25C). Essa diferença entre 0 e 8% de BLE do C2 comparada a do C1, segundo Furtado et al. (2017) pode estar relacionado à baixa demanda nutricional do girassol e onde a maior disponibilidade de nutrientes proporciona maior crescimento vegetal e, conseqüentemente, maior expansão do limbo foliar, onde o houve efeito residual no C2. Santos et al. (2015), em girassol híbrido “Helio 358”, observaram 4,64 cm² na maior dose de P (150 kg ha⁻¹), sendo justificada pela menor reposição ao solo de N, K, P, CTC e B no tratamento.

A AF média no C2 foi de 15,84 cm² ao se utilizar 7 t ha⁻¹, maior se comparado a 12,35 cm² obtido em 3 t ha⁻¹, aumento de 23,36% entre 0 e 7 t ha⁻¹ de PR (Figura 24D). A AF é um índice importante em estudos de nutrição e crescimento vegetal, visto que determinam o acúmulo de matéria seca, o metabolismo vegetal, a capacidade fotossintética potencial, o rendimento e a qualidade da colheita (Jorge e Gonzalez, 1997).

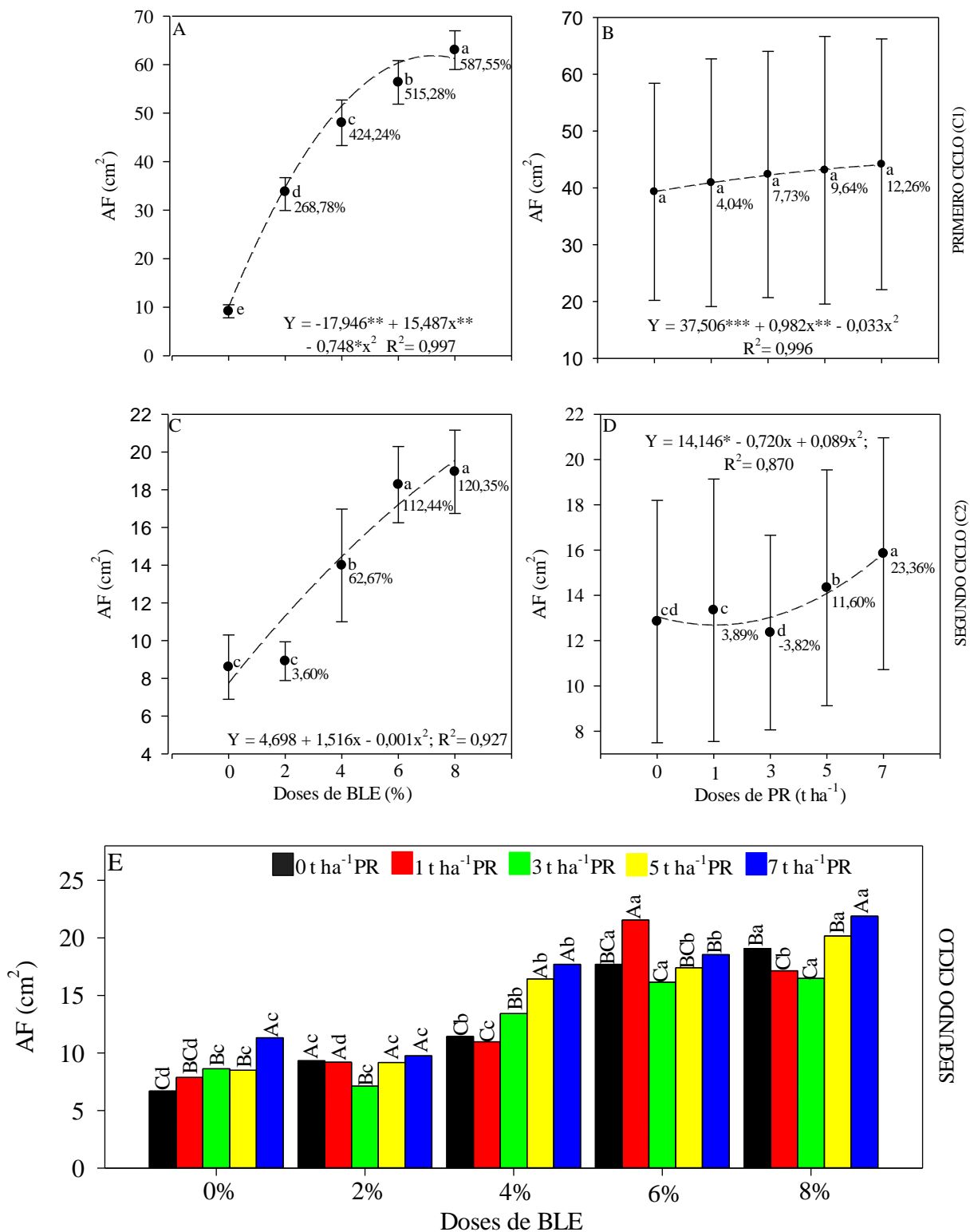


FIGURA 24. Valores de AF em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹, modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.

Letras maiúsculas iguais não diferem entre as doses de PR dentro de cada dose de BLE e letras minúsculas não diferem entre as doses de BLE dentro de cada dose de PR. ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

Quando do uso de 8% de BLE, a AF média foi maior na dose de 7 t ha⁻¹ de PR, com valor de 21,89 cm², se comparado aos 16,48 cm² na dose de 3 t ha⁻¹ de PR, segundo Furtado et al. (2017) a concentração e combinação de N e P promove maior AF do girassol. Ao se usar 6% de BLE, a AF foi 18,55 cm² quando do uso de 7 t ha⁻¹ de PR, maior que 16,15 cm² na dose de 3 t ha⁻¹ de PR. Já com 4% de BLE, foi obtido 17,70 cm², com o uso de 7 t ha⁻¹, sendo maior que os 10,97 cm² obtidos com o uso de 1 t ha⁻¹ de PR (Figura 24E).

A AF, no C2, quanto a interação de PR com o BLE, observou-se que 0 e 2% de BLE em todas as doses de PR foram menores. Na dose de 7 t ha⁻¹ de PR, a AF em 8% de BLE (21,89 cm²) foi maior em relação a 0% de BLE (11,32 cm²) e 2% de BLE (9,75 cm²). Já na dose 1 t ha⁻¹ de PR, 21,54 cm² foram obtidos com 6% de BLE sendo maior aos 7,86 cm² (0% de BLE) e 9,20 cm² (2% de BLE) e com 5 t ha⁻¹ de PR, observou-se que o uso de 8% de BLE (20,16 cm²) foi maior em comparação aos 8,50 cm² (0% de BLE) e 9,17 cm² (2% de BLE) (Figura 24E).

Na dose de 3 t ha⁻¹ de PR, o valor de 8,62 cm² (0% de BLE) e 7,12 cm² (2% de BLE) foram menores em relação aos 16,15 cm² (6% de BLE) e 16,48 cm² (8% de BLE). Por sua vez, em 0 t ha⁻¹ de PR, 6,69 cm² (0% de BLE) e 9,32 cm² (2% de BLE) foram menores comparados aos 17,70 cm² (6% de BLE) e 19,07 cm² (8% de BLE) (Figura 24E).

O EP na AF das doses de PR no C1 e C2 mostraram maior dispersão dos dados em comparação das doses de BLE, onde, em 3 t ha⁻¹ observou-se menor dispersão em relação a 0, 1, 5 e 7 t ha⁻¹ no C2, e 1 t ha⁻¹ em relação a 0, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ no C1. Já para o uso de BLE, no C1 observou-se menor dispersão em relação ao C2, sendo que no C1, 0% de BLE foi menor que 2, 4, 6, e 8% de BLE, ao contrário, no C2, com 4% de BLE foi maior que a 0, 2, 6 e 8% de BLE (Figura 24a 24D). Ao mesmo tempo, observou-se maiores R² sendo de 0,99 quando se usou BLE e de PR no C1 e valores menores no C2.

NF

No C1, o maior NF médio foi obtido com o uso de 2 (11), 4 (11) e 6% de BLE (11), aumento de 31,38% entre 0 e 4% de BLE (Figura 25A). Por outro lado, no C2, as doses de 4, 6, 8% de BLE (11) foram iguais se comparadas às de 0 (8) 2% de BLE (10), aumento de 32,38% entre 0 e 6% de BLE (Figura 25C). O mesmo comportamento foi observado nas doses de PR (Figura 26B). Valores similares foram observados por Nascimento et al. (2016) nos girassóis ornamentais, sendo o NF de 13 (Blue net) e 12 (Red net), enquanto que Medeiros et al. (2020b) observaram NF de 27 (EMBRAPA 122 V2000) na maior dose de N (8 t ha⁻¹), mostrando a

variabilidade no NF em função das cultivares, bem como dos fatores de variação utilizados nas pesquisas.

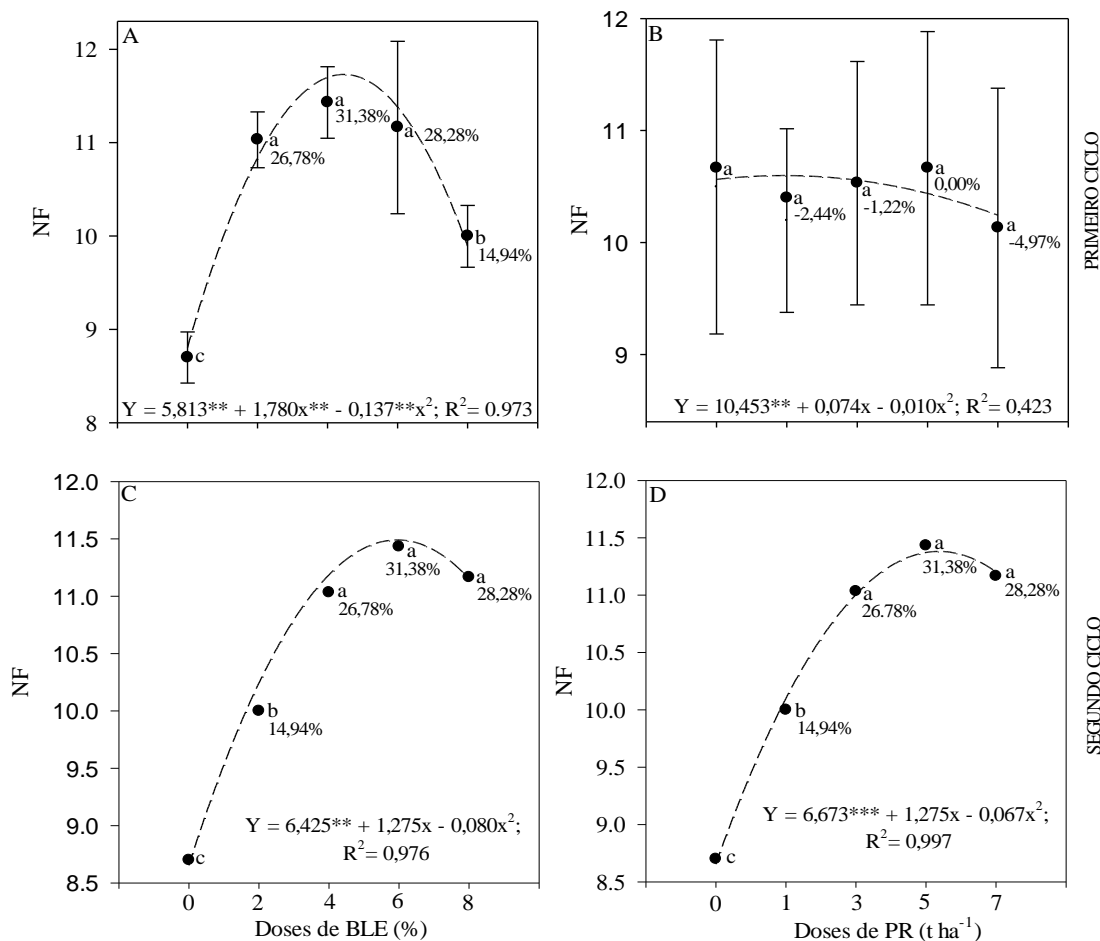


FIGURA 25. Valores do NF em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹, modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright. ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

Nossos resultados comprovam que o uso de BLE aumenta o NF, como sugere Albuquerque et al. (2014), onde o NF está associado ao crescimento da planta. No entanto uma maior NF pode não estar associada a um aumento na biomassa total devido à baixa faixa de porcentagem de folhas, como aconteceu neste trabalho nas doses de 4, 6 e 8% de BLE entre NF e FFA.

No C2, o NF usando 3 (11), 5 (11) e 7 t ha⁻¹ (11) de PR foram maiores em comparação a 0 t ha⁻¹ (8), aumento de 31,38% entre 0 e 5 t ha⁻¹ de PR, possivelmente pela menor disponibilidade de nutrientes, reduzindo o crescimento e desenvolvimento da cultura do girassol (Oliveira et al., 2019).

O aumento do NF foi crescente em função das doses de BLE, estabilizando de 6% para 8% de BLE, o mesmo ocorreu entre 5 e 7 t ha⁻¹ de PR, portanto, com 6% de BLE e 5 t ha⁻¹

foram suficientes para atender a demanda do girassol. De acordo com Qotaiba (2022), especialmente na presença do N, como fornecido pelo BLE, estimulou o crescimento dos gomos e, em seguida, o desenvolvimento e a divisão das células foliares e a sua expansão, o azoto aumenta o crescimento vegetativo, especialmente nos estágios de crescimento.

O EP foi maior nas doses de PR comparada com as doses de BLE no C1, apresentando menor dispersão com 1 t ha⁻¹ em relação a 0, 3, 5 e 7 t ha⁻¹, como resultado. Já com 6% houve maior dispersão de dados em comparação a 0, 2, 4 e 8% de BLE, apresentando maior atividade de fotossíntese e de evapotranspiração devido à maior AF.

No C1, o aumento das doses de BLE influenciaram no NF, onde na 0% em relação a 8% foi 14,94% maior e C2 foi de 28,28%. A maior variação de NF foi de 31,38% com o uso de 4% em relação a 0% de BLE no C1, mostrando estabilidade e pouca diferença com as doses de 2 e 6% de BLE. Já no C2, a maior variação foi de 31,38%, tanto com 6% de BLE como com 5 t ha⁻¹ de PR. Houve elevados valores de R², sendo de 0,97 no C1 quando do uso de BLE e 0,99 em doses de PR no C2.

5.3.4 Análise morfológica das flores do girassol no C1 e C2

NP

O NP no C1, com 2 (20,84), 4 (2), 6 (21) e 8% de BLE (21) foram iguais, mas diferiram de 0% BLE (19), aumento de 11,83% entre 0 e 8% de BLE (Figurar 26A). Já para no C2, as doses de 6 (22,56) e 8% de BLE (22,50) foram maiores comparado com a de 4% (21), aumento de 5,37% entre 0 e 6% de BLE (Figurar 26C). O mesmo comportamento ocorreu na dose de PR de 5 (23) e 7 t ha⁻¹ (23), que foram maiores comparadas com a dose de 3 t ha⁻¹ de PR (21), resultando em um aumento de 5,37% entre 0 e 5 t ha⁻¹ de PR (Figurar 26C). Resultados superiores de NP foram relatados por Oliveira et al. (2018) para o girassol ornamental Vicent's Choice sob diferentes lâminas de irrigação.

Com o aumento das doses de BLE e PR não houve aumento do NP, como ocorreu com Campos et al. (2016), onde observaram contribuição positiva em função da dose estimada de 72,76 kg ha⁻¹ P₂O₅ ao obter 31 NP, comparadas às doses de 100 e 120 kg ha⁻¹ P₂O₅.

O EP no NP mostra dispersão similares entre as diferentes doses de PR, o mesmo ocorre nas doses de BLE do C1 (Figura 26).

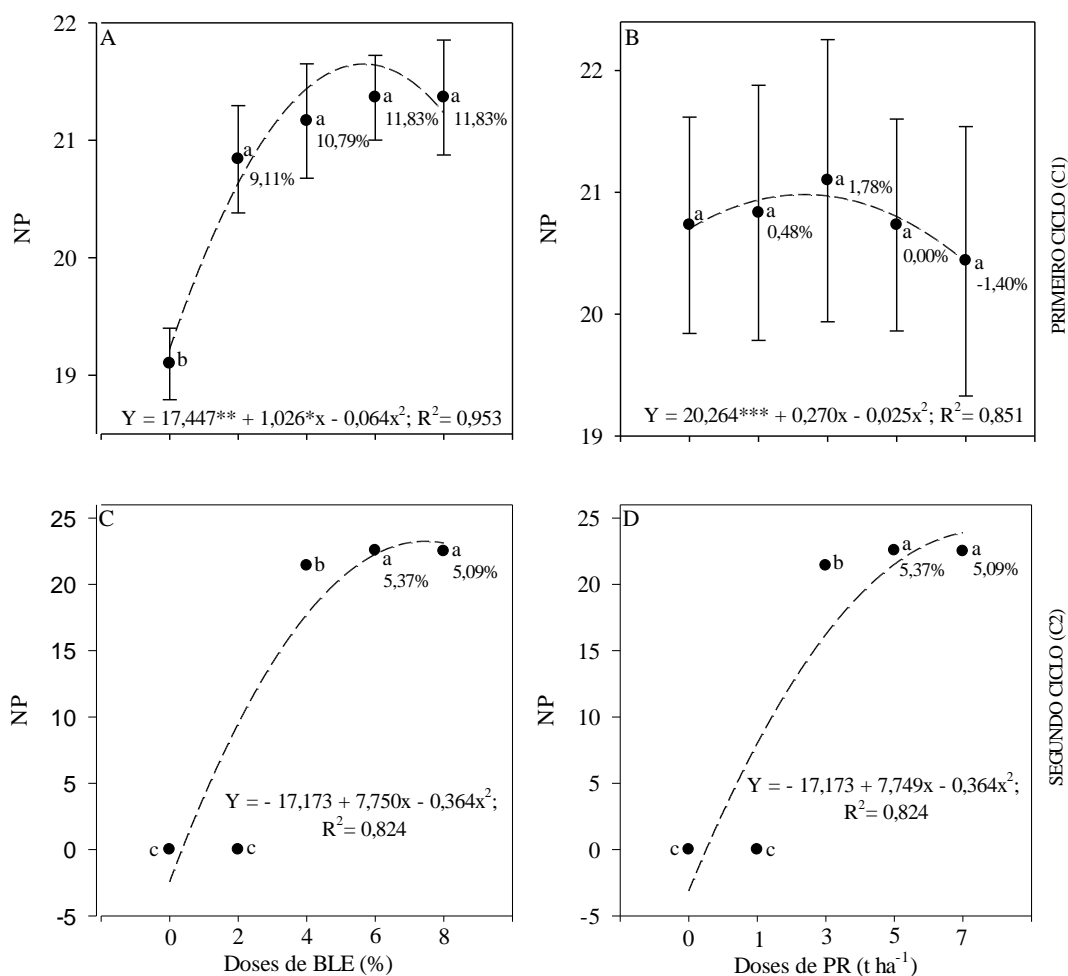


FIGURA 26. Valores do NP em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹, modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright. ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

O resultado de NP no C1 foi crescente quando se usou BLE, apresentando pouca diferença e estabilidade entre as doses de 2 e 8% de BLE. Sendo assim, nas doses de 6 e 8% de BLE, mostram a maior variação que foi e 11,83%. Já no C2, as doses de 4, 6 e 8% de BLE e 3, 5 e 7 t ha⁻¹ de PR foram mais estáveis, mostrando pequena variação, sendo de 5,37% de 6% de BLE em relação 0%, e de 5,37% de 5 t ha⁻¹ em relação a 0 t ha⁻¹ de PR. Esses resultados de NP em todas de BLE e PR, não indica deficiência de nutrientes para as funções celulares das pétalas, incluindo o transporte de nutrientes e a manutenção da integridade celular, e de água para manter a turgidez e a estrutura das células das pétalas. Por sua vez, observamos maior R² em dose de BLE (0,95) no C1, enquanto no C2 foram de 0,82 tanto na dose de BLE e PR.

DEC

O DEC no C1 nas doses de 4 (11,88 cm), 6 (12,00 cm) e 8% de BLE (12,26 cm) não diferiram das de 0% (6,58 cm) e 2% de BLE (10,80 cm), mas estes dois últimos diferem entre si, e houve um aumento de 86,32% entre 0 e 8% de BLE (Figura 27A). No C2, 8% de BLE (7,26 cm) foi maior em comparação com 0% de BLE (2,02 cm), aumento de 259,41% entre 0 e 8% de BLE (Figura 27C). O mesmo ocorreu na dose de PR de 7 t ha⁻¹ (5,87 cm) que foi maior comparada a 0 t ha⁻¹ de PR (4,58 cm), aumento de 28,17% entre 0 e 7 t ha⁻¹ de PR (Figura 27C), que se deve a presença de nutrientes para atender a demanda nutricional do girassol com N, P e K, onde o DEC, indica melhor valor comercial (Campos et al., 2016).

Valores similar de DEC foram observados por Oliveira et al. (2018) no cultivar do girassol ornamental Vicent's Choice, com valores de 12,70, 13,74, 14,32 e 14 cm nas lâminas de irrigação de 33 67, 100 e 133%, respectivamente. Resultados semelhante ocorreu no cultivar de girassol Anão de Jardim com tratamento de águas residuais (TDS) e percentuais de irrigação (PSW) em DEC de 15,30 cm (0% TDS +100% PSW), 14,32 cm (25% TDS + 75% PSW), 14,25 cm (50% TDS + 50% PSW), 14,07 cm (75% TDS + 25% PSW) e 15,92 cm (100% TDS + 0% PSW) (Gonçalves et al., 2020).

Os DEC no C1 foram iguais entre 4 (11,66 cm), 6 (11,50 cm) e 8% (12,25 cm) de BLE, mas maiores se comparados com 0% de BLE (7,256 mm) quando do uso de 0 t ha⁻¹ de PR, o mesmo ocorreu em 1 t ha⁻¹, com valores a 0 (4,33 cm), 4 (12,33 cm), 6 (11,50 cm) e 8% de BLE (12,66 cm). Com 5 t ha⁻¹ de PR, as doses de 4 (11,58 cm), 6 (13,08 cm) e 8% (11,83 cm) foram maiores que a de 0% (6,50 cm) de BLE, por fim, com a 7 t ha⁻¹ de PR, a dose de 0% de BLE (6,25 cm) foi menor às doses de 4 (12,83 cm), 6 (12,00 cm) e 8% de BLE (12,25 cm) (Figura 27E), devido ao pH e disponibilidade de nutrientes no BLE (Gonzaga et al., 2019), com efeito positivo na massa vegetal da planta (Silva et al., 2017b).

O DEC no C2, com 2% de BLE, 0 (2,59 cm), as doses de 1 (3,33 cm), 3 (3,01 cm) e 5 t ha⁻¹ de PR (3,15 cm) foram iguais entre si, mas menor que a 7 t ha⁻¹ de PR (5,33 cm) (Figura 27D). Enquanto que na dose de 4% de BLE, 7 t ha⁻¹ (6,91 cm) foi maior em relação a 1 t ha⁻¹ (4,31 cm) de PR, o mesmo aconteceu na dose de 8% de BLE, onde 7 t ha⁻¹ (8,00 cm) foi maior que a 3 e 5 t ha⁻¹ (6,83 cm) de PR (Figura 27F).

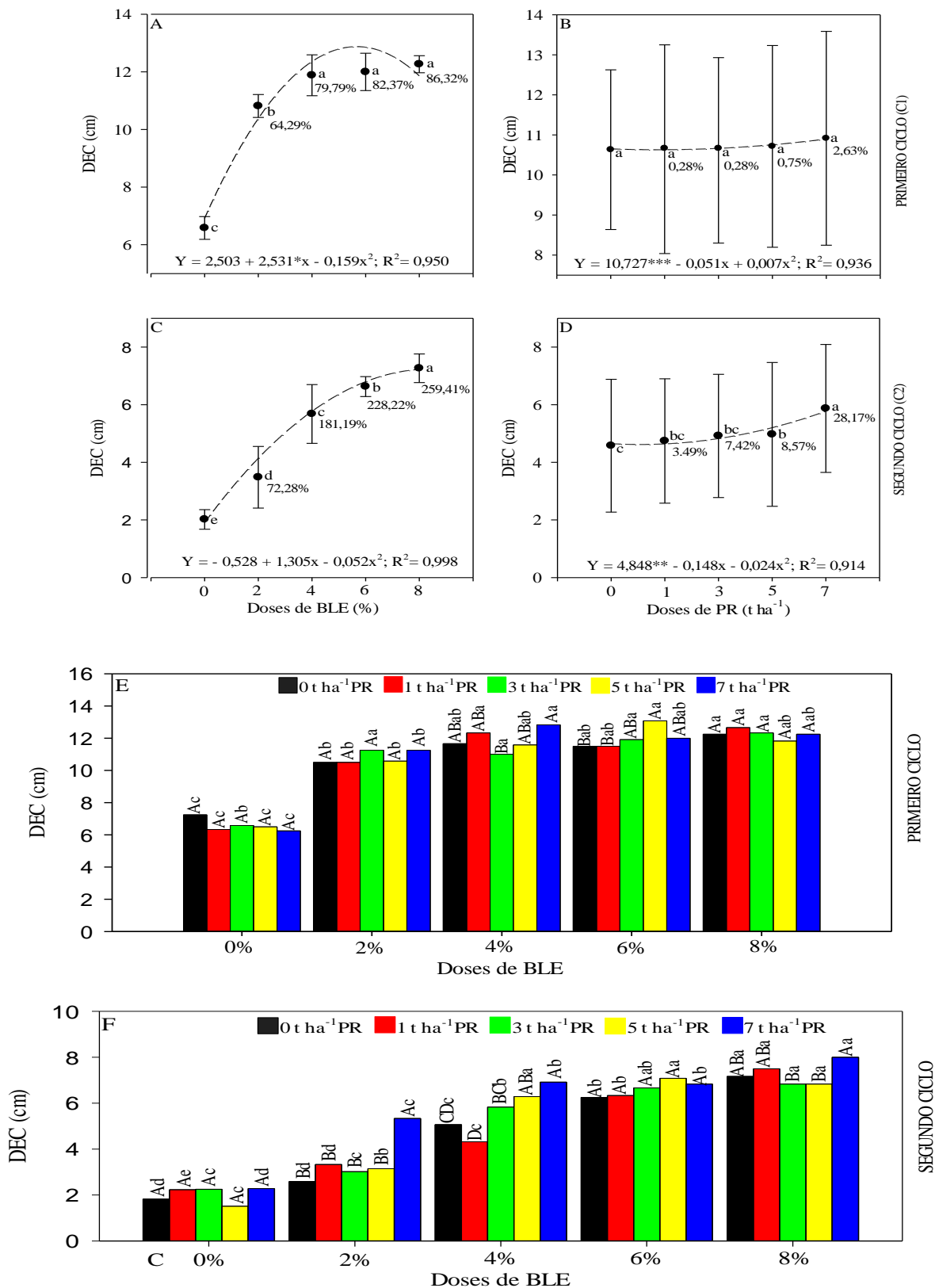


FIGURA 27. Valores do DEC em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹, modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.

Letras maiúsculas iguais não diferem entre as doses de PR dentro de cada dose de BLE e letras minúsculas não diferem entre as doses de BLE dentro de cada dose de PR. ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

Quanto a interação entre BLE e PR para o DEC (Figura 27E) no C1, observa-se que 7 t ha⁻¹ de PR (12,83 cm) foi maior que a de 3 t ha⁻¹ de PR (11,00 cm) ao se utilizar 4% de BLE. Já 5 t ha⁻¹ de PR (13,08 cm) foi maior que 0 t ha⁻¹ (11,50 cm) e a 1 t ha⁻¹ (11,50 cm) quando do uso de 6% de BLE.

O DEC ao se usar 0% (1,51 cm) foi menor que a 6 (7,08 cm) e 8% (6,83 cm) de BLE na dose de 5 t ha⁻¹ de PR, o mesmo ocorreu de 0% (2,23 cm) com 8% (7,50 cm) de BLE na dose de 1 t ha⁻¹ de PR e em 0% (2,28 cm) em comparação com 8% (8,00 cm) de BLE na dose 7 t ha⁻¹ de PR. Por sua vez, no C2, 0 (2,25 cm) e 2% (3,01 cm) de BLE foram menores em relação a 8% (6,83 cm) de BLE na dose de 3 t ha⁻¹ de PR (Figura 28F).

O EP nos valores do DEC não apresentou variação significativa entre as doses de PR no C1 e C2, porém, nas doses de BLE, houve maior dispersão de dados de 4 e 6% em relação a 0 e 8% no C1, e 2% em relação a 0 e 6% no C2 (Figura 27A, 27B, 27C e 27D).

Tanto no C1 como no C2, o DEC foi crescente nas doses de BLE e PR, sendo maior no C2 com 259,41%, em comparação aos 86,32% do C1 entre as doses de 0% e 8% de BLE, mostrando uma estabilidade nas doses no C1 e crescimento progressivo no C2 das doses de 4, 6 e 8% de BLE (Figura 27A e 27C). Já com uso de PR, a amplitude foi maior no C2 com 28,17% em comparação a 2,63% no C1 entre 0 e 7 t ha⁻¹ (Figura 27B e 27D), portanto, as doses de PR tiveram menor efeito no DEC. Pode-se afirmar que houve diminuição dos nutrientes no C2, porém houve maior disponibilização nutrientes oriundo do PR em função ao tempo de contato no solo, demonstrando a necessidade de reposição de BLE de um ciclo para outro. Ao mesmo tempo, observa-se que o maior R² com o uso de BLE foi de 0,99 no C2 (Figura 22C), e no uso de PR de 0,93 no C1 (Figura 22D).

DIC

O DIC no C1, quando do uso de 0 (6,58 cm) e 2% (5,65cm) foram inferiores a 4 (5,78 cm), 6 (5,58 cm) e 8% de BLE (5,71 cm), aumento de 135,92% entre 0 e 4% de BLE (Figura 28A). N no C2, o DIC com 0, 2 e 4% (2,07 cm) de BLE foram menores que a 6 (2,85 cm) e 8% (2,92 cm) de BLE, aumento de 41,06% entre 0 e 6% de BLE (Figura 28C) e na dose de 3 t ha⁻¹ (2,07 cm) foi menor que a 5 (2,92 cm) e 7 t ha⁻¹ (2,85 cm) de PR, aumento de 41,06% entre 0 e 5 t ha⁻¹ de PR (Figura 28B).

Respostas similares de DIC também foram observadas em girassóis ornamental (Campos et al., 2016), sendo de 7,42 cm no cultivar Embrapa 122 V2000. Gonçalves et al. (2020) observou 7,25 cm (0% TDS +100% PSW), 5,32 cm (25% TDS + 75% PSW), 4,92 cm

(50% TDS + 50% PSW), 4,87 cm (75% TDS + 25% PSW) e 6,67 cm (100% TDS + 0% PSW) no cv. Anão de Jardim. Os autores Nascimento et al. (2016) também relataram respostas similares para as espécies Full sun, Aluminet R, Blue net e Red net de 8,94, 9,39, 6,98 e 7,63 cm, respectivamente.

Destacando a importância das concentrações de macro e micronutrientes (Gonçalves et al., 2020), onde o diâmetro do capítulo é um dos componentes de produção mais sensíveis à presença de N e da alta concentração dos macronutriente (Souza et al., 2010).

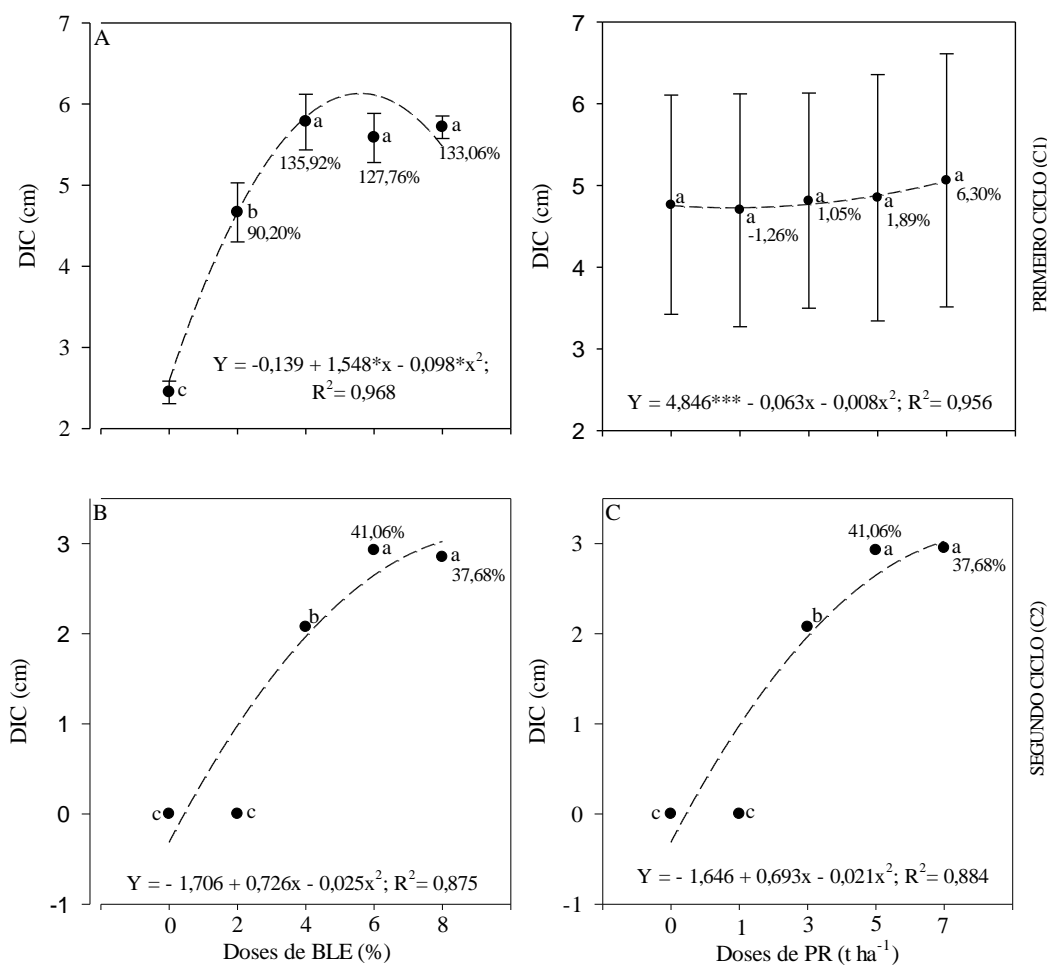


FIGURA 28. Valores do DIC em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹, modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright. ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

O EP dos valores do DIC no C1 não mostra diferença entre as doses de PR, já em relação nas doses de BLE, houve diferença na dispersão, sendo menor o EP em 0% em comparação a 2 e 4% no C1 (Figura 28).

O DIC com 4% de BLE no C1 foi de 135,92% maior que em relação a 0% de BLE, apresentando crescimento progressivo entre 0 até 4%, e estabilizando-se em 4 para 8%, com

pouca diferença entre elas (Figura 28A). No uso de PR, no C1, 7 t ha⁻¹ teve a maior amplitude, sendo de 6,30% em comparação 0 t ha⁻¹ (Figura 28B). Já no C2, o fungo *alternaria alternata*, possivelmente contribuiu na redução dos valores do DIC, mostrando maior amplitude em 6% de BLE e em 5 t ha⁻¹ em relação as testemunhas (Figura 28B e 28C). Ao mesmo tempo, observa-se que no C1, o maior R² com o uso de BLE foi de 0,96 (Figura 22A) e no PR de 0,95 (Figura 22D).

FFC e FSC

A FFC foi maior nas doses de 6 (22,07 g) e 8% de BLE (22,73 g), bem como as doses de 0 (3,32 g), 2 e 4% de BLE diferiram entre si, aumento de 584,64% entre 0 e 8% de BLE, no C1 (Figura 29A). No caso do C2, a dose de 8% (8,34 g) foi maior se comparado com 0% (0,69 g) de BLE, aumento de 1.108,7% entre 0 e 8% de BLE (Figura 30B). Já a dose de 7 t ha⁻¹ de PR (4,47 g) diferiu da dose de 0 t ha⁻¹ de PR (2,97 g) com um aumento de 50,51% (Figura 29C). O FFC nas doses de 8 e 6% de BLE, segundo Hwaidi. (2023), é um indicador de como se encontra a condição nutricional da planta durante as diferentes fases de crescimento, sendo mais efetiva, nesse estudo, nas duas maiores doses de BLE e com 7 t ha⁻¹ de PR.

Quanto a interação da FFC entre as doses de PR e BLE no C1, observa-se que a 7 t ha⁻¹ de PR (22,56 g) foi maior que a 0 (19,00 g), 1 (18,73 g) e 5% (18,50 g) quando do uso de 4% de BLE, bem como 7 t ha⁻¹ de PR (24,20 g) foi maior que a 3 t ha⁻¹ (20,63 g) na dose de 8% de BLE (Figura 29E). Esses resultados podem ser explicados pela maior presença de nutrientes nas maiores doses, que segundo (Silva et al., 2020b, Redin et al., 2023), partir de 60 t ha⁻¹ de pó de basalto melhora as condições químicas do solo, promovida pela ação dos microrganismos (Silva et al., 2017a) e dos atributos químicos e da textura do solo (Klein, 2020).

O maior valor de FFC, ocorreu nas doses de 6 (22,46 g) e de 8% (22,71 g) em relação a 0% de BLE (4,60 g) quando associado a dose de 0 t ha⁻¹ de PR, bem como com 6 (21,73 g) e 8% de BLE (23,23 g) em relação a 0% de BLE (2,85 g) na dose de 1 t ha⁻¹. Já com 3 t ha⁻¹ de PR, 0% de BLE (2,86 g) foi menor em comparação com 4 (20,89 g), 6 (21,09 g) e 8% (20,63 g), enquanto que com 5 t ha⁻¹ de PR, as doses de 6 (22,31 g) e 8% de BLE (22,90 g) foram maiores em relação a 0% de BLE (3,22 g), por sua vez, com 7 t ha⁻¹ de PR, a dose de 0% (3,08 g) foi menor que as doses de 4 (22,56 g), 6 (22,55 g) e 8% de BLE (24,20 g) no C1 (Figura 29E).

Observe-se que a FFC, no C2, na dose de 8% de BLE, o maior valor foi em 7 t ha⁻¹ (9,18 g) em relação a 0 t ha⁻¹ (7,05 g) de PR, o mesmo ocorreu de 5 t ha⁻¹ (5,68 g) e 7 t ha⁻¹ (5,52 g)

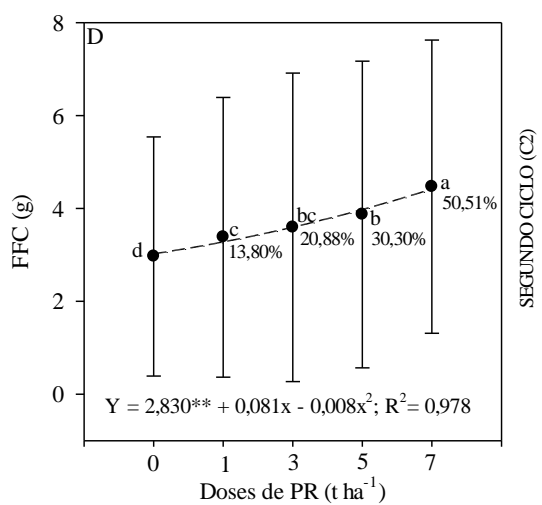
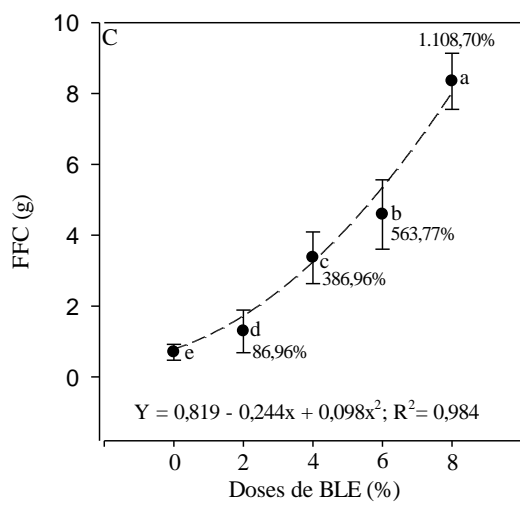
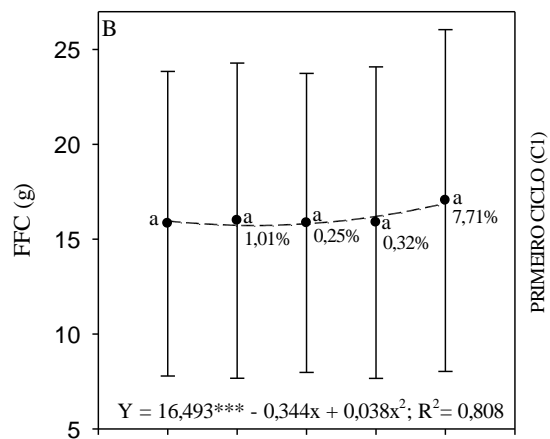
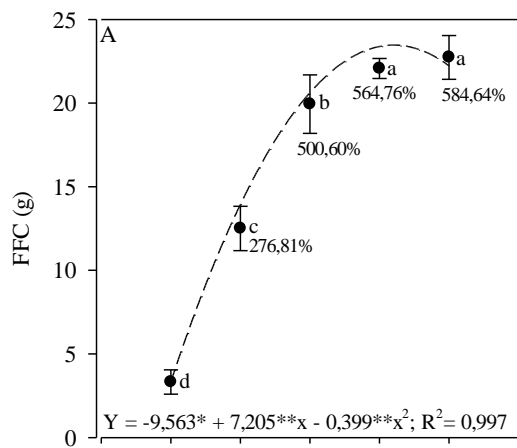
em relação a 0 t ha⁻¹ (3,57 g) de PR na dose 6% de BLE. Com 0 t ha⁻¹ (2,57 g) e 1 t ha⁻¹ (2,68 g) de PR foram menores a 7 t ha⁻¹ (4,30 g) de PR na dose 4% de BLE. O mesmo ocorreu com 0 (1,03 g), 1 (1,27 g), 3 (0,81 g) e 5 t ha⁻¹ (1,00 g) de PR em relação a 7 t ha⁻¹ (2,32 g) de PR na dose de 2% de BLE (Figura 29F).

A FFC, com 7 t ha⁻¹ de PR foi maior em 8% (9,18 g) em relação a 0% (1,02 g) de BLE, já nos tratamentos de 0, 1, 3 e 5 t ha⁻¹ de PR, ocorreram o mesmo comportamento nas doses de BLE, 0 (0,61 g) e 2% (1,03 g) de BLE, menor que 8% (7,58 g) de BLE na dose de 0 t ha⁻¹ de PR. Com 0 (0,83 g) e 2% (1,27 g) de BLE foram menores que com 8% (8,35 g) de BLE na dose 1 t ha⁻¹ de PR, bem como 0 (0,49 g) e 2% (0,81 g) de BLE foram menores que com 8% (8,70 g) de BLE na dose de 3 t ha⁻¹ de PR, e com 0 (0,53 g) e 2% (1,00 g) de BLE foram menores em relação a 8% (8,44 g) de BLE na dose de 5 t ha⁻¹ de PR (Figura 29F).

Portanto, a rochagem pode ser uma alternativa viável para fertilização, especialmente, de seu efeito residual no solo (Redin et al., 2023), quanto maior o tempo de contato entre o PR e o solo, possivelmente pode favorecer a dissolução e liberação desses nutrientes para os solos (Almeida et al., 2022).

O EP na FFC, mostra que as doses de PR tiveram maior dispersão de dados no C1 e C2 em relação às doses de BLE. Nas doses de BLE de 0 e 6% foram menores que a 4% no C1 e 6% foi maior que 0% (Figura 29E).

A FFC no C1 e C2 mostrou crescimento progressivo nos aumentos nas doses de BLE e PR, quando se uso BLE, a maior variação foi de 1.108,70% no C2 e 584,64% no C1 entre 0 e 8% (Figura 29A e 29C), possivelmente pela absorção das bases no solo, e com a necessidade de repor os nutrientes no C2. O intemperismo contínuo do PR interferiu nos valores da FFC, que poderia remineralizar o solo com uma ampla gama de micro e macro nutrientes a longo prazo, mostrando uma variabilidade de 7,71% entre 0 e 7 t ha⁻¹ no C1 (Figura 29B), por sua vez, no C2 foi de 50,51%, o que demonstra a necessidade do tempo de contato no solo, a raiz e dos micro-organismo para a disponibilizações dos nutrientes (Figura 29D). Ao mesmo tempo, os valores de R² obtidos em polinômio de segundo grau foi sempre acima de 0,98 nas doses de BLE no C1 e C2, e com o uso de PR foi de 0,97 no C2, considerados elevado.



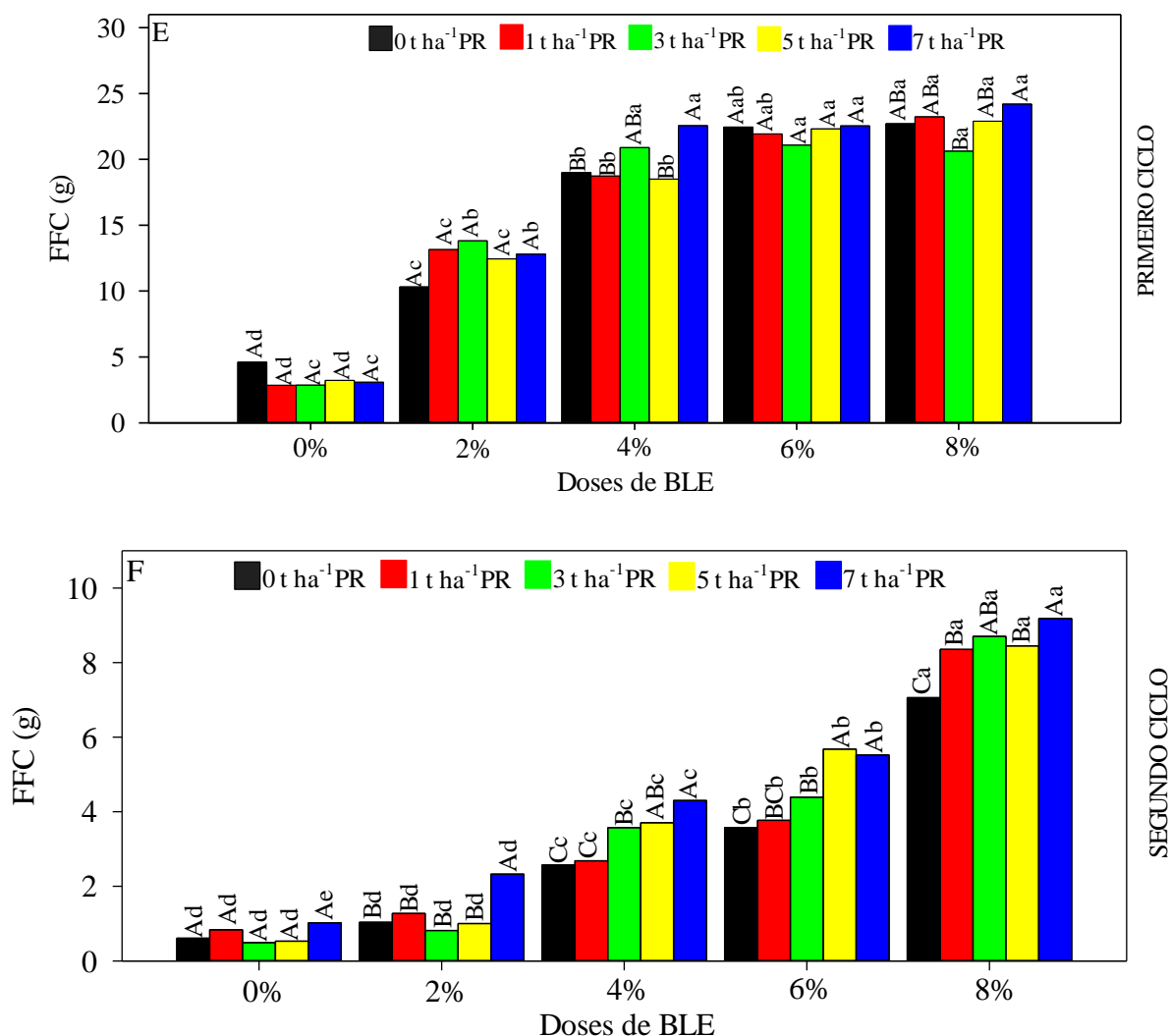


FIGURA 29. Valores do FFC em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹, modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright. Letras maiúsculas iguais não diferem entre as doses de PR dentro de cada dose de BLE e letras minúsculas não diferem entre as doses de BLE dentro de cada dose de PR. ***: P<0,001; **: P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

Já nos valores médios de FSC houve diferença entre todas as doses de BLE variando de 0,48 g (0% de BLE) a 2,93 g (8% de BLE), aumento de 510,42% entre 0 e 8% de BLE no C1 (Figura 30A). Comportamento semelhante ocorreu no C2 nas doses de BLE que variaram de 0,10 g (0% de BLE) a 0,72 g (8% de BLE), aumento de 620,00% entre 0 e 8% de BLE (Figura 30C) Já no C2, para as doses de PR de 0 (0,33 g), 1 (0,38 g), 3 t (0,35 g) e 5 t ha⁻¹ (0,36 g) foram iguais, mas maior na dose 7 t ha⁻¹ (0,47 g), aumento de 42,42% entre 0 e 7 t ha⁻¹ de PR (Figura 30D) (Figura 30B).

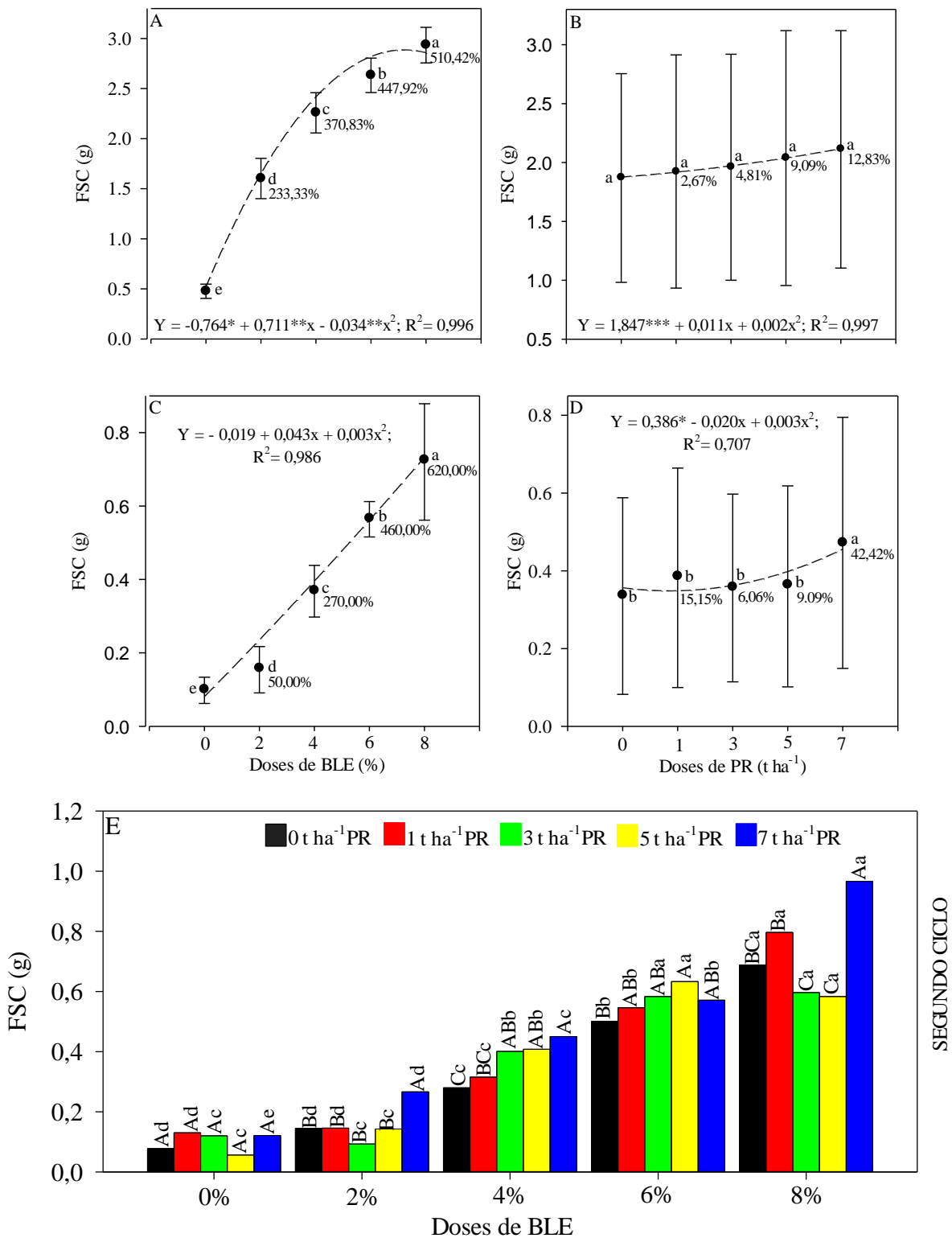


FIGURA 30. Valores do FSC em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹, modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright. Letras maiúsculas iguais não diferem entre as doses de PR dentro de cada dose de BLE e letras minúsculas não diferem entre as doses de BLE dentro de cada dose de PR. ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

Diversos estudos relatam valor diferentes de MSC para girassol com fins ornamentais. Nascimento et al. (2016) ao avaliarem a cultivar Aluninet R, Blue net e Red net observaram 2,48, 1,64 e 1,86 g de MSC, respectivamente. Barros et al. (2018) ao avaliar a cultivar *Helianthus annuus* L. e cv. Catissol 01 observaram valores de 21,11 e 29,63 g. Já Gonçalves et al. (2020) na cultivar Anão de Jardim que foi de 3,73 g. Sendo assim, é evidente que os valores de FSC se deve as características morfológicas de cada espécie, bem como ao efeito dos próprios fatores de variação utilizados nas pesquisas.

Na análise da interação/sinergia da FSC de BLE com PR, houve maior valor em 7 t ha⁻¹ (0,96 g) de PR em relação a 3 t ha⁻¹ (0,59 g) e 5 t ha⁻¹ (0,58 g) na dose 8% de BLE, enquanto que com 0 t ha⁻¹ (0,28 g) de PR foi menor em relação a 7 t ha⁻¹ (0,45 g) de PR na dose 4% de BLE. Já na dose de 2% de BLE, 0, 1, 3 e 5 t ha⁻¹ (0,14 g) foram inferiores a 7 t ha⁻¹ (0,26 g) de PR, por outro lado, na dose de 6% de BLE, 5 t ha⁻¹ (0,63 g) foi maior que a 0 t ha⁻¹ (0,54 g) de PR no C2 (Figura 30E).

Observa-se que a FSC com 0 (0,07 g) e 2% (0,14 g) de BLE foram iguais, mas menor se comparado a 8% (0,68 g) de BLE na dose de 0 t ha⁻¹ de PR, o mesmo ocorreu na dose de 1 t ha⁻¹ de PR quando do uso de 0 (0,13 g) e 2% (0,14 g) de BLE que foram menores que a 8% (0,79 g) de BLE. Enquanto que com 6 (0,58 g) e 8% (0,59 g) de BLE foram maiores em relação a 0 (0,12 g) e 2% (0,09 g) de BLE na dose de 3 t ha⁻¹ de PR, o mesmo ocorreu quando se usou 5 t ha⁻¹ de PR, na dose de 6 (0,63 g) e 8% (0,58 g) em relação a 0 (0,05 g) e 2% (0,14 g) de BLE. No C2, com o uso de 7 t ha⁻¹ de PR houve maior valor em 8% (0,96 g) em comparação a 0% (0,12 g) de BLE (Figura 30E).

O EP na FSC apresentou maior dispersão na dose de 8% em relação a 0% do C1 e nas doses de PR do C1 e C2, enquanto que no C1, 2 e 4% foi maior a 0% de BLE (Figura 30).

A FSC no C2, com 8% de BLE foi 620,00% e no C1 de 510% maiores em relação a 0% de BLE, apresentando crescimento progressivo entre 0 e 8% de BLE (Figura 30A e 30C), pode-se afirmar que a FSC conforme aumenta as doses de BLE no solo. Já com o uso de PR, a maior amplitude foi de 42,42% no C2 (Figura 30D), enquanto que no C1 foi de 2,67 até 5,87% nas doses 0 a 7 t ha⁻¹ (Figura 30B), portanto, o efeito das doses de PR influenciou menos na FSC pelo intemperismo do material se comparado ao uso de BLE. Ao mesmo tempo, os valores de R² obtidos foram acima de 0,98, nas doses de BLE no C1 e C2 e no C1 das doses de PR, considerados elevado. Isto está de acordo com Gwnzi et al. (2016) que afirma que o aumento da massa vegetal, é atribuído ao biochar do fato que contem quantidades significativas para as plantas como K, Ca e Mg.

FFA FSA

No C1, a FFA nas doses de 4 (20,97 g), 6 (21,81 g) e 8% (22,45 g) foram iguais, mas maiores a 0 (6,19 g) e 2% de BLE (12,80 g), sendo que estes dois últimos também diferiram entre si, aumento de 261,87% entre 0 e 8% de BLE (Figura 31A). Comportamento similar ocorreu para a FSA nas doses de 6 (3,88 g) e 8% de BLE (4,32 g), porém maiores a 0 (1,00 g), 2 e 4% de BLE, sendo que os três últimos diferiram entre si, aumento de 319,42% entre 0 e 8% de BLE (Figura 32A). Esse resultado de aumento pode ser justificado segundo Silva et al. (2017) sobre o efeito do biochar nas relações hídricas, aumentando o conteúdo relativo de água e o potencial osmótico da folha, diminuindo a resistência estomática e estimulando a troca de gás foliar (transpiração) troca gasosa foliar (transpiração) e na fotossíntese, aumentando a taxa de transporte de elétrons do fotossistema II e a relação entre o rendimento quântico fotoquímico efetivo e a extinção não fotoquímica.

Já no C2, a FFA, as doses de 6 (6,69 g) e 8% (6,67 g) foram maiores em comparação com a dose de 0% (2,32 g) de BLE, aumento de 188,36% entre 0 e 6% de BLE (Figura 31C), já em FSA a 8% (1,90 g) foi maior em comparação com as doses de 0% (0,50 g) e 2% (0,54 g) de BLE, aumento de 280% entre 0 e 8% de BLE (Figura 32C). Esses resultados podem ser explicados pelos teores de N no biochar Gwenzi et al. (2016) que está ligada à alta demanda por produção de proteína, sendo utilizada no desenvolvimento da cultura (Gwenzi et al., 2016). Canuto et al., (2019) teve 64,98% de FFA na dose 0 - 30 t ha⁻¹ de biochar de borra de café na cultura de alface. Melo e Silva (2018) na cultura de Grandes Lagos (*Lactuca sativa*L.) de 98,88% de FFA e 144.23% de FSA entre as doses 5 e 10% de biochar de cafeeiro + Bioplant.

A FFA na dose de PR houve variações de 3,99 g (0 t ha⁻¹ R) a 5,58 g (7 t ha⁻¹), aumento de 38,85% entre 0 e 7 t ha⁻¹ no C2 (Figura 31C) e no C2 da FSA foi de 1,34 g com 7 t ha⁻¹ de PR, maior a 1,05 g (0 t ha⁻¹ de PR), 1,17 g (1 t ha⁻¹ de PR), 1,13 g (3 t ha⁻¹ de PR) e 1,15 g (5 t ha⁻¹ de PR), aumento de 27,62% entre 0 e 7 t ha⁻¹ de PR (Figura 32C). Nascimento et al. (2013) observaram redução de FFA (50 g) em relação ao FSA (15,5 g), redução de 223%, na dosagem de 140 kg ha⁻¹ de resíduo sólido na cultivar de girassol Embrapa 122/V2000, sendo menor a observada para a cultivar Sunflower Sunbright utilizada nesse trabalho.

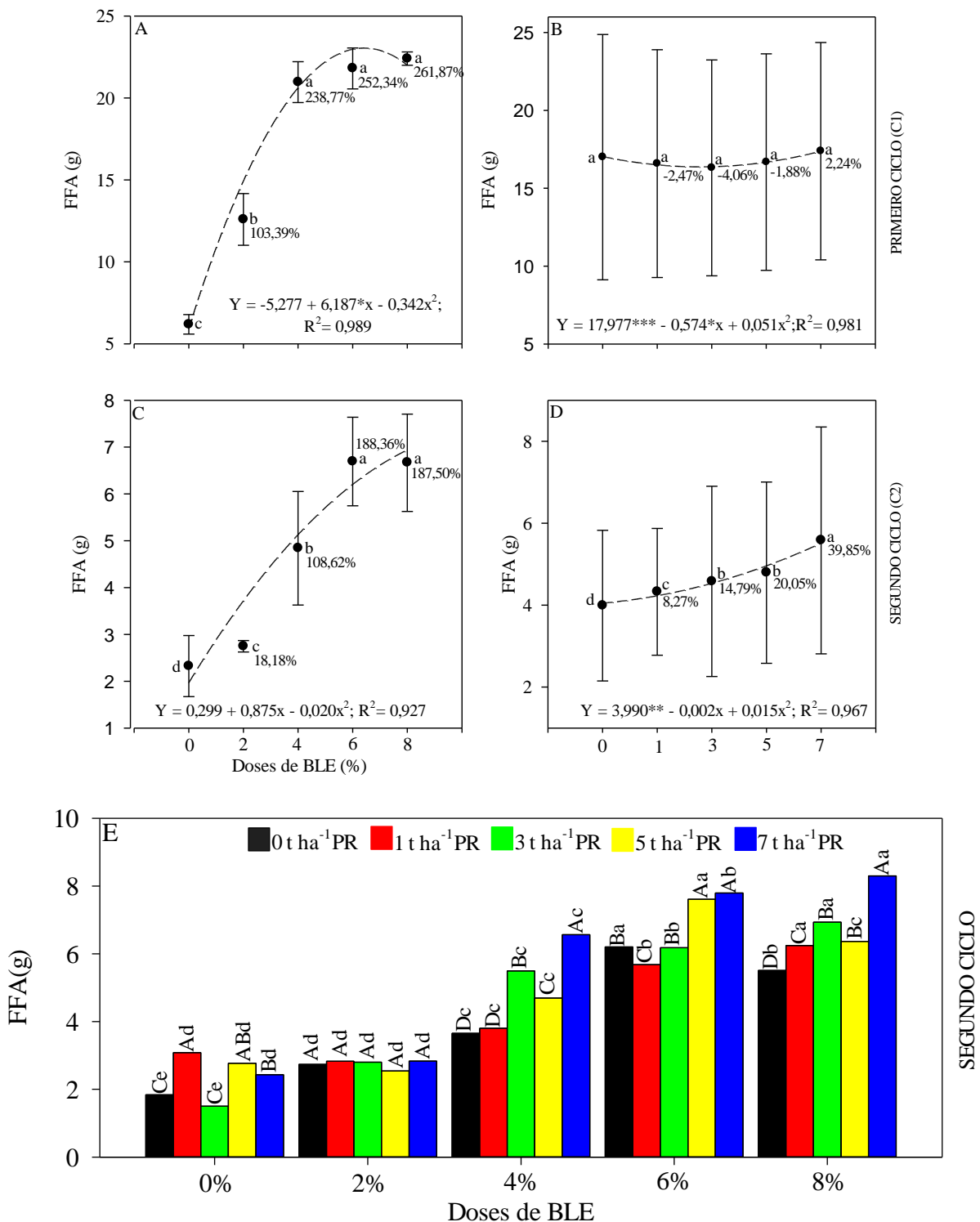


FIGURA 31. Valores do FFA em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹, modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.

Letras maiúsculas iguais não diferem entre as doses de PR dentro de cada dose de BLE e letras minúsculas não diferem entre as doses de BLE dentro de cada dose de PR. ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

A análise de FFA da interação das doses de PR com o BLE no C2, mostra maior valor em 7 t ha⁻¹ de PR (8,29 g) em relação a 5,51 g (0 t ha⁻¹ de PR) na dose 8% de BLE, o mesmo ocorreu na dose de 4% de BLE com 6,56 g (7 t ha⁻¹ de PR) em comparação a 3,65 g (0 t ha⁻¹) e 3,80 g (1 t ha⁻¹). Entretanto, na dose de 6% de BLE foi de 6,20 g (0 t ha⁻¹) e 5,68 g (1 t ha⁻¹) menor a 7,79 g (7 t ha⁻¹ de PR) (Figura 32E). Comportamento similar ocorreu para FSA, com valores de 0,85 g (0 t ha⁻¹ e 1 t ha⁻¹ de PR), menores a 1,83 g (7 t ha⁻¹ de PR) na dose de 4% de BLE, pelo contrário, 1,81 g (5 t ha⁻¹ de PR) foi maior a 1,26 g (3 t ha⁻¹ de PR) na dose de 6% de BLE. Na dose de 8% de BLE com valor de 1,28 g (7 t ha⁻¹ de PR) foi maior em relação a 1,44 g (5 t ha⁻¹ de PR) (Figura 32E).

Essa diferença de FFA entre as doses de BLE pode estar relacionado com as perdas de N ou P, pois torna a planta mais alta em comparação ao DC e com maior aporte de biomassa área do que radicular (Lima et al., 2016), como foi que aconteceu nossa pesquisa com diferença significativas na AP e FFA e não no DC e MFR nas doses 4, 6 e 8% de BLE.

Essas maiores produções de biomassa nos tratamentos 6 e 8% BLE, são devidas, provavelmente, ao aumento de pH e de P presente no BLE (Lima et al., 2020), como também, ao teor de clorofila, pigmento que está diretamente envolvido no processo fotossintético (Gonzaga et al., 2021).

Já no C2 na dose de 0 t ha⁻¹ de PR mostrou menor valor, sendo de 1,84 g (0% de BLE) em relação a 6,20 g (6% de BLE), igualmente, de 1,50 g (0% de BLE) em relação a 6,93 g (8% de BLE) na dose 3 t ha⁻¹ de PR). Ao contrário, 8,39 g (8% de BLE) foi maior em relação 2,43 g (0% de BLE) e 2,83 g (2% de BLE) na dose de 7 t ha⁻¹ de PR, da mesma forma, 7,61 g (6% de BLE) com relação a 2,77 g (0% de BLE) e 2,54 g (2% de BLE) na dose de 5 t ha⁻¹ de PR, e, na dose de 1 t ha⁻¹ de PR com valor de 3,08 g (0% de BLE) e 2,83 g (2% de BLE) foram menores a 6,24 g (8% de BLE) (Figura 32E).

Observa-se na dose 7 de t ha⁻¹ que a FSA, no C2, foi de 2,28 g (8% de BLE), maior em relação a 0,60 g (0% de BLE) e 0,54 g (2% de BLE), bem como 1,96 g (8% de BLE) em relação a 0,75 g (0% de BLE), 0,54 g (2% de BLE) e 0,83 g (6% de BLE) na dose de 1 t ha⁻¹ de PR. Por sua vez, na dose de 0 t ha⁻¹ de PR foram os menores valores, bem como 0,36 g (0% de BLE) e 0,52 g (2% de BLE) foram menores em relação a 1,70 g (6% de BLE) e 1,84 g (8% de BLE). Já 0,35 g (0% de BLE) e 0,54 g (2% de BLE) foram menores em relação a 1,99 g (8% de BLE) na dose de 3 t ha⁻¹ de PR, por sua vez, na dose de 5 t ha⁻¹ de PR observa-se maior valor de 1,81 g (6% de BLE) em relação a 0,47 g (0% de BLE) e 0,55 g (2% de BLE) (Figura 32E).

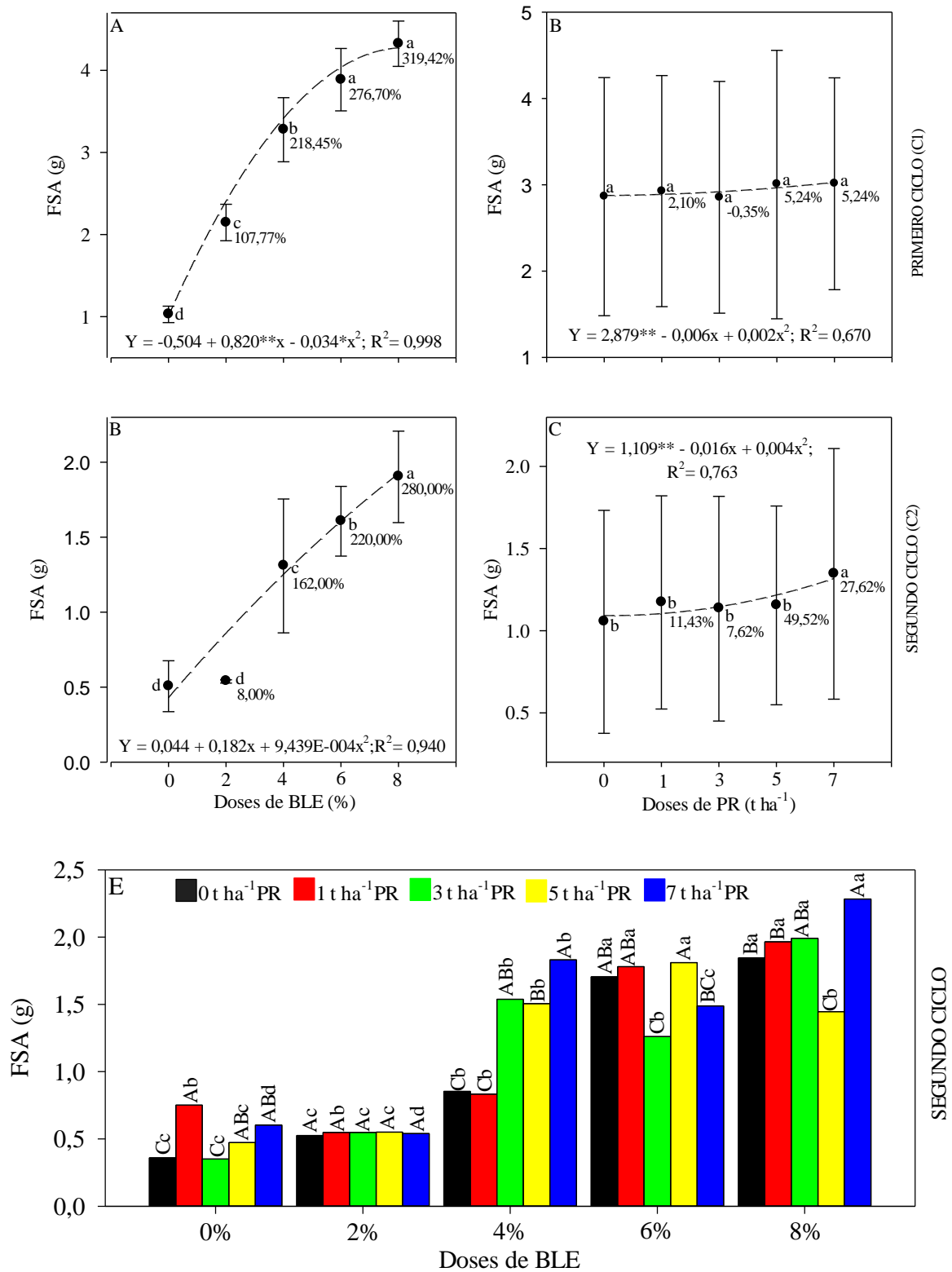


FIGURA 32. Valores do FSA em função das doses de 0, 2, 4, 6 e 8% de biochar de lodo de esgoto (BLE) e 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ de pó de rocha (PR), modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação em porcentagem das doses em relação a ausência de BLE e PR no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.

Letras maiúsculas iguais não diferem entre as doses de PR dentro de cada dose de BLE e letras minúsculas não diferem entre as doses de BLE dentro de cada dose de PR. ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

De maneira geral, o observado nesse trabalho também é concordante com a aplicação das doses de pó de basalto utilizadas por Dalcin et al. (2018) na cultura da alface, onde concluíram que a utilização do PR não beneficia o desenvolvimento das plantas. Rezende et al. (2013) relatam que o PR foi improdutivo para a nutrição da cultura, principalmente na variável massa verde da parte aérea, não havendo diferença significativa, como aconteceu nesse trabalho.

Avaliando os efeitos das doses de BLE na FFA, FSA, MFR e MSR, Deenik e Cooney (2016) confirmam a relação do aumento da biomassa na parte aérea e das raízes com o aumento do carbono do solo decorrente do uso de BLE. Além disso Lima et al. (2016) afirma que há uma interação positiva de P e K que pode estar associado ao aumento do crescimento e produtividade da planta.

O EP mostra maior dispersão de dados nas doses de PR no C1 e C2 em FFA e FSA (Figura 31A, B, C e D e 32A, B, C e D). Enquanto que nas doses de BLE, 2% teve maior EP em relação a 8% no C1 e em 4% com 2% do C2 para a FFA (Figura 31A, B, C e D), já em FSA, 4 e 6% de BLE foram maiores que 0% no C1, e, 2% foi menor que 4% no C2 (Figura 32A, B, C e D).

Tanto na FFA e FSA apresentaram crescimento progressivo com o aumento das doses de BLE e PR. Na FFA a variabilidade em 8% foi de 261,87% no C1, em 6% de 188,36% no C2 em relação a 0%. Nas doses de 4, 6 e 8% de BLE no C1 e em 6 e 8% de BLE no C2 houve estabilidade (Figura 31A e 32B). A FSA foi de 319,42% no C1 e de 280% no C2 entre 0 e 8% de BLE (Figura 31A e 32B), influenciado pelos teores de N e P (Furtado et al., 2017), tais resultado evidenciam que o maior acúmulo de MSA do girassol ocorreu nas maiores doses, mesma tendencia observada na AF. No uso de PR, no C2 a maior variabilidade de FFA foi de 39,85% no C1 e, a FSA foi de 27,62% entre 0 e 7 t ha⁻¹ (Figura 32C e 32C). Os valores na FFA e FSA foram melhores em função das bases disponíveis no solo pela aplicação de BLE e PR. Ao mesmo tempo, observa-se que o R² com o uso de BLE variou de 0,92 até 0,98 na FFA (Figura 31), já na FSA o maior valor foi de 0,99 nas doses BLE no C1, mas com o uso de PR não passou de 0,76 no C2 (Figura 32

MFR e MSR

No C1, a MFR com 6 (3,65 g) e 8% de BLE (4,16 g) foram maior que a 0 (1,00 g) e 2% de BLE, com um aumento de 316% entre 0 e 8% de BLE (Figura 33A). Enquanto em MSR nas doses de 4 (1,02 g), 6 (0,97 g) e 8% de BLE (1,04 g) foram maiores as demais doses, sendo que

com 0% (0,46 g), foi menor entre as doses avaliadas, com um aumento de 126,09% entre 0 e 8% de BLE (Figura 34A). Talvez, pode estar ligado a alta absorção de P necessário principalmente para impulsionar o desenvolvimento inicial da raiz, resultando na absorção de outros nutrientes do solo para o desenvolvimento da planta (Gwenzi et al., 2016).

No C2, a MFR apresentou diferença em todas as doses de BLE, variando de 0,45 g (0% de BLE) até 1,95 g (8% de BLE), aumento de 333,33% entre 0 e 8% de BLE. Junior et al. (2022) ao proporcionar maior disponibilidade de água e de ar aos sistema radicular, bem como a doação e recebimento de elétrones, já nas doses de PR foi de 0,88 g (0 t ha⁻¹ de PR), 1,05 g (1 t ha⁻¹ de PR), 1,08 g (3 t ha⁻¹ de PR) e 0,99 g (5 t ha⁻¹ de PR), sendo estatisticamente iguais, mas diferiram de 1,31 g (7 t ha⁻¹ de PR), aumento de 48,86% entre 0 e 7 t ha⁻¹ de PR (Figura 33C e 33D).

Enquanto que a MSR na dose de 8% (0,33 g) foi maior em comparação com as doses 0 (0,14 g), 2 (0,15 g) e 4% (0,16 g) de BLE, aumento de 137,71% entre 0 e 8% de BLE, o mesmo ocorre nas dose de PR, sendo que em 0 (0,20 g), 1 (0,19 g), 3 (0,20 g), 5 t ha⁻¹ (0,19 g) foram menores em relação a 7 t ha⁻¹ de PR (0,23 g), aumento de 15% entre 0 e 7 t ha⁻¹ de PR (Figura 34C e 34D). Esses resultados podem ser justificados pela melhoria da qualidade do solo com a aplicação do BLE, como aumento do pH, CTC e nutrientes do solo (Gwenzi et al., 2016; Albuquerque et al., 2014). Como aconteceu com Silva et al. (2017) na cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na MSR, de 175, 202 e 143%, respectivamente, em relação ao tratamento de controle com uso de três tipos de biochar de casca de arroz, serragem e silagem de sorgo, na MSR.

Os valores entre MFR e MSR com a FFC e FSC, estão relacionados segundo com os micronutrientes (Kępka et al., 2016), ao índice de área foliar (Koutroubas et al., 2014) e com as concentrações do N e P que são indicadores alta qualidade para o desenvolvimento da planta (Lima et al., 2016). Além dos nutrientes disponibilizados pelo uso do BLE, outros fatores influenciam na formação de FFA e FSA dentre eles a irrigação, que beneficia a formação de biomassa seca de caules, pois favorecem a abertura estomática e a absorção de CO₂ (Simões et al., 2020), combinado com uma radiação elevada, proporciona maiores taxas fotossintéticas, resultando num aumento da produção de biomassa (Taiz et al., 2017).

A MFR no C2, nas doses de 2 e 6% de BLE não apresentaram diferença entre as doses de PR, já com 4% de BLE, foram iguais sendo em 0 (0,48 g), 1 (0,61 g), 3 (0,62 g) e 5 t ha⁻¹ de PR (0,78 g) menores em comparação 7 t ha⁻¹ de PR (1,66 g). Já para dose de 8% de BLE, 7 (2,37 g) e 3 t ha⁻¹ (2,07 g) foram maiores em relação a 0 t ha⁻¹ de PR (1,48 g) (Figura 33E). Já a MSR, a dose de 6% de BLE quando do uso de 0 (0,17 g), 1 (0,16 g) e 3 (0,14 g) foram menor

que a 7 t ha⁻¹ de PR (0,38 g), e com 3 t ha⁻¹ (0,40 g) foi maior que a 5 t ha⁻¹ de PR (0,21 g) na dose de 8% de BLE (Figura 34E).

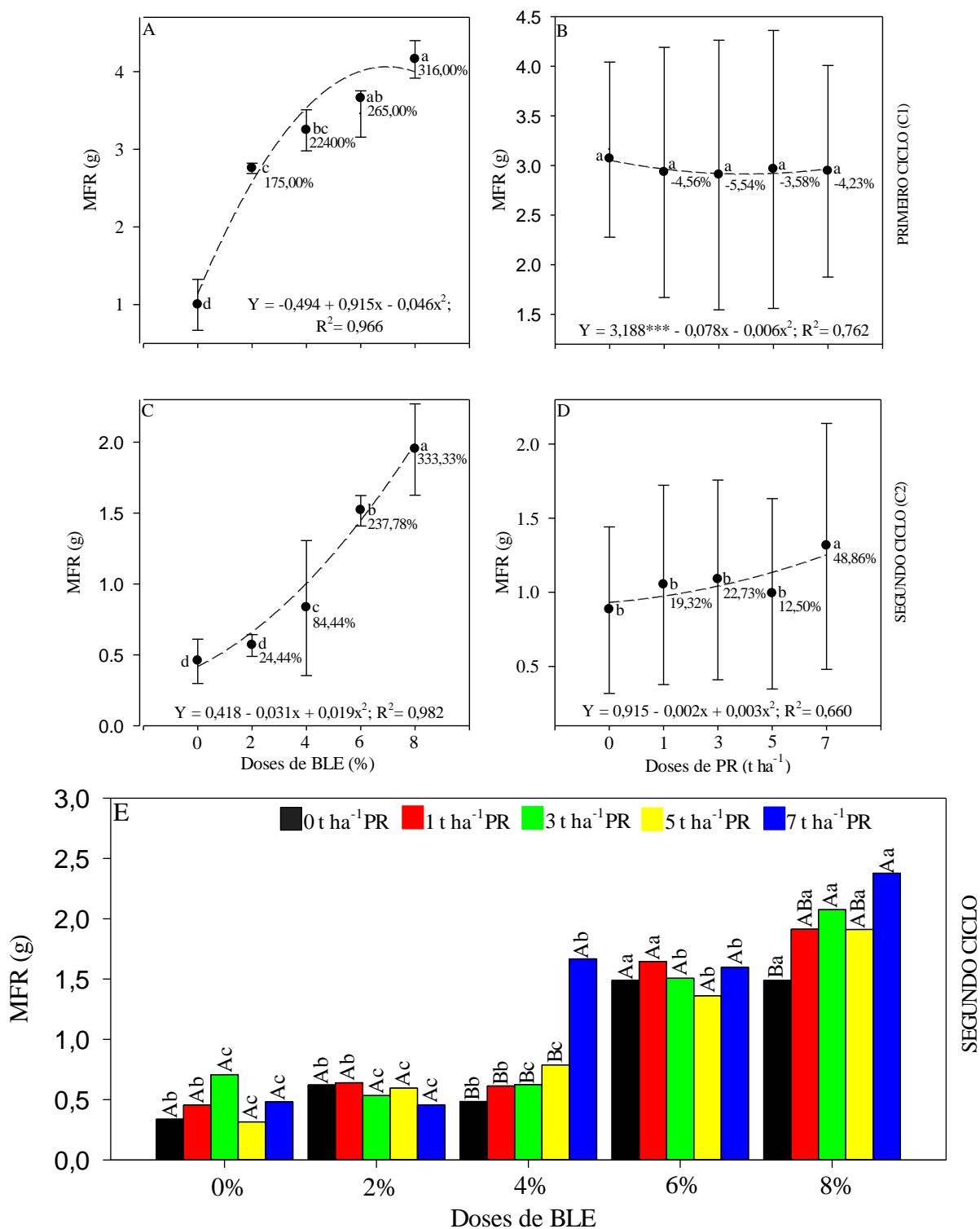


FIGURA 33. Valores do MFR em função das doses de 0, 2, 4, 6 e 8% de biochar de lodo de esgoto (BLE) e 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ de pó de rocha (PR), modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright.

Letras maiúsculas iguais não diferem entre as doses de PR dentro de cada dose de BLE e letras minúsculas não diferem entre as doses de BLE dentro de cada dose de PR. ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

Já a MFR com o uso de 8% (2,37 g) de BLE foi maior em comparação a 0% (0,48 g) e 2% (0,45 g) de BLE na dose de 7 t ha⁻¹ de PR, bem como de 8% (1,91 g) de BLE com 0 (0,31 g), 2 (0,59 g) e 4% (0,78 g) de BLE na dose de 5 t ha⁻¹ de PR. Na dose de 3 t ha⁻¹ de PR, 8% (2,07 g) de BLE foi maior em relação a 0 (0,70 g), 2 (0,53 g) e 4% (0,62 g) de BLE, porém, em 0 (0,33 g), 2 (0,62 g) e 4% (0,48 g) de BLE foram menores em relação a 6 (1,49 g) e 8% (1,48 g) de BLE na dose de 0 t ha⁻¹ de PR, o mesmo ocorreu na dose de 1 t ha⁻¹ de PR, em que 0 (0,45 g), 2 (0,64 g) e 4% (0,61 g) foram menores em relação a 6 (1,64 g) e 8% (1,91 g) de BLE (Figura 33E).

A MSR, apresentou menor valor em 0% (0,14 g) de BLE em relação a 6% (0,27 g) de BLE na dose de 5 t ha⁻¹ de PR, já na dose de 1 t ha⁻¹ de PR, 0 (0,12 g), 2 (0,14 g), 4 (0,15 g) e 6% (0,16 g) de BLE foram menores que a 8% (0,36 g) de BLE. Com 6% (0,38 g) e 8% (0,33 g) de BLE foram maiores em relação a 0 e 2 (0,15 g) e 4% (0,16 g) de BLE na dose de 7 t ha⁻¹ de PR. Já com 8% (0,40 g) de BLE foi maior que 0 e 2% (0,15 g), 4 (0,17 g) e 6% (0,14 g) de BLE na dose de 3 t ha⁻¹ de PR. Com o uso de 0 t ha⁻¹ de PR, 0 (0,14 g), 2 (0,16 g), 4 e 6% (0,16 g) de BLE foram menores que com 8% (0,34 g) de BLE (Figura 34E). Mostrando a influência os resultados da MFR e MSR com a FFA e FSA, Oliveira et al. (2019) onde o sistema radicular está relacionado com a condução de nutrientes e energia aos tecidos do dossel da planta.

Os resultados de MFR e MSR, segundo Pizetta et al. (2021) pode estar relacionado com a produção de etileno, pois quando há excesso de água neste hormônio é produzido em maior quantidade, o que leva ao menor crescimento da raiz principal, e conseqüentemente o aumento de raízes laterais e auxiliares, bem como o aumento do diâmetro de coleto. Conforme observado por Oliveira et al. (2018), parte desse comportamento pode ser explicado, pela expulsão do ar do solo e do seu oxigênio causada pelo excesso de água, o que pode comprometer a fisiologia das raízes em sua respiração. Essa mesma tendência foi observada por Cruz et al. (2019) ao usar 10% de esterco bovino, chegando a 32,99 g de MFR e 4,94 g em MSR no girassol ornamental Anão de Jardim, aumento de 562%.

Os maiores EP ocorreram nas doses de PR no C1 e C2 em MFR e MSR (Figura 33A, B, C e D e 34A, B, C e D) e na MSR nas doses de BLE do C2, sendo 6% menor que 0, 2%, 4 e 8% (Figura 34C e D). Já nas doses de BLE para a MFR, 2% foi menor o EP que a 0 e 6% no C1 e, 4% foi maior que 2% (Figura 33A e B), e a MSR com 4% foi maior que 0% de BLE (Figura 34A e B).

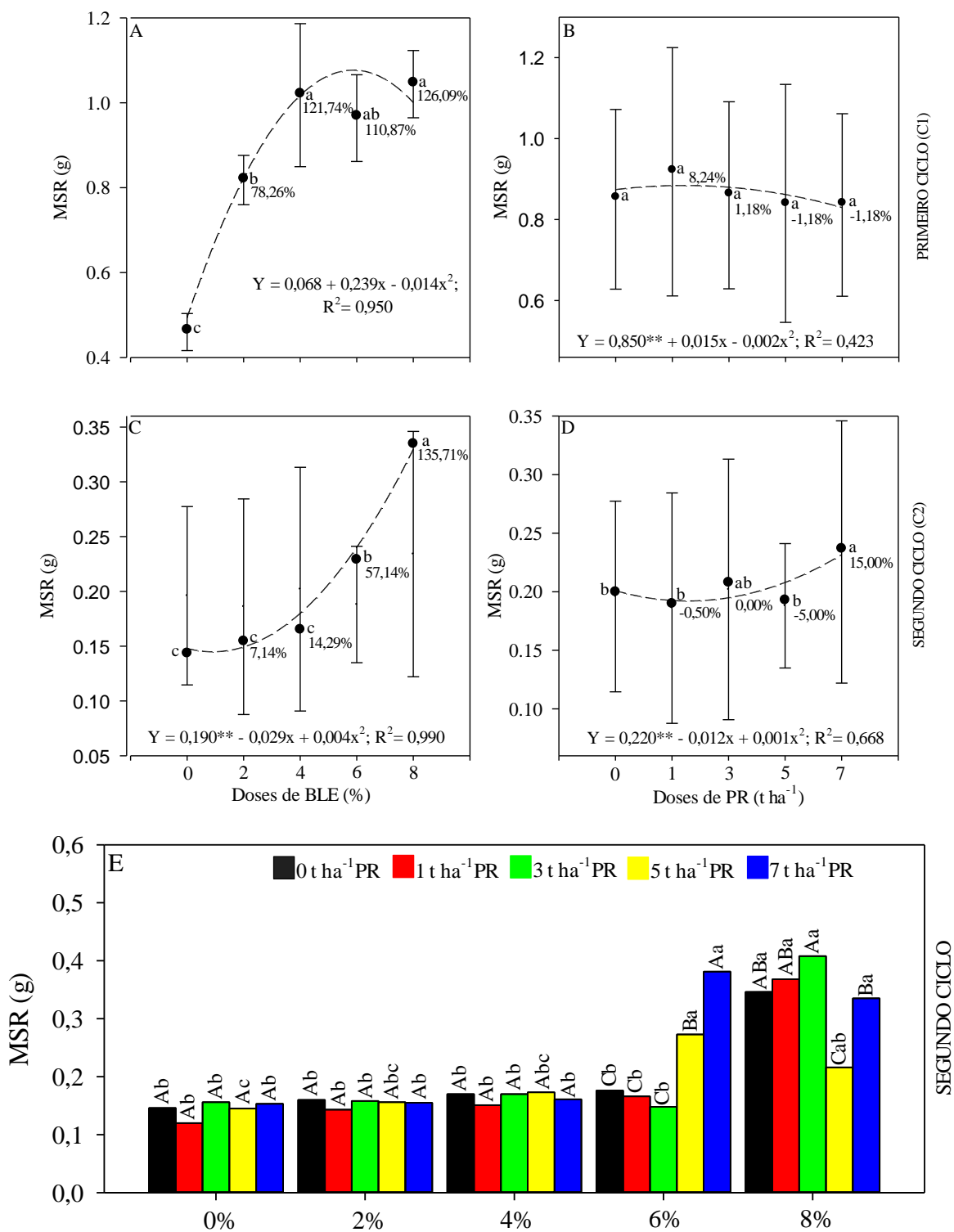


FIGURA 34. Valores do MSR em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹, modelo de ajuste de regressão, análise de variância e variação percentual das doses de BLE e PR em relação a ausência desses produtos no C1 e C2 do girassol ornamental Sunflower Sunbright. ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

Tanto FFA e FSA foram de crescimento progressivo com as doses de BLE, onde a MFR apresentou a maior variabilidade, sendo de 316% no C1 e no C2 foi de 333,33% (Figura 33A e 33C). A MSR variou 126,09% no C1 e 135,71% no C2 (Figura 34A e 34C) entre 0 e 8%. O alto conteúdo de carbono no BLE e as atividades microbianas foram podem ter influenciado os valores de FFA, FSA MFR e MSR. Na MFR quando se uso o PR houve maior variabilidade de 48,86% no C2 e na MSR de 15% entre 0 e 7 t ha⁻¹ (Figura 33D e 34D), além disso o PR requer maior tempo de contato no solo para disponibilizar os sais. Ao mesmo tempo, observa-se que o R² com o uso de BLE foi desde 0,96 no C1 e 0,98 no C2 (Figura 33A e 33C), já com PR, a maior variabilidade na MFR foi de 48,86% no C2 (Figura 33D), e na MSR foi 0,99 nas doses BLE no C2 (Figura 34C), e no C2 não passou de 0,66 (Figura 34C).

A escolha das variáveis para o análise do crescimento do girassol em componentes principais foi baseada em critérios de relevância, com a disponibilidade de dados com o uso de BLE e PR para uma melhor compreensão do estudo. Foi possível entender o aspecto produtivo da morfologia da planta relacionado com as diferentes doses de BLE e PR, apresentando no C1 variabilidade total de 91,94% nas doses de BLE, sendo 84,21% (PC1) e 7,73% (PC2) (Figura 35 A) e 78,06% (PC1) e 9,29% (PC2) com 87,35% de variabilidade total nas doses de PR (Figura 35 B). Já no C2, foi 80,35% (PC1) e 7,48% (PC2) com variabilidade de 87,83% tanto nas doses de BLE como bem nas doses de PR (Figura 35 E e F), assim o modelo de variabilidade total em componentes principais se mostra adequado para utilização e aplicação uma vez que ultrapassou o recomendado (Johnson e Wichern, 1998).

De acordo com Silva e Padovani (2006) geralmente os dois primeiros componentes explicam a importância de uma grande parte da variabilidade, sendo o primeiro componente o mais importante.

5.3.5 Análise biplot dos atributos morfológicos do girassol no C1 e C2

De acordo com os maiores valores de coeficientes no C1, destacaram-se as variáveis AP, CF, LF, DC, DEC, DIC, FFC, FSC, FFA, FSA, MFR, MSR e AF no PC1 e NF, NP no PC2 (Figura 35A) quando se uso BLE. Enquanto com o uso de PR, as variáveis de CF, DC, DEC, DIC, NF, NP, FFC, FSC, FFA, FSA, MFR, MSR e AF no CP1 e CF e LF no CP2 (Figura 35B). Porém, o maior valor foi em NF (C1), DC e MSR (C2) e menor valor foi AP tanto no C1 e C2 quando se uso BLE.

Já no C2, tanto nas doses de BLE e PR a AP, CF, LF, DEC, FFC, FSC, FFA, FSA, MFR e AR foram no CP1 e o DC e MSR no CP2 (Figura 36 E e F). Assim mesmo, o maior valor foi em LF e AP e menor valor no NF e NP, tanto no C1 e C2.

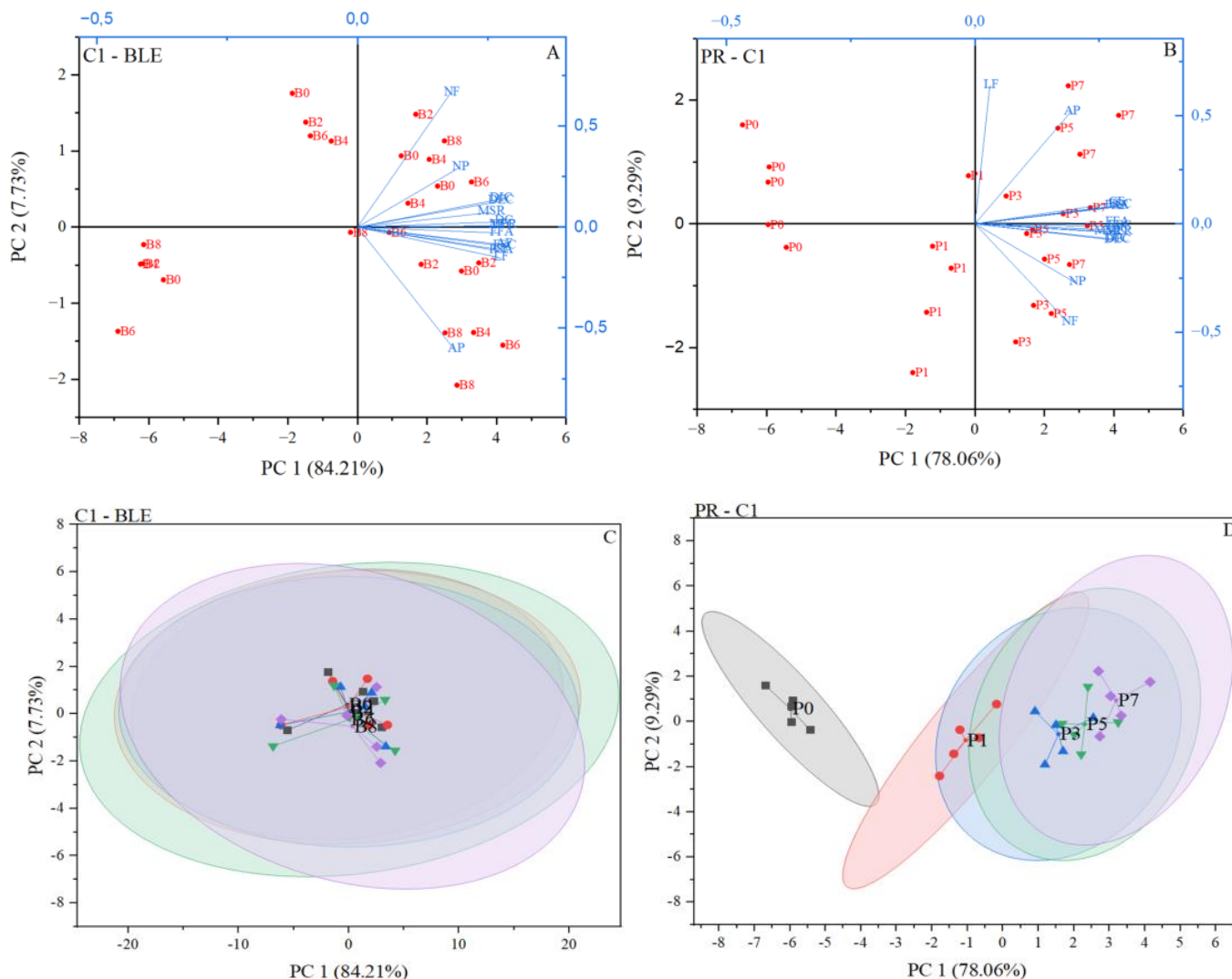


FIGURA 35. Análise biplot dos valores de AP, CF, LF, DC, DEC, DIC, FFC, FSC, FFA, FSA, MFR, MSR, AF, NF e NP para o BLE (A) e PR (B) e, para as doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% (C) e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ (D) no C1.

Ao analisar as Figuras 35C, 35D, 36G e 36H, que é o Biplot CP1 x CP2 com as diferentes de BLE e PR, pode-se concluir que, de acordo com os dados de produção do girassol ornamental, as doses de BLE influenciaram na morfologia da planta indicado pela intercorrelação entre as variáveis da morfologia e as doses de 0, 2, 4, 6 e 8% tanto no C1 e no C2 (Figura 35C e 36G). Já nas doses de PR, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ mostraram os maiores valores da morfologia do girassol no C1 e 5 e 7 t ha⁻¹ no C2 (Figura 35D e 36H). As doses 0 e 1 t ha⁻¹ foram as que apresentaram menores valores em produtividade, assim mesmo, tiveram maior

associação com PC2 do C2 (Figura 36H). Se evidenciou diferença entre 0 t ha⁻¹ com 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ no C1, e 5 e 7 t ha⁻¹ com 0, 1 e 3 t ha⁻¹ no C2 (Figura 35C, 35D, 36G e 36H).

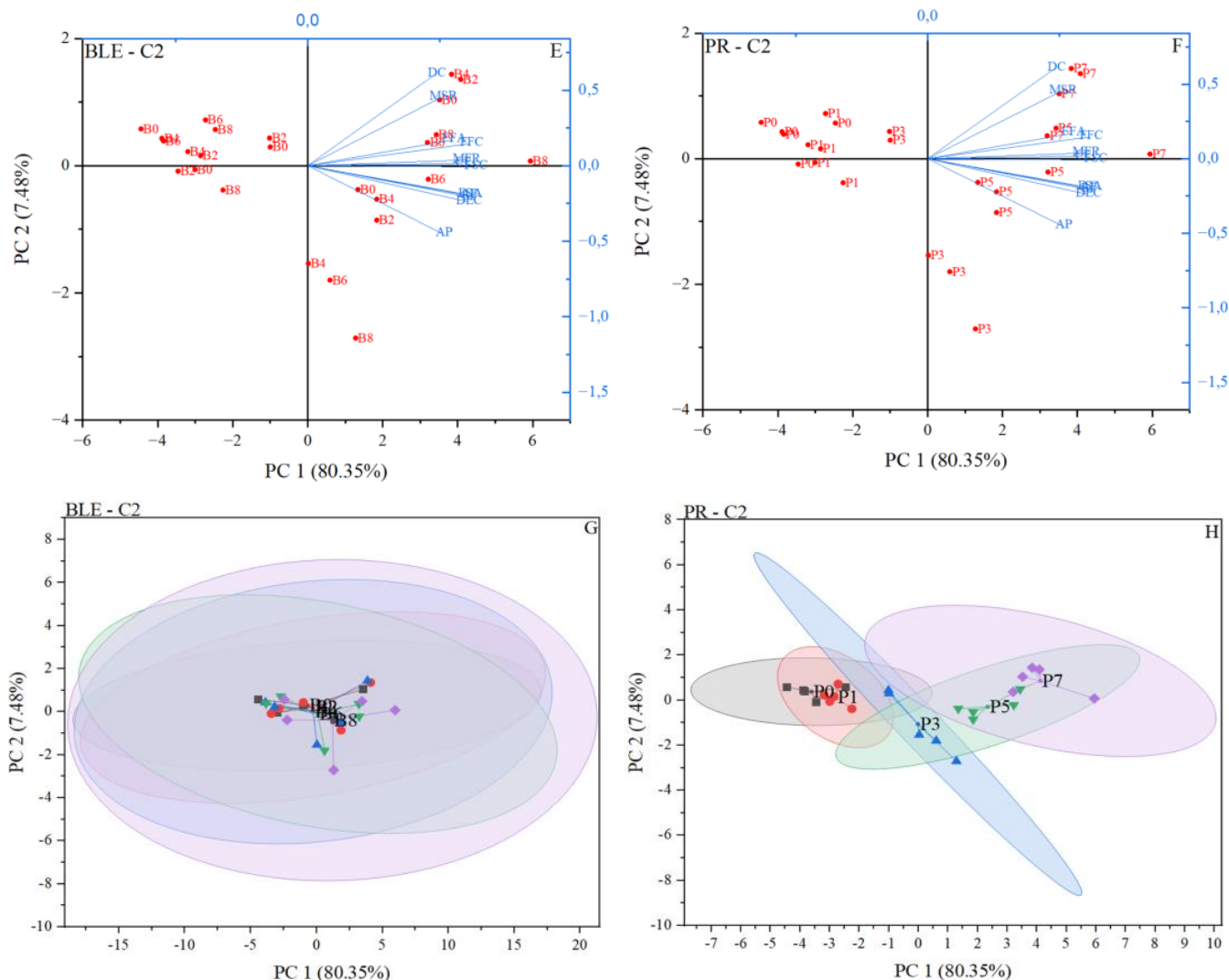


FIGURA 36. Análise biplot dos valores de AP, CF, LF, DC, DEC, DIC, FFC, FSC, FFA, FSA, MFR, MSR, AF, NF e NP para o BLE (E) e PR (F) e, para as doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% (G) e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ (H) no C1

5.4 Parâmetros químicos do solo nos C1 e C2

No C1, o uso de BLE teve efeito significativo ($P < 0,001$) sobre pH, MO, V, P, K, H+Al, (H+Al)/CTC, Ca/Mg, CTC, Mg/CTC e K/CTC, enquanto que o efeito do PR foi significativo ($P < 0,01$) para pH, V, H+Al, H+Al/CTC, Ca/Mg e Ca/CTC e em MO e P ($P < 0,05$). Na interação entre o BLE e PR houve efeito significativo para MO ($P < 0,001$), V, P, H+Al, (H+Al)/CTC e Ca/Mg ($P < 0,05$) e em pH ($P < 0,05$) (Tabela 3). Esses efeitos são resultado das boas propriedades químicas do BLE (Song et al., 2014) e da calagem realizada antes do cultivo.

TABELA 8. Resumo da análise de variância das propriedades químicas do solo cultivados com girassol ornamental em função das doses de biochar de lodo de esgoto (BLE) e pó e rocha (PR) no C1.

Fator de variação	GL	Valores de Quadrados Médios				
		pH	MO	V	P	K
BLE	4	0,18***	194,21***	99,56***	8.739,91***	994,98***
PR	4	0,06***	13,94**	52,33***	161,84**	41,92
BLExPR	16	0,01*	12,97***	15,15**	99,57**	72,85
CV (%)		1,33	8,05	3,24	16,65	26,97
Fator de variação	GL	Valores de Quadrados Médios				
		H+Al	H+Al /CTC	Ca	Mg	Ca/Mg
BLE	4	120,00***	120,00***	1,29***	0,01	0,43
PR	4	55,56***	55,56***	0,43	0,01	0,15
BLExPR	16	14,36**	14,36**	0,35	0,04	0,23
CV (%)		9,37	9,37	10,25	10,83	14,94
Fator de variação	GL	Valores de Quadrados Médios				
		Ca/Mg	CTC	Mg/CTC	Ca/CTC	K/CTC
BLE	4	1,03***	6,73***	33,79***	13,65	0,41**
PR	4	0,55***	0,02	1,65	40,63***	0,04
BLExPR	16	0,19**	0,48	4,36	6,88	0,07
CV (%)		4,87	6,62	10,48	4,91	7,55

Potencial de hidrogênio (pH), Matéria orgânica (MO, g kg⁻¹), Saturação de Base (V, %), Fósforo (P Mehlich) (mg dm⁻³), Cálcio/magnésio, Ca/Mg (cmol_c dm⁻³), Acidez potencial, H+Al (cmol_c dm⁻³), Acidez potencial/capacidade de troca catiônica, (H+Al)/CTC (%), cálcio (Ca), magnésio (Mg), relação Ca/Mg (.), potássio (K), capacidade de troca de cátions (CTC), da relação cálcio/magnésio (Ca/Mg) (cmol_c dm⁻³), Mg/CTC, Ca/CTC e K/CTC, biochar de lodo de esgoto (BLE), pó de rocha de origem micaxisto (PR), GL: graus de liberdade; ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

No C2, mesmo sob efeito residual, o uso de BLE teve efeito significativo (P<0,001) sobre pH, MO, V, P, K, H+Al, (H+Al)/CTC, Ca, Ca/Mg, CTC, Mg/CTC, Ca/CTC e K/CTC, enquanto que o PR afetou significativamente (P<0,001) as variáveis pH, V, H+Al, (H+Al)/CTC, Ca, Ca/Mg e Ca/CTC. As variáveis CTC (P<0,01) e K/CTC (P<0,05) também foram afetadas pelo PR. A interação entre BLE e PR teve efeito significativo para V, H+Al e (H+Al)/CTC, (P<0,01), além do pH e K/Mg (P<0,05) (Tabela 9).

TABELA 9. Análise de variância das propriedades químicas do solo cultivado com girassol ornamental em função das doses de biochar de lodo de esgoto (BLE) e pó e rocha (PR) no C2.

Fator de variação	GL	Valores de Quadrados Médios				
		pH	MO	V	P	K
BLE	4	0,36***	75,52***	223,25***	12.677,89***	1.267,68***
PR	4	0,06***	6,15	56,24***	24,45	74,48
BLExPR	16	0,008*	7,90	8,92**	23,49	91,24
CV (%)		1,11	9,42	2,52	10,53	25,02

Fator de variação	GL	Valores de Quadrados Médios				
		H+Al	H+Al /CTC	Ca	Mg	Ca/Mg
BLE	4	4.02***	209,55***	2,02***	0,05	2,20***
PR	4	0,45***	54,00***	0,65***	0,01	0,60***
BLExPR	16	0,07**	8,64**	0,10	0,02	0,07
CV (%)		8,16	6,47	5,50	10,90	5,27

Fator de variação	GL	Valores de Quadrados Médios				
		Ca/Mg	CTC	Mg/CTC	Ca/CTC	K/CTC
BLE	4	1,29***	10,03***	73,79***	65,53***	0,78***
PR	4	0,33	0,48**	2,21	63,41***	0,08*
BLExPR	16	0,09	0,19	3,62	4,15	0,06*
CV (%)		12,86	4,57	9,54	3,25	20,85

Potencial de hidrogênio (pH), Matéria orgânica (MO, g kg⁻¹), Saturação de Base (V, %), Fósforo (P Mehlich) (mg dm⁻³), Cálcio/magnésio, Ca+/Mg (cmol_c dm⁻³), Acidez potencial, H+Al (cmol_c dm⁻³), Acidez potencial/capacidade de troca catiônica, (H+Al)/CTC (%), cálcio (Ca), magnésio (Mg), relação Ca/Mg (.), potássio (K), capacidade de troca de cátions (CTC), da relação cálcio/magnésio (Ca/Mg) (cmol_c dm⁻³), Mg/CTC, Ca/CTC e K/CTC, biochar de lodo de esgoto (BLE), pó de rocha de origem micaxisto (PR), GL: graus de liberdade; ***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo.

O pH do solo nas doses de BLE foram menores quando do uso de 4 (5,66), 6 (5,64) e 8% (5,67) em relação a 0% (6,00). Já 0 (5,68) e 1 t ha⁻¹ (5,72) foram inferiores a 5 t ha⁻¹ (5,82) e 7 t ha⁻¹ (5,84) de PR, com variação entre 0 e 8% de BLE de 5,5% e entre 0 e 7 t ha⁻¹ de PR de 2,81%. Observa-se que o solo se tornou mais ácido nas doses 4, 6 e 8% de BLE e 0, 1 e 3 t ha⁻¹ de PR no final do C2 (Tabela 10).

No C1, o pH do solo quando do uso de 0 t ha⁻¹ de PR, observa-se que 0% de BLE foi maior em relação 4 e 6%. Já com 1 t ha⁻¹ houve maior valor na dose 0% em relação a 6% de BLE, enquanto que com 3 t ha⁻¹ de PR, a dose 0% foi maior que a 8% de BLE. Quando do uso de 5 t ha⁻¹, a dose 0% de BLE foi maior que as demais doses de BLE. Com o uso de 7 t ha⁻¹, 0, 2 e 4% foram maiores que a 6% BLE, ou seja, houve tendência de redução de pH, especialmente de 0% de BLE em relação as maiores doses (6 e 8% de BLE). Esse aumento do pH, segundo Lima et al. (2017) é devido a adição do biochar e de aspecto desejável do uso desse material,

principalmente em solos tropicais (Vendrucolo et al., 2016) e da aplicação do calcário, bem como do tipo de solo, como aconteceu no presente trabalho.

No C2, o pH do solo com o uso de 0 t ha⁻¹ de PR, observa-se que na dose 0% de BLE o pH foi maior do que na dose de 6%, o mesmo ocorreu na dose 1 t ha⁻¹ de PR. já com 3 t ha⁻¹, 0% de BLE promoveu maior pH do a dose de 8%; e, com o uso de 5 e 7 t ha⁻¹ de PR, doses de 0 e 2% de BLE promoveram pH maior em doses maiores (4, 6 e 8% de BLE), mas ficaram dentro do valor recomendado por Embrapa (1996), ou seja, 5,2 a 6,4 (CaCl₂) para a cultura do girassol. Na dose de 4% de BLE, a aplicação de PR apresentou maior pH do que o controle (0 t ha⁻¹) (Tabela 10).

Tanto no C1 como no C2, a tendência do pH foi de manter-se estável com o aumento das doses de PR independentemente da aplicação de BLE. Por outro lado, o aumento da dose de BLE reduziu o pH do solo. A manutenção dos valores de pH do solo na presença de PR ocorreu, segundo Chaves e Mendes (2016), pelos teores dos cátions (cálcio, sódio, magnésio, potássio) do PR que mantêm ou aumento o pH do solo. De forma detalhada, esses íons positivos disponibilizados ao solo irão preencher os espaços de cargas negativas, nos quais eram preenchidos com cargas de H⁺ e Al³⁺, promovendo a neutralização sistema edáfico (Junior et al., 2022).

Um aumento do pH do solo com aumento de doses de BLE já foi relatado. No trabalho de Sousa e Figueiredo (2015) foi observado valores de pH de 6,20, 6,18, 6,48, 6,55, 6,45 e 6,35 nas doses de 0, 10, 20, 30, 40 e 50 g kg⁻¹ de BLE respectivamente, provavelmente, pela menor demanda por bases trocáveis da cultura do rabanete (cultura utilizada) Já o PR basalto aumentou o pH, sendo o menor valor de 5,67 obtido na dose de 4,67 Mg ha⁻¹ (Tebar et al., 2021), e em Alovisei et al. (2021) de 5,51 na dose de 10 Mg ha⁻¹, portanto, com valor mais elevado quando do com uso de PR basáltico.

Segundo Valeri e Corradini (2000), os substratos com pH abaixo de 5,0 podem causar deficiências de nutrientes como N, K, Ca, Mg e Br, por outro lado, as deficiências de F, Fe, Mn, Zn e Cu podem ocorrer naqueles com valores de pH acima de 6,5, comportamento não observado no presente trabalho.

TABELA 10. Valores de pH do solo cultivado com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE (0, 2, 4, 6 e 8%) e de PR (0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹) nos C1 e C2.

Doses de BLE (%)	Doses de PR (t ha ⁻¹)					Média
	0	1	3	5	7	
C1						
0	5,93 Aa	5,90 Aa	5,90 Aa	6,00 Aa	6,00 Aa	5,94 a
2	5,77 ABa	5,83 ABa	5,80 ABa	5,86 ABa	5,83 ABa	5,82 b
4	5,56 Cc	5,70 BCab	5,73 ABab	5,76 Ba	5,86 ABa	5,72 c
6	5,47 Cb	5,60 Cbc	5,80 ABa	5,80 Ba	5,76 Cab	5,68 c
8	5,63 BCa	5,66 BCa	5,70 Ba	5,73 Ba	5,70 Ca	5,68 c
Média	5,67 d	5,72 cd	5,78 bc	5,83 a	5,84 a	
CV (%)	1,33					
C2						
0	5,93 Aa	6,00 Aa	6,00 Aa	6,03 Aa	6,00 Aa	6,00 a
2	5,86 Aa	5,83 Ba	5,83 Ba	5,90 Aa	5,90 Aba	5,86 b
4	5,60 Ba	5,60 Ca	5,70 BCa	5,70 Ba	5,73 Ca	5,66 c
6	5,43 Cc	5,56 Cbc	5,70 BCab	5,73 Ba	5,80 BCa	5,64 c
8	5,60 Bb	5,60 Cb	5,66 Cab	5,73 Bab	5,76 BCa	5,67 c
Média	5,68 d	5,72 cd	5,78 bc	5,82 ab	5,84 4a	
CV (%)	1,11					

As letras maiúsculas iguais na coluna e minúscula na linha não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey. CV: Coeficiente de variação.

De maneira geral, a acidez potencial (H+Al) apresentou comportamento similar ao pH em função das doses de BLE e PR (Tabela 11). De maneira geral, houve aumento da acidez potencial com o aumento da dose de BLE e redução da propriedade com o aumento da dose de PR. Os valores de acidez potencial nas doses de 6 e 8% foram maiores em relação 0 e 2% de BLE em todas as doses de PR, tanto no C1 como em C2, com variação de 0% em relação a 8% de BLE, no C1, de 90,36, 69,36, 50,29, 47,44 e 55,21% e no C2 de 88,23, 76,13, 53,40, 59,09 e 65,64%, para as doses de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ de PR, respectivamente. Portanto uma maior variação ocorreu da dose de 0% em relação a 8% de BLE, variando de 1,66 cmol_c dm⁻³ até 3,16 cmol_c dm⁻³ no C1 e de 1,66 cmol_c dm⁻³ até 3,16 cmol_c dm⁻³ no C2, na dose de 0 t ha⁻¹ de PR (Tabela 11), mostrando relação com o aumento nos valores de pH (Pavinato e Roselem, 2008), saturação das bases, somas de bases e bases trocáveis (Embrapa, (1999).

O aumento da acidez potencial com a elevação das doses de BLE, de acordo com Almeida et al. (2022) associados à ação dos ácidos orgânicos presentes na MO do BLE, pode potencializar os efeitos positivos e aumentar a dissolução dos minerais presentes no PR, corrobora os resultados de Sousa e Figueiredo (2015) que também observaram aumento da acidez potencial em função dos aumentos das doses de BLE, sendo de 0 (2,42 cmol_c dm⁻³), 10 (2,92 cmol_c dm⁻³), 20 (2,40 cmol_c dm⁻³), 30 (2,55 cmol_c dm⁻³), 40 (2,32 cmol_c dm⁻³) e 50 g kg⁻¹

¹ de BLE (2,60 cmol_c dm⁻³) na cultura do rabanete, *Raphanus sativus* L. (cv. Crimson Giant). Esses resultados podem ser devido ao total de íons de H⁺ e Al³⁺ (Camargo, 2005) adsorvidos por forças eletrostáticas aos sítios de troca da argila ou MO (Prado, 2018).

Pacheco et al. (2024) destacam o tempo necessário para que mistura do biochar no solo se estabilize, melhorando a retenção de cátion e melhor resposta das plantas, chamado processo de maturação do biochar, como foi observado nos resultados de V em função das doses de BLE.

TABELA 11. Valores do (H+Al) (cmol_c dm⁻³) do solo cultivado com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ nos C1 e C2.

Doses de BLE (%)	Doses de PR				
	0	1	3	5	7
C1					
0	1,66 Ca	1,73 Ca	1,73 Ba	1,56 Ca	1,63 Ca
2	1,93 Ca	1,80 Ca	1,73 Ba	1,70 BCa	1,70 Ca
4	2,46 Ba	2,40 Bab	2,33 BCab	2,00 ABbc	1,83 BCb
6	2,86 ABa	2,63 ABab	2,16 Bc	2,16 Ac	2,26 ABbc
8	3,16 Aa	2,93 Aab	2,60 Abc	2,30 Ac	2,53 Abc
CV (%)	8,30				
C2					
0	1,70 Ca	1,76 Ba	1,76 Ca	1,76 Ba	1,63 Ba
2	1,90 Cab	2,03 Bab	2,16 BCa	1,83 Bab	1,70 Bb
4	2,66 Bab	2,96 Aa	2,36 ABb	2,36 Ab	2,33 Ab
6	3,10 ABa	3,00 Aa	2,66 Aab	2,70 Aab	2,33 Ab
8	3,20 Aa	3,10 Aab	2,70 Ab	2,80 Aab	2,70 Ab
CV (%)	8,16				

As letras maiúsculas iguais na coluna e minúscula na linha não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

A relação (H+Al)/CTC, apresentou tendência de elevação com o aumento das doses de BLE em todas as doses de PR. As elevações de 0% em relação a 8% de BLE no C1, foram de 20,01, 19,52, 20,70, 49,75 e 23,55%, já no C2 foram de 49,19, 32,95, 25,34, 35,27 e 36,95 %, respectivamente, para as doses de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ de PR, passando a relação (H+Al)/CTC de 22,06% (0%) para 28,16% (8%) no ciclo C1 e de 21,00% (0%) para 31,33% (8%) no ciclo C2 (Tabela 12).

Observa-se que houve variação significativa entre as doses de PR apenas quando do uso de 4 e 6% de BLE, nos C1 e C2, sendo menores nas doses de 5 e 7 t ha⁻¹. Ao mesmo tempo, a variação de 0 em relação a 7 t ha⁻¹ de PR, no C1, foi de 4,56, 3,55, 29,90, 23,21 e 8,43% e no C2 de 2,57, 10,14, 17,05, 24,76 e 10,75 %, respectivamente, para as doses de 0, 2, 4, 6 e 8% de BLE. Na presença de PR, a disponibilização de sais ao solo pode estar relacionada a ação de ácidos orgânicos produzidos pela própria microbiota do solo, principalmente fungos do gênero

Aspergillus, os quais tem a capacidade de acidificar o meio, desestabilizando os minerais presentes em rochas pouco solúveis, liberam nutrientes que podem ser mais rapidamente aproveitados pelas plantas (Lopes-Assad et al., 2006).

TABELA 12. Valores da razão entre (H+Al)/CTC (%) do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ nos C1 e C2.

Doses de BLE (%)	Doses de PR				
	0	1	3	5	7
C1					
0	22,06 Ca	23,56 Ba	23,33 Aa	18,63 Ca	21,06 Aa
2	24,50 BCa	23,70 Ba	23,76aAa	21,36 BCa	23,63 Aa
4	32,10 Aa	28,10 ABab	28,06 Aab	25,50 ABbc	22,50 Ac
6	32,43 Aa	32,40 Aa	23,30 Ab	25,96 ABb	24,90 Ab
8	28,46 ABa	28,16 ABa	28,16 Aa	27,90 Aa	26,03 Aa
CV (%)	9,37				
C2					
0	21,00 Ba	23,06 Ba	23,40 Ba	22,03 Ba	20,46 Ca
2	23,96 Bb	25,40 Ba	28,33 Aab	23,83 Bb	21,53 BCb
4	31,83 Aab	32,96 Aa	28,33 Abc	28,16 Abc	26,40 Aa
6	33,56 Aab	33,83 Aa	29,63 Abc	28,93 Acd	25,26 ABd
8	31,33 Aa	30,66 Aa	29,33 Aa	29,80 Aa	27,96 Aa
CV (%)	6,47				

As letras maiúsculas iguais na coluna e minúscula na linha não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey. CV: Coeficiente de variação.

Os valores médios dentro de cada fator, mostram que a razão de (H+Al)/CTC, no C1, nas doses de 4% (27,25%), 6% (27,80%) e 8% (27,74%) foram maiores que a 0% (21,73%) e 2% (23,39%) de BLE, e nas doses de 5 t ha⁻¹ (23,50%) e 7 t ha⁻¹ (24,11%) foram menores que a 0 t ha⁻¹ (27,85%) de PR (Tabela 13).

A razão (H+Al)/CTC nas doses de 4% (29,64%), 6% (30,24%) e 8% (29,82%) foram maiores em relação a 0% (21,99%) de BLE. Já para o PR, as doses de 0 t ha⁻¹ (28,34%), 1 t ha⁻¹ (29,18%) e 3 t ha⁻¹ (27,90%) foram menores em relação a 7 t ha⁻¹ (24,32%) (Tabela 13).

TABELA 13. Valores de médios (H+Al) do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ nos C1 e C2.

Doses de BLE (%)	(H+Al) (cmolc dm ⁻³)		(H+Al)/CTC	
	C1	C2	C1	C2
0	1,66 d	1,72 c	21,73 b	21,99 c
2	1,77 d	1,92 c	23,39 b	24,61 b
4	2,20 c	2,54 b	27,25 a	29,64 a
6	2,42 b	2,76 a	27,80 a	30,24 a
8	2,70 a	2,90 a	27,74 a	29,82 a
PR	***	***	***	***
Doses de PR (t ha⁻¹)				
0	2,42 a	2,51 ab	27,85 a	28,34 ab
1	2,30 a	2,57 a	27,13 ab	29,18 a
3	2,11 b	2,33 bc	25,32 bc	27,90 ab
5	1,94 b	2,29 c	23,50 c	26,55 b
7	1,99 b	2,14 c	24,11 c	24,32 c
PR	***	***	***	***

CV: Coeficiente de variação.

***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo. Prob: Probabilidade.

Observa-se que no C1, de maneira geral, houve elevação da MO com o aumento das doses de BLE em todas as doses de PR, sendo que o maior valor foi obtido em 8% de BLE para as doses de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹, respectivamente de 32,23, 31,00, 29,66, 31,00 e 33,66 g kg⁻¹ (Tabela 14) e incremento na dose de 8% em relação a 0% de BLE de 32,88, 40,91, 41,24, 55,00 e 46,35%, para as doses de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹, respectivamente. Esse resultado segundo Figueiredo et al. (2018) é decorrente da formação e retenção do MO, que reduz as taxas de decomposição, contribuindo assim para a estabilização e o acúmulo de C orgânico do solo.

No C2, os maiores valores médios (média de todas as doses) de MO foram verificados nas doses 6 e 8% de BLE (Tabela 14), de V em 0% de BLE e em 7 t ha⁻¹ de PR (Tabela 15), de P em 6 e 8% de BLE (Tabela 17) e na razão Ca⁺/Mg com 8% de BLE e 7 t ha⁻¹ de PR (Tabela 18). Por outro lado, o teor de MO e de P médios (média de todas as doses) não apresentaram variação significativa entre as doses de PR, sendo que para a MO variou de 24,80 g kg⁻¹ (7 t ha⁻¹) até 26,33 g kg⁻¹ (0 t a⁻¹) e o P de 34,86 mg dm⁻³ (7 t ha⁻¹) até 37,56 mg dm⁻³ (3 t ha⁻¹) no C2 (Tabela 14 e 16). Esse não aumento está relacionado ao fato que o PR não possui em sua composição teores de P e nem CO para proporcionar aumento dos teores de P e MO conforme o aumento da sua dose, ao contrário do que foi observado com o aumento da dose de BLE. Assim para que ocorra aumento significativo nos níveis de MO do solo é necessária a

incorporação de quantidades elevadas de material orgânico (Ernani e Gianello, 1983), fato ocorrido com a adição de BLE.

O acúmulo de MO é ao processo de humificação formando estruturas orgânicas mais complexas (Gascó et al., 2012), aumentando as concentrações dos nutrientes (Figueiredo et al., 2020; Ameen e Al-Homaidan., 2022).

De maneira geral, nas doses de 4, 6 e 8% de BLE, a concentração de MO se elevou, assim como a acidez do solo, que de acordo com Camargos (2005), em solo com maior concentração de MO, há maior concentração de íons H⁺ absorvidos nos grupamentos carboxílicos e fenólicos (acidez), de forma que, em pH acima de 6,0 ainda existe acidez ativa e acidez não-trocável, mas não acidez trocável ou nociva.

O aumento da FFA, FSA, MFR e MSR estão associados com o teor da MO e acidez do solo para o desenvolvimento da microbiota na rizosfera e crescimento do girassol ornamental.

TABELA 14. Valores de MO (g kg⁻¹) do solo cultivado com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ nos C1 e C2.

Doses de BLE (%)	Doses de PR (t ha ⁻¹)					Média
	0	1	3	5	7	
C1						
0	24,33 BCa	22,00 Ca	21,00 Ba	20,00 Da	23,00 Ba	22,06 c
2	23,00 Ca	24,66 BCa	23,00 BCa	25,66 BCa	22,00 Ba	23,66 bc
4	27,00 BCab	27,00 ABab	23,00 BCb	28,33 ABa	23,00 Bb	25,66 b
6	28,33 ABa	25,66 BCab	27,00 ABa	22,00 CDb	22,00 Bb	25,00 b
8	32,33 Aa	31,00 Aa	29,66 Aa	31,00 Aa	33,66 Aa	31,53 a
Média	27,00 a	26,06 ab	24,73 b	25,40 b	24,73 b	
CV (%)	8,05					
C2						
0	25,66 ABa	22,00 Ba	24,33 ABa	23,00 Aa	22,00 Ba	23,40 b
2	25,66 ABa	23,00 Ba	23,00 Ba	23,00 Aa	23,00 ABa	23,52 b
4	23,66 Ba	25,00 ABa	24,33 ABa	25,00 Aa	25,00 ABa	24,69 b
6	29,66 Aa	29,66 Aa	24,66 ABa	28,33 Aa	28,33 Aa	28,13 a
8	27,00 ABa	29,66 Aa	29,66 Aa	25,66 Aa	25,66 ABa	27,53 a
Média	26,33 a	25,6 a	25,20 a	25,00 a	24,80 a	
CV (%)	9,42					

As letras maiúsculas iguais na coluna e minúscula na linha não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey. CV: Coeficiente de variação.

De maneira geral, o valor V foi acima de 65% no C1 e C2, maiores aos recomendados para cultura de girassol que deve estar em torno de 50% em solos de Cerrado que são ricos em óxidos de Fe e de Al (Embrapa, 2005). Sendo a elevação de V especialmente devido aos teores

de Ca, Mg e K (Strojaki et al., 2013), nossos resultados são um excelente indicativo das condições gerais da fertilidade do solo (Chaves e Mendes, 2016).

O valor V médio (média de todas as doses) foi maior quando do uso de 0% (78,56 %) em relação a 4% (70,13%), 6% (69,60%) e 8% (70,20%) de BLE, houve maior saturação de bases quando do uso de PR com 7 t ha⁻¹ (75,66%) em relação 0 t ha⁻¹ (71,46 %) e 1 t ha⁻¹ (70,73 %) no C2 (Tabela 15).

Em todas as doses de PR, o valor V reduziu com aumento das doses de BLE, observando-se valores em 0% de BLE de 78,33, 76,00, 76,00, 81,00 e 78,66% e, em 8% de 72,33, 72,00, 72,00, 74,00 e 71,66%, ou seja, redução de 8,30, 5,56, 5,56, 9,46 e 9,77% entre 0 e 8% de BLE, respectivamente. Resultados semelhantes de redução também já foram relatados por Sousa e Figueiredo (2015) devido a diminuição de cátions trocáveis de caráter alcalinos, incluindo o Ca e Mg do BLE. Já para as doses de PR, o mesmo comportamento foi observado no efeito residual no final do C2, onde observou-se redução entre a 0% e 8% de BLE de 15,62,

11,54, 8,45, 11,90, 10,13 e 11,48%, para as doses de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹, respectivamente (Tabela 15), com redução significativa. De maneira geral, entre 0 e 2% de BLE em relação as doses de 4, 6 e 8% de BLE, tanto no C1 como no C2, que segundo a Embrapa (2010), na cultura do girassol obtêm-se boa produtividade quando a V está entre a faixa de 50 a 80% e pH de 6,0 e 6,5, que está de acordo com os resultados obtidos nesse estudo.

Na dose de 4% de BLE, 0 t ha⁻¹ de PR o valor V foi menor em relação a 5 e 7 t ha⁻¹, por sua vez, com 6% de BLE, 0 e 1 t ha⁻¹ foram menores em relação a 3, 5 e 7 t ha⁻¹ de PR no C1. Já em C2, 4, 6 e 8% de BLE foram menores que as doses de 0 e 2% nas doses de 3, 5 e 7 t ha⁻¹ de PR, ou seja, as maiores doses de PR elevaram V do solo, porém, não houve diferença nas demais doses de PR (Tabela 15). No caso da elevação do V, deve-se a aplicação do calcário no solo (Embrapa, 2010; Almeida et al., 2022, Vieira et al., 2023), bem como altos níveis de cátions básicos do PR, que, conseqüentemente, aumentam a fertilidade do solo (Almeida et al., 2019). Alovisi et al. (2021) também observaram resultados semelhantes na cultura da soja para o V nas diferentes doses de PR basalto de 62,24 (0 Mg ha⁻¹), 61,08 (2,5 Mg ha⁻¹), 59,49 (5,0 Mg ha⁻¹), 60,61 (7,5 Mg ha⁻¹) e 62,59 (10,5 Mg ha⁻¹).

Já Chaves e Mendes, (2016) concluíram que o solo misturado com biochar de cama de frango e PR MB-4 se torna eutrófico, portanto, considerado um solo fértil pelo uso de carbonato de cálcio (PRNT 100%), como aconteceu no presente trabalho.

TABELA 15. Valores de V do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de 0, 2, 4, 6 e 8% de BLE e 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ de PR nos C1 e C2.

Doses de BLE (%)	Doses de PR (t ha ⁻¹)					Média
	0	1	3	5	7	
C1						
0	78,33 Aa	76,00 Aa	76,00 Aa	81,00 Aa	78,66 Aa	78,00 a
2	74,66 ABa	75,33 Aa	75,66 Aa	78,00 ABa	76,00 ABa	75,93 a
4	67,66 Cc	72,00 ABbc	72,00 Abc	74,33 Bab	77,66 Aa	72,73 b
6	67,66 Cb	68,00 Bb	76,33 Aa	74,00 Ba	75,33 ABa	72,26 b
8	72,33 BCa	72,00 ABa	72,00 Aa	74,00 Ba	71,66 Ba	72,73 b
Média	72,13 b	72,66 b	74,40 ab	76,26 a	75,86 a	
CV (%)	3,24					
C2						
0	79,00 Aa	77,33 Aa	77,00 Aa	78,33 Aa	79,66 Aa	78,26 a
2	76,00 Aa	74,33 Aab	71,66 Bb	76,00 Aa	78,00 ABa	75,20 b
4	68,00 Bbc	66,66 Bc	70,66 Babc	71,66 Bab	73,66 Ca	70,13 c
6	66,00 Bc	66,00 Bc	70,33 Bb	71,00 Bab	74,66 BCa	69,60 c
8	68,33 Ba	69,33 Ba	71,00 Ba	70,00 Ba	72,33 Ca	70,20 c
Média	71,46 c	70,73 c	72,13 bc	73,40 b	75,66 a	
Var.	15,62	11,54	8,45	11,90	10,13	11,48
CV (%)	2,52					

As letras maiúsculas iguais na coluna e minúscula na linha não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey. CV: Coeficiente de variação. Var.: Variação de 0 a 8% de BLE em (%)

Os teores de P aumentaram no C1 conforme o aumentou das doses de BLE em todas as doses de PR, com incremento da dose de 0% para 8% de BLE, de 1483,25, 921,48, 1621,62, 1119,51 e 754,13%. Já ao final do C2 os incrementos foram de 2760,94, 2873,24, 3107,98, 2011,00, 2122,0 e 2505,56% para as doses de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ (Tabela 16), respectivamente, sendo variação muito maior ao final do C2. Nossos resultados demonstram que o P foi sendo liberado de maneira mais intensa no C2 que em relação ao C1, e esse aumento no teor P no solo foi devido à alta concentração desse nutriente no BLE. Esse alto teor de P no BLE é devido as perdas de C, H, O e N por volatilização durante o processo de pirólise, e portanto, a concentração de P é favorecida ao estar presente no LE, predominantemente, na fração inorgânica, que é mais resistente a perdas por volatilização (Sousa e Figueiredo, 2015).

Os teores de P médio (média de todas as doses) no C2 aumentaram na dose de 6% (68,00 mg dm⁻³) e de 8% (65,66 mg dm⁻³) em relação 0% (2,52 mg dm⁻³) de BLE, com variação entre 0 e 8% de BLE de 2.505,55% (Tabela 16). Comportamento semelhante de aumento entre tratamento de controle com a dose 16 t ha⁻¹ de biochar de 66,4% observado no trabalho de

Pacheco et al. (2024) e pela presença de microporos no biochar que funcionam como habitats que promovem o crescimento de microrganismos, o que aumenta a disponibilidade desse nutriente (Fischer e Glaser 2012).

Esses aumentos ocorreram em função da elevada presença deste nutriente no BLE, ficando no solo um residual disponível após o ciclo da cultura. Tebar et al. (2021) e Gonzaga et al. (2019) também observaram elevação do P no solo após o uso de BLE, ao mesmo tempo observaram aumento do pH do solo. Deenik e Cooney (2016) também observaram residual de P na dose de 2,5% de BLE com valor de P de 375 mg dm^{-3} após um ciclo do cultivo de milho e Zelaya et al. (2019) de $71,80 \text{ mg dm}^{-3}$ em doses de 5% de BLE após da produção de beterraba (*Beta vulgaris L.*).

Houve diminuição das concentrações de P em função das doses de PR em 3, 5 e 7 t ha^{-1} nas doses de BLE de 4 e 6% de BLE, mesmo comportamento foi observado por Alovisi et al. (2021), com $16,88 \text{ mg dm}^{-3}$ (0 Mg ha^{-1}), $18,14 \text{ mg dm}^{-3}$ ($2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$), $16,50 \text{ mg dm}^{-3}$ ($5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$), $15,66 \text{ mg dm}^{-3}$ ($7,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) e $17,04 \text{ mg dm}^{-3}$ ($10,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) na cultura da soja, e possivelmente, segundo a Embrapa (2010), à alta fixação de P nos coloides do solo pela acidez elevada, que apresentam cargas superficiais (negativas) que podem reter nutrientes (íons) de forma trocável. Para Camargos (2005), solo com pH na faixa 5,5 a 6,0 a assimilação do P pela planta é de 40 a 50%, bem como segundo a Embrapa (2005), onde a absorção do P aos minerais da fração argila e precipitação com cálcio, ferro e alumínio.

O teor de P quando do uso de 4% de BLE nas doses de PR de 1, 3, 5 e 7 t ha^{-1} houve menor aumento em comparação com 2, 6 e 8% de BLE entre C1 e C2. Assim, Lima et al. (2017) sugerem que o biochar também possui capacidade de retenção de ânions e que essa característica se intensifica com o tempo de contato com o solo ou pode também ter ocorrido a formação de compostos insolúveis.

Porém, as concentrações do P estiveram dentro do indicado pela Embrapa (2010), ou seja, $30 \text{ a } 80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ ($15 \text{ a } 40 \text{ mg dm}^{-3} \text{ P}_2\text{O}_5$) para garantir a reposição da exportação do mesmo pela cultura do girassol. Deve-se desatacar ainda que os solos tropicais ácidos apresentam as maiores taxas de fixação de P que, no entanto, são variáveis de acordo com a quantidade e a mineralogia da fração argila, sendo mais intensas naqueles com a predominância de óxidos de Fe e de Al (Raij, 1991).

Sousa e Figueiredo (2015) também observaram o mesmo comportamento e valores similares nos teores de P com aumento das doses de BLE: 0 ($0,39 \text{ mg kg}^{-1}$), 10 ($8,99 \text{ mg kg}^{-1}$), 20 ($24,87 \text{ mg kg}^{-1}$), 30 ($40,10 \text{ mg kg}^{-1}$), 40 ($57,20 \text{ mg kg}^{-1}$) e 50 ($100,31 \text{ mg kg}^{-1}$) após

da colheita do rabanete. Já no trabalho de Gonzaga et al. (2019), o aumento das doses de BLE de 0 (43,4 mg kg⁻¹), 30 (74,7 mg kg⁻¹) e 60 (97,8 mg kg⁻¹) t ha⁻¹ aumentaram os teores de P no solo após um ciclo da mostarda indiana (*Brassica juncea* L.), valores acima deste trabalho.

Considerando os resultados obtidos, e, comparando com outros trabalhos, é inerente que quando do uso de fertilizante químico, embora não tenha sido objeto deste estudo, estes são mais solúveis que o PR, portanto este último possui limitação para liberar os nutrientes mais facilmente ao solo, pois este necessita de mais tempo para a decomposição dos minerais e liberação destes de forma que fiquem disponíveis às plantas (Prates et al., 2012).

TABELA 16. Valores de (P Mehlich) (mg dm⁻³) do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ nos C1 e C2.

Doses de BLE (%)	Doses de PR (t ha ⁻¹)					Média
	0	1	3	5	7	
C1						
0	4,00 Da	6,33 Ba	3,33 Ca	5,33 Ca	8,00 Da	5,40 e
2	20,66 Ca	20,33 Ba	19,00 Ba	17,33 Ca	21,00 CDa	19,66 d
4	39,00 Bb	54,66 Aa	45,66 Aab	36,00 Bb	32,66 Cb	41,60 c
6	61,66 Aa	63,33 Aa	56,33 Aa	40,66 Bb	49,00 Bab	54,20 b
8	63,33 Aa	64,66 Aa	57,33 Aa	65,00 Aa	68,33 Aa	63,73 a
Média	37,73 ab	41,86 a	36,33 ab	32,86 b	35,80 ab	
Var.	1483,25	921,48	1621,62	1119,51	754,13	
CV (%)	16,65					
C2						
0	2,33 Ca	2,13 Da	2,13 Ca	3,00 Ca	3,00 Ca	2,52 d
2	20,00 Ba	20,00 Ca	22,00 Ba	22,00 Ba	18,33 Ba	20,4 c
4	28,33 Ba	25,66 Ca	25,33 Ba	25,66 Ba	21,33 Ba	25,26 b
6	68,33 Aab	75,00 Aa	70,00 Aab	61,66 Ab	65,00 Ab	68,00 a
8	66,66 Aa	63,33 Ba	68,33 Aa	63,33 Aa	66,66 Aa	65,66 a
Média	37,13 a	37,22 a	37,56 a	35,13 a	34,86 a	
Var.	2760,94	2873,24	3107,98	2011,00	2122,0	
CV (%)	10,53					

As letras maiúsculas iguais na coluna e minúscula na linha não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey. CV: Coeficiente de variação. Var.: Variação de 0 a 8% de BLE em (%)

Assim, o efeito do PR a curto prazo é limitado, podendo interferir na resposta das plantas. No entanto, também depende de outros fatores, dentre os principais destaca-se a umidade do solo ao longo do ciclo de cultivo, composição química inicial do solo – sendo que a qualidade inicial do solo baixa tende a resultar em efeito mais evidente se comparado ao

tratamento testemunha – tipo de rocha de origem, dose aplicada, tempo de contado com o solo, tipo de cultura, equilíbrio entre os sais presentes no solo e presença de ácidos orgânicos.

Observa-se que houve aumento da relação Ca/Mg, sendo maiores nas doses de 6 e 8% de BLE quando o uso de 0 t ha⁻¹ de PR, tanto no C1 como em C2 e de 8% de BLE nas doses de 1 e 3 t ha⁻¹ de PR no ciclo C1 e de 0, 2, 4, 6 e 8% de BLE nas doses de 5 e 7 t ha⁻¹ de PR no C2 (Tabela 17). De maneira geral, com aumento das doses de BLE também aumentou a relação Ca/Mg em todas as doses de PR, sendo assim, observa-se que o BLE é eficaz na manutenção dos teores de Ca e Mg no solo, conforme também relatado por Deenik e Cooney (2016).

O mesmo ocorreu com o aumento das doses de PR em relação às doses de BLE, porém de forma menos expressiva, ou seja, aumentos no C1 de 4,48, 3,58, 2,13, 8,55 e 0,48% e, assim como no C2 de 8,92, 6,23, 6,66, 7,42 e 1,43% entre 0 e 7 t ha⁻¹ de PR para as doses de 0, 2, 4, 6 e 8 % de BLE, respectivamente. Portanto, está variação é menor se comparado a 0% em relação a 8% de BLE que foram observadas no C1, sendo de 7,41, 15,01, 15,99, 4,89 e 3,30% e no C2 de 23,75, 20,31, 13,07, 16,31 e 11,96% para as doses de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ de PR, respectivamente (Tabela 17).

Na relação de Ca/Mg, os teores médios (média de todas as doses) foram iguais em 0% (6,12 cmol_c dm⁻³), 2% (5,81 cmol_c dm⁻³) e 4% de BLE (5,92 cmol_c dm⁻³) em relação a 8% (6,72 cmol_c dm⁻³) de BLE, com variação de 9,80%, já a dose de 7 t ha⁻¹ (6,48 cmol_c dm⁻³) foi maior em relação a 1 t ha⁻¹ (6,08 cmol_c dm⁻³) e 3 t ha⁻¹ (5,91 cmol_c dm⁻³) de PR, com variação de 5,19% no C2 (Tabela 17).

A exigência mínima de Ca/Mg é de 3,0 cmol_c dm⁻³ para a cultura do girassol (Embrapa, 2010), embora, estiveram dentro da exigência no C1 para o aproveitando máximo dos nutrientes, sendo assim, sem interferir na absorção do outro, bem como evita que ocorra desequilíbrio entre os nutrientes. Assim, pode-se inferir que as variações de acidez dos solos nos tratamentos com BLE interferiram nos valores da relação Ca/Mg nas diferentes doses de PR.

TABELA 17. Valores da relação razão (Ca/Mg) ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha^{-1} nos C1 e C2.

Doses de BLE (%)	Doses de PR (t ha^{-1})					Média
	0	1	3	5	7	
C1						
0	5,80 Aa	5,53 Ba	5,63 BCa	6,13 Aa	6,06 Aa	5,83 b
2	5,86 Aab	5,70 ABab	5,46 Cb	6,16 Aa	6,07 Aab	5,85 b
4	6,10 Bb	6,03 ABa	5,86 ABCa	6,17 Aa	6,23 Aa	5,88 b
6	6,20 Aab	6,05 ABb	6,23 ABab	6,23 Aab	6,73 Aa	6,29 a
8	6,23 Aa	6,36 Aa	6,53 Aa	6,43 Aa	6,26 Aa	6,56 a
Média	5,83 b	5,85 b	5,88 b	6,29 a	6,36 a	
CV (%)	4,87					
C2						
0	5,60Ba	5,76Ba	5,66Aa	5,76Aa	6,10Aa	5,78 c
2	5,93Ba	5,86Ba	5,73Aa	5,93BCa	6,30Aa	5,95 c
4	6,00Ba	5,90Ba	5,80Aa	6,26ABCa	6,40Aa	6,07 bc
6	6,33ABab	5,93Bb	6,13Aab	6,53ABab	6,80Aa	6,34 b
8	6,93Aa	6,93Aa	6,40Aa	6,70Aa	6,83Aa	6,76 a
Média	6,16 ab	6,08 b	5,94 b	6,24 ab	6,48 a	
CV (%)	5,27					

CV: Coeficiente de variação.

Os teores de Ca, Mg e K no solo sofreram pequenas variações nos tratamentos de BLE e PR (Tabela 18). Resultados semelhantes foram relatados por Chaves e Mendes (2016) nas diferentes doses de biochar de camada de frango e PR MB-4, submetidos à incubação por 100 dias. No presente estudo os teores destes cátions aumentaram em função da aplicação de doses crescentes de BLE e o PR diminuíram a acidez potencial dos solos em proporção maior do que o aumento dos teores dos cátions, já os valores da CTC diminuíram.

Houve aumento de Ca nas doses de BLE de 6 e 8%, sendo de $4,82 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no C1 e de $4,74$ e $5,19 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no C2, em relação a 2 e 4% de BLE, acima dos sugeridos como adequados no solo que é de $3,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Embrapa, 2005). Já as doses de PR não apresentaram diferença significativa no C1, sendo de $4,33 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (1 t ha^{-1}) até $4,72 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (5 t ha^{-1}). No C2 os valores foram iguais estatisticamente, sendo de $4,58$, $4,49$, $4,37$ e $4,70 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (0, 1, 3 e 5 de t ha^{-1}) em comparação aos $4,92 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (7 de t ha^{-1}), observando-se um CV de 10,25% (C1) e 5,50% (C2) (Tabela 18), valor similar ao obtido por Baldotto et al. (2007) na dose de $7,28 \text{ t ha}^{-1}$ de PR mármore com $4,00 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Assim, o aumento do Ca (Sousa e Figueiredo, 2015) geralmente está ligado à prática da calagem e a volatilização de C, H, O e N nas pirólises do LE, que aumenta a concentração desse nutriente no biochar.

Por sua vez, o K foi maior nas doses de 6 e 8% de BLE, com valores de 38,93 e 42,80 mg dm⁻³, respectivamente, em relação a 0 e 2% de BLE (27,46 e 22,93 mg dm⁻³) no C1, assim nas doses de 6 e 8% de BLE, os valores foram de 34,00 e 41,20 mg dm⁻³, respectivamente, em relação aos 17,73 mg dm⁻³ na dose de 0% de BLE no C2, ou seja, uma variação entre o menor e o maior valor de K de 86,66% (C1) e 132,37% (C2) (Tabela 18).

Portanto, os teores de K nas doses de 4, 6 e 8% de BLE e de 0, 1, 3, 5 e 7 de t ha⁻¹ de PR no C1 e de 6 e 8% de BLE e 5 e 7 de t ha⁻¹ de PR no C2 (Tabela 18) foram dentro do aceitável que é de 30 a 60 mg dm⁻³ (Embrapa, 2015). As elevações se devem as concentrações de íons H⁺, e a baixa concentração dos íons K⁺ adsorvido em seu complexo coloidal de troca do solo (Embrapa, 2010), bem como pelo aumento do número de cargas elétricas negativas do solo (Bortolanza e Klein, 2016; Gabriel et al., 2018), fazendo com que parte do K⁺ migre para as cargas negativas criadas (Ernani et al., 2007b).

Valor obtido por Zelaya et al. (2019) ao utilizar 5% de BLE foi de 23,40 mg dm⁻³, ou seja, inferior aos obtidos neste trabalho. Deenik e Cooney (2016) ao aplicar 2,5% v/v de BLE observaram valores de 285, 957 e 251 mg kg⁻¹ de K, Ca e Mg, respectivamente. Já Gonzaga et al. (2019), nas doses de 0, 30 e 60 t ha⁻¹ de BLE, observaram valores de K de 50,1, 59,4 e 19,9 mg kg⁻¹, respectivamente. Sousa e Figueiredo (2015) observaram valores de K inferiores a este trabalho nas doses 0, 10, 20, 30, 40 e 50 g kg⁻¹ de BLE, sendo de 18,00, 5,75, 13,00, 17,00, 19,50 e 34,25 mg kg⁻¹, respectivamente.

Uma possível explicação pode estar relacionada à maior absorção do K pelas plantas, levando a uma produção de matéria seca aérea e acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas (Almeida et al., 2022). Também pode ser devido ao alto teor de Ca no solo, que pode facilitar a lixiviação de K (Tammeorg et al., 2014).

TABELA 18. Valores médios de Ca e K do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ nos C1 e C2.

Doses de BLE (%)	Ca (cmol _c dm ⁻³)		K (mg dm ⁻³)	
	C1	C2	C1	C2
0	4,38 ab	4,46 c	27,46 bc	17,73 d
2	4,21 b	4,27 c	22,93 c	22,93 cd
4	4,29 b	4,40 c	34,66 ab	29,73 bc
6	4,82 a	4,74 b	38,93 a	34,00 ab
8	4,82 a	5,19 a	42,80 a	41,20 a
PR	**	***	***	***
Doses de PR (t ha ⁻¹)				
0	4,34 a	4,58 a	35,60 a	28,80 a
1	4,33 a	4,49 a	33,36 a	26,93 a
3	4,53 a	4,37 a	31,06 a	27,33 a
5	4,72 a	4,70 b	32,66 a	30,13 a
7	4,61 a	4,92 a	34,00 a	32,40 a
PR	ns	***	ns	ns
CV (%)	10,25	5,50	8,05	25,02

CV: Coeficiente de variação.

***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo. Prob: Probabilidade.

Já o Mg no C1 e no C2 e a relação Ca/Mg no C1 não apresentaram variação significativa entre as doses de BLE, com valores de Mg variando de 1,50 cmol_c dm⁻³ (2 e 4% de BLE) até 1,58 cmol_c dm⁻³ (0% de BLE) no C1. Já para o C2 os valores foram de 1,52 cmol_c dm⁻³ (4, 6 e 8% de BLE) até 1,66 cmol_c dm⁻³ (0% de BLE), acima de 1,0 cmol_c dm⁻³, indicado como adequados (Embrapa. 2015). Valores maiores a este trabalho foram obtidos por Zelaya et al. (2019), sendo de 9,3 cmol_c dm⁻³ ao utilizar 5% de BLE.

Assim, como no teor de Ca (Sousa e Figueiredo, 2015), a concentração de Mg no solo ácido, está relacionado na pratica da calagem, à pirólises do LE e alta absorção pela planta, como aconteceu nosso trabalho, com diminuição de Mg nas doses de 4, 6 e 8% de BLE do C2.

Por sua vez, a relação Ca/Mg variou de 2,81 (0%) até 3,15 (6% de BLE) no C1 e houve aumento de 3,17 e 3,43 nas doses de 6 e 8% de BLE em relação a 0% de BLE (2,70) (Tabela 21). Para Embrapa, (2005) há equilíbrio quando a relação Ca/Mg é > 3:1 para cultura do girassol, sendo que isso ocorreu nas doses de BLE de 6 e 8% no C1 e no C2, mas as demais ficaram em torno de 2,80, ou seja, próximo ao valor adequado. Assim, o suprimento de Mg e Ca em solos ácidos, está relacionado com a prática de calagem do solo (Sousa e Figueiredo, 2015) o que justifica os resultados deste trabalho (Tabela 19).

Observou-se que o Ca e K (Tabelas 18), Mg e a razão Ca/Mg (Tabelas 19) não apresentaram variação significativa entre as doses de PR, com valores de Ca de 4,33 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (1 t ha^{-1}) até 4,72 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (5 t ha^{-1}) no C1 e de 4,37 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (3 t ha^{-1}) até 4,92 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (7 t ha^{-1}) no C2.

Já o K variou de 31,06 mg dm^{-3} (3 t ha^{-1}) até 35,60 mg dm^{-3} (0 t ha^{-1}) no C1 e de 27,33 mg dm^{-3} (3 t ha^{-1}) até 32,40 mg dm^{-3} (7 t ha^{-1}) no C2. O Mg variou de 1,50 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (0 t ha^{-1}) até 1,58 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (3 t ha^{-1}) no C1 e de 1,50 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (5 t ha^{-1}) até 1,58 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (1 t ha^{-1}) no C2. Valor similar foi obtido por Baldotto et al. (2007) na dose 7,28 t ha^{-1} (1,63 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) de PR mármore. Já relação Ca/Mg variou de 2,86 (1 t ha^{-1}) até 3,10 (5 t ha^{-1}) no C1 e de 2,90 (1 t ha^{-1}) até 3,17 (5 e 7 t ha^{-1}) no C2 (Tabela 18 e 19). Segundo Almeida et al. (2022) pode estar relacionado os níveis de CaO e MgO presentes nos minerais que constituem a rocha, esse comportamento observado nesse trabalho se deve as concentrações de K_2O (2,7%), CaO (12,6%) e MgO (7,79%) no PR de origem micaxisto.

TABELA 19. Valores médios de Mg e relação Ca/Mg do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha^{-1} nos C1 e C2.

Doses de BLE (%)	Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)		Ca/Mg (adimensional)	
	C1	C2	C1	C2
0	1,58	1,66	2,81	2,70c
2	1,50	1,54	2,83	2,80bc
4	1,50	1,52	2,87	2,94bc
6	1,54	1,52	3,15	3,17ab
8	1,54	1,52	3,14	3,43a
PR	ns	ns	ns	***
Doses de PR (t ha^{-1})	Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)		Ca/Mg (adimensional)	
0	1,50	1,57	2,92	2,94
1	1,54	1,58	2,86	2,90
3	1,58	1,54	2,88	2,86
5	1,54	1,50	3,10	3,17
7	1,52	1,56	3,04	3,17
PR	ns	ns	ns	ns
CV (%)	10,83	10,90	14,94	12,86

CV: Coeficiente de variação.

***: $P < 0,001$; **: $P < 0,01$; *: $P < 0,05$; ns: Não significativo, Prob: Probabilidade.

Os valores de CTC no C1 foram maiores em 6% (8,95 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e 8% (8,95 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) de BLE em comparação com 0% (7,71 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), 2% (7,55 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e 4% (8,09 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$). Este mesmo comportamento foi observado no C2, sendo maiores em 6% (9,11 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e 8% (9,72 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) de BLE em comparação com a 0% (7,89 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e 2%

(7,79 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) (Tabela 20) com variação entre 0% e 8% de BLE de 16,08% (C1) e de 23,19% (C2). Aumento semelhante foi relatado por Pacheco et al. (2024) entre a dose 24 t ha^{-1} e dose de 10,4%. Já Balidakis et al. (2022) observaram na dose de 2% de BLE valor de 6,0 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ de CTC. Sousa e Figueiredo (2015) para as doses de 0, 10, 20, 30, 40 e 50 g kg^{-1} de BLE, observaram valores de 4,00, 5,10, 5,00, 5,27, 5,20 e 5,70 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, respectivamente, teores menores a este trabalho. No trabalho de Chaves e Mendes (2016) o uso biochar de camada de frango de resultou em 8,17, 7,94, 8,12 e 8,48 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, nas doses 0,240, 0,583, 0,920, 1,257 g kg^{-1} , respectivamente, ja em PR MB-4 de 8,18, 8,05, 8,43, 8,53 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ nas doses 0,240, 0,583, 0,920, 1,257 g kg^{-1} , respectivamente, como também ocorreu nesse trabalho.

Os valores de CTC obtidos, segundo Sousa e Figueiredo (2015) pode ser justificado pelo efeito da pirólise, que considera a concentração de cátions trocáveis, como Ca e Mg. Diversos estudos demonstraram aumentos nos níveis de fertilidade do solo com a aplicação de biochar de diversas matérias-primas e em diferentes culturas (Oram et al., 2014; Smider e Singh, 2014; Tammeorg et al., 2014), bem como reduções na concentração de alguns nutrientes, como P, Ca, Mg, K e micronutrientes (Smider e Singh 2014), assim que a variabilidade que existe no uso do BLE, deve-se a origem da matéria prima, o de contato com o solo, a temperatura usada na pirólise, e manejo na cultura e da água.

Os valores de CTC médios (médias de todos os tratamentos) não apresentaram variação significativa entre as doses de PR no C1, variando de 8,20 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (1 t ha^{-1}) até 8,30 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (3 t ha^{-1}), por outro lado, no C2 foram maiores, sendo de 8,74 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (0 t ha^{-1}) de 8,31 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (3 t ha^{-1}) (Tabela 20). Para Embrapa (2015) valores de CTC > 4,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ são considerados elevados para um equilíbrio de Ca, Mg e K em qualquer cultura, para que o excesso ou carência de um não afete a absorção de outro, desta forma, em todos os tratamentos foram maiores a este valor. Para Zorzona et al. (2016) isto explica o aumento da CTC pela matéria prima (lodo de esgoto) em pirólise de 300 °C.

Os teores médios (médias de todos os tratamentos) da razão entre Mg/CTC do C1, observou-se maiores valores em 0% (20,60) e 2% (19,81) em relação a 6% (17,23) e 8% de BLE (17,28), mesmo comportamento foi no C2, 0% (21,13) e 2% (19,66) foram maiores em relação a 6% (16,62) e 8% de BLE (15,69). Por sua vez, no C1 houve variação de 1,97% entre as doses 0 t ha^{-1} a 7 t ha^{-1} de PR.

Os valores médios (médias de todos os tratamentos) da razão entre K/CTC no C1 nas doses de 4% (1,10), 6% (1,12) e 8% (1,17) foram maiores em relação à dose de 2% (0,78) de BLE, com variação entre o 0% e 8% de BLE (valores médios tratamentos) de 50,0%. Nas doses

de 6% (0,96) e 8% (1,10) foram maiores em relação a de 0% (0,50) de BLE (Tabela 20). Por sua vez, no tratamento de PR não apresentaram diferença significativa quanto a CTC, mostrando uma variação de 22,36% entre 0 t ha⁻¹ e 7 t ha⁻¹ PR no C2 (Tabela 20). Para Almeida et al. (2022) o contato do PR com o solo, favorece a dissolução de cátions, a correção de acidez e elevação da CTC, como observado nesse trabalho.

TABELA 20. Valores médios da CTC, relação Mg/CTC e K/CTC do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8% e de PR de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ nos C1 e C2.

Doses de BLE (%)	CTC (cmol _c dm ⁻³)		Mg/CTC (%)		K/CTC (%)	
	Ciclos de cultivo					
	C1	C2	C1	C2	C1	C2
0	7,71 b	7,89d	20,60 a	21,13a	0,91 ab	0,50d
2	7,55 b	7,79d	19,81 a	19,66a	0,78 b	0,74c
4	8,09 b	8,53c	18,58 ab	17,79b	1,10 a	0,88bc
6	8,95 a	9,11b	17,23 b	16,62bc	1,12 a	0,96ab
8	8,95 a	9,72a	17,28 b	15,69c	1,17 a	1,10a
PR	***	***	***	***	**	***
Doses de PR (t ha ⁻¹)	C1	C2	C1	C2	C1	C2
0	8,24	8,74a	18,24	18,18	1,08	0,76
1	8,20	8,72ab	18,86	18,40	1,00	0,78
3	8,30	8,31b	19,14	18,64	0,94	0,83
5	8,29	8,57ab	18,67	17,61	1,0	0,89
7	8,22	8,72ab	18,60	18,08	1,04	0,93
PR	ns	*	ns	ns	ns	ns
CV (%)	6,62	4,57	10,78	9,54	29,47	20,85

CV: Coeficiente de variação.

***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo. Prob: Probabilidade.

No C2, a relação K/CTC, em valor absoluto se elevou com o aumento de todas as doses de BLE em todas as doses de PR, com elevações de 0% em relação a 8% de BLE de 62,26, 66,07, 139,13, 155,81 e 188,67 %, respectivamente, para as doses de 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ de PR (Tabela 21). Por sua vez, houve variação significativa das doses de 0 e 7 t ha⁻¹ de PR apenas nas doses de BLE de 8% de BLE. Observando-se variações das doses de 0 em relação a 7 t ha⁻¹ de PR de 0,00, 16,66, 8,13, 3,22 e 77,90 %, respectivamente para as doses de BLE de 0, 2, 4, 6 e 8%.

As variáveis Ca/CTC, Mg/CTC e K/CTC, de acordo com Embrapa (1984) foram dentro da faixa de 65, 10-15 e 5%, respectivamente, mantendo equilíbrio nutricional ótimo para o girassol.

TABELA 21. Valores de K/CTC (%) do solo dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de 0, 2, 4, 6 e 8% de BLE e 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ de PR nos C1 e C2.

Doses de BLE (%)	Doses de PR (t ha ⁻¹)					Média
	0	1	3	5	7	
C1						
0	1,36	0,76	0,70	0,86	0,86	0,93 ab
2	0,70	0,73	0,76	0,80	0,90	0,78 b
4	1,06	0,96	1,20	1,13	1,13	1,10 a
6	1,13	1,40	0,90	1,10	1,10	1,12 a
8	1,16	1,13	1,16	1,16	1,23	1,17 a
Média	1,08	1,00	0,94	1,01	1,04	
Var.	-14,71	48,68	65,71	34,88	43,02	
CV (%)	29,7					
C2						
0	0,53 Aa	0,56 Aa	0,46 Da	0,43 Ba	0,53 Ca	0,50 d
2	0,60 Aa	0,73 Aa	0,66 CDa	1,00 Aa	0,70 ABa	0,73 c
4	0,86 Aa	0,70 Aa	0,93 ABa	1,00 Aa	0,93 ABa	0,88 bc
6	0,93 Aa	0,96 Aa	1,00 ABa	0,93 Aa	0,96 Ba	0,96 ab
8	0,86 Ab	0,93 Ab	1,10 Ab	1,10 Ab	1,53 Aa	1,10 a
Média	0,76	0,78	0,83	0,89	0,93	
Var.	62,26	66,07	139,13	155,81	188,67	
CV (%)	29,47					

As letras maiúsculas iguais na coluna e minúscula na linha não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey. CV: Coeficiente de variação. Var.: Variação de 0 a 8% de BLE em (%)

Os valores médios de Ca/CTC com o uso de 5 (57,09%) e 7 t ha⁻¹ (56,06%) foram maiores na dose 1 t ha⁻¹ de PR (52,79), com variação de apenas 3,09% entre 0 e 7 t ha⁻¹ de PR, bem como um baixo valor de CV (4,91%). Já as doses de BLE não apresentaram diferença significativa, mas com valores absolutos variando de 53,86 (8% de BLE) até 56,39 (0% de BLE) no C1. Observou-se que no C2, a relação Ca/CTC foi maior em 0% de BLE (56,61) em comparação com 4% (51,40) e 6% (52,03), e, variação de 5,70% entre 0% e 8% de BLE (Tabela 22). Os valores observados, de acordo com Pacheco et al. (2024) estão ligados ao curto período de avaliação do biochar na interação com o solo, o que os agregados podem aumentar depois de algum tempo no solo.

Com o uso de 5 (54,92%) e 7 t ha⁻¹ (56,53%), a relação Ca/CTC foram maiores em relação a 0 (52,48%), 1 (51,52%) e 3 t ha⁻¹ (52,58%), e variação de 7,71% entre 0 e 7 t ha⁻¹ de PR (Tabela 24). Essa elevação de CTC que estiveram acima de 4,0 cmol_c dm⁻³, possibilitou a adesão desses nutrientes de Ca/CTC, Mg/CTC e K/CTC (Trazzi et al., 2018)), como foi observada quando do uso de BLE e PR.

Quando do uso de PR, é necessário identificar, de acordo com sua composição e solubilidade, as rochas mais eficazes em cada condição de solo e cultura, bem como os melhores

produtos a serem utilizados para melhorar as propriedades químicas do solo para um desenvolvimento adequado das plantas (Theodoro, 2017; Manning e Theodoro, 2020). Assim devem-se avaliar os PR para determinar sua distribuição granulométrica, teor de nutrientes, solubilidade e taxa de reação no solo mais adequada, bem como sua eficácia como alternativa aos fertilizantes solúveis (Beerling et al., 2018; Zhang et al., 2018; Aguilera et al., 2020).

TABELA 22. Valores médios da razão entre Ca/CTC do solo removido dos vasos de cultivo com girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright em função das doses de 0, 2, 4, 6 e 8% de BLE e 0, 1, 3, 5 e 7 t ha⁻¹ de PR nos C1 e C2.

Doses de BLE (%)	Ca/CTC (%)	
	C1	C2
0	56,39	56,61 a
2	55,48	54,62 b
4	54,62	51,40 d
6	54,83	52,03 cd
8	53,86	53,38 bc
BLE	ns	***
Doses de PR (t ha ⁻¹)		
0	54,90 ab	52,48 b
1	52,79 b	51,52 b
3	54,33 ab	52,58 b
5	57,09 a	54,92 a
7	56,06 a	56,53 a
PR	***	***
CV (%)	4,91	3,25

CV: Coeficiente de variação.

***: P<0,001; **:P<0,01; *: P<0,05; ns: Não significativo. Prob: Probabilidade.

Os parâmetros químicos do solo foram analisados, ainda, quanto a correlação de Pearson (p'), com a função de determinar a interdependência entre duas variáveis, atuando como método de verificação do grau de correlação entre as variáveis. Portanto, para valores mais próximos de zero, a correlação se mostra neutra, enquanto valores próximos de 1 e -1 são correlações mais fortes (Araújo et al., 2007). A p' pode ser classificada conforme preconizado por Callegari-Jacques (2003) em fraca para valores 0,00 < p' < 0,30 e forte para valores entre 0,60 ≤ p' < 0,90.

Segundo Furtado et al. (2002) as estimativas dos coeficientes de correlação são úteis no entendimento de um caráter complexo, como a produção, mas elas não determinam a importância relativa das influências diretas e indiretas dos outros caracteres com a produção. Isso por que a correlação entre duas características da química do solo, mede a associação entre ambas, portanto, não determina a relação de causa e efeito entre as diferentes variáveis nos tratamentos com uso de BLE o PR no desenvolvimento do girassol ornamental.

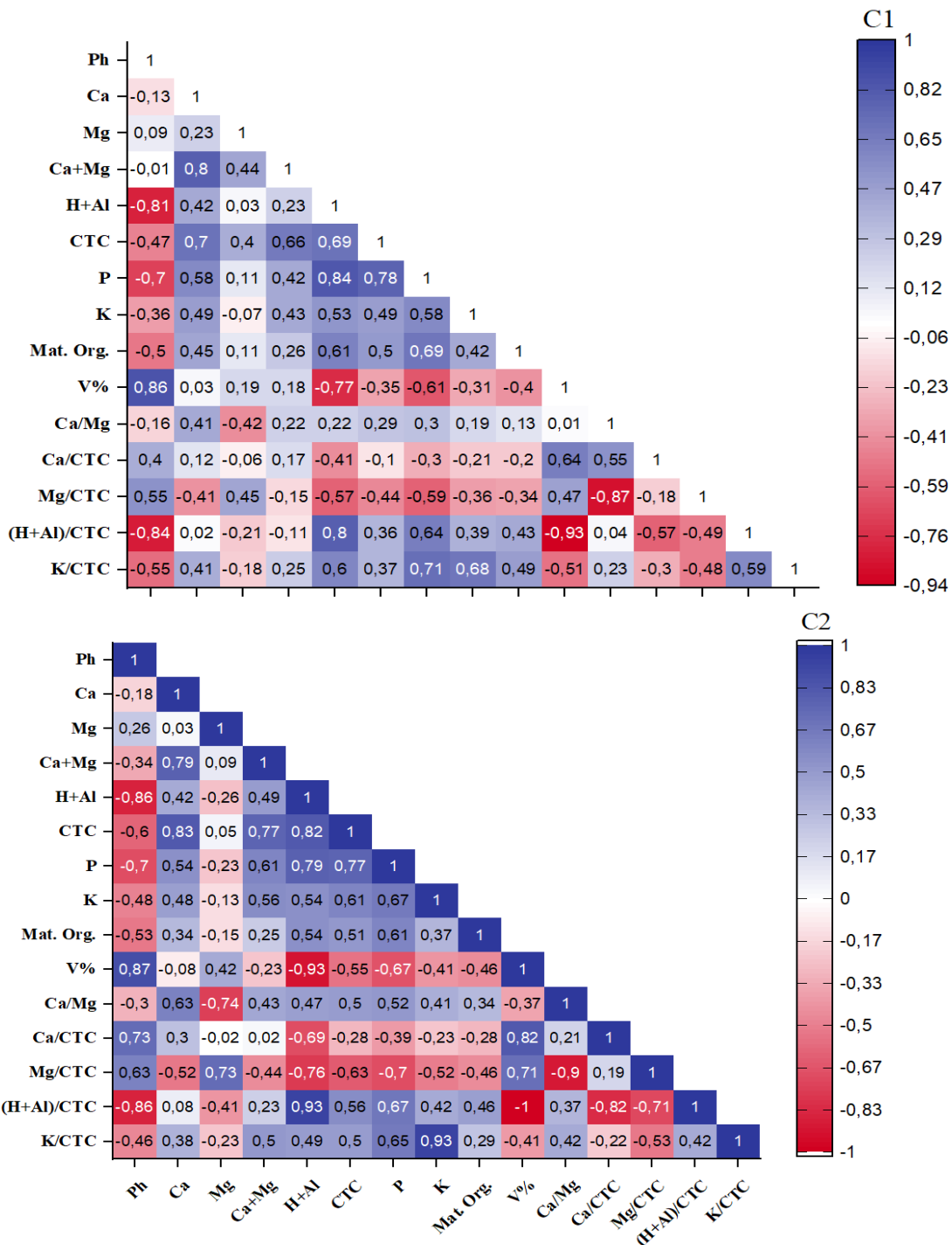
Na Tabela 25, no C1, observam-se que as correlações entre as variáveis da química do solo, que apresentam valores positivos e significativos em nível de 1% de probabilidade de erro, assim, a relação Ca+Mg teve correlação de 0,66 com CTC, o que significa um equilíbrio entre os demais cátions, a razão H+Al teve correlação forte K/CTC (0,60) e MO (0,61). O BLE e PR auxiliaram, portanto, na atividade microbiana, na absorção dos nutrientes nas raízes para o crescimento do girassol. O P apresentou correlação forte com (H+Al)/CTC (0,64) e MO (0,69), onde influenciou na taxas de crescimentos da planta quando do uso de BLE e PR. Já o K teve correlação forte com o K/CTC (0,68), onde a calagem permitiu aumentar a CTC e não afetou a absorção de Ca ou Mg. Houve V e da Ca/CTC (0,64).

Já no C2, pH teve correlação forte com Mg/CTC, sendo de 0,63, onde a acidez do solo ajudou no equilíbrio e absorção da raiz para formação de proteínas. O Ca também teve correlação forte com Ca/Mg (0,63), que tem dependência de equilíbrio com os demais cátions; Ca+Mg apresentam correlação forte com o P (0,61), talvez o P competiu com o cátion pelos sítios de absorção na membrana plasmática. Já CTC teve correlação forte com o K (0,61), onde, a relação entre elas permitiu a não lixiviação do K. O P apresentou correlação forte com K/CTC (0,65), (H+Al)/CTC (0,67), MO (0,61), K (0,67), podendo ter diminuído o afeito do deslocamento do K e a acidez do solo.

No C2, a correlação foi positiva do pH com Mg/CTC, Ca/CTC e V; Ca com Ca/Mg, CTC e Ca+Mg; Mg com Mg/CTC; Ca+Mg com P e CTC; H+Al com H+Al/CTC, P e CTC; CTC com K e P; P com K/CTC, H+Al/CTC, M.O. e, K. K com K/CTC; V com Mg/CTC e Ca/CTC, e correlação negativa de pH com H+Al/CTC, P, CTC e H+Al; Mg com Ca/Mg; H+Al com Mg/CTC, Ca/CTC e V; CTC com Mg/CTC; CTC com Mg/CTC e V; V com H+Al/CTC; Ca/Mg com Mg/CTC; Ca/CTC com H+Al/CTC; e, H+Al/CTC com H+Al/CTC (Figura 25).

Esses padrões de correlação foram em função das doses de BLE e PR, e analisando os dados orbitais das variáveis, observa-se, apesar de bons resultados (aumento dos sais) da análise da química no solo, assim os padrões de variação se expressaram mais fortes ou mais leve em todas as bandas do C1 ao C2, que se deve ao tempo de contato com o solo (cerca de 130 dias).

TABELA 23 - Correlação de Pearson's parâmetros do solo nos C1 e C2.



Segundo Johnson e Wichern (1998), considerando o modelo da análise de componentes principais, observa-se que 69,69% de variabilidade total dos dados foram explicados pelos componentes PC1 e PC2, onde 48,16% ocorre em PC1 e 21,53% em PC,2 tanto nas doses de

BLE com de PR no C1 (Figura 37A e 37B). No C2 foi de 79,51% de variabilidade total, em que 58,47% ocorre no PC1 e 21,04% no PC2 (Figura 38E e 38F).

Assim, no C1, nas doses de BLE e PR, os maiores valores de coeficientes em PC1 foram para Ca, Ca+Mg, CTC, P, Ca/CTC e H+Al/CTC, e em PC2 foi para o pH, Mg, H+Al, K, MO, V, Ca/Mg, Mg/CTC e K/CTC (Figura 37A e B).

No C2, no PC1, tanto nas doses de BLE como de PR, os maiores valores de coeficientes foram em Ca, Ca+Mg, CTC, P, Ca/CTC, MO e H+Al/CTC; no PC2 foi em pH, Mg, H+Al, K, V, Ca/Mg, Mg/CTC e K/CTC (Figura 38E e F).

As doses de BLE de 6 e 8%, no C1, apresentaram os maiores valores nas variáveis K, H+Al, Ca/Mg, Ca/CTC, H+Al/CTC, Ca+Mg e CTC; em 4% de BLE foi para o P, e em 0 e 2% de BLE foi o pH e Mg/CTC (Figura 37A). No C2, com 6 e 8% se observou maiores valores de K, H+Al, Ca/Mg, Ca/CTC, H+Al/CTC, Ca+Mg, Ca, P, MO e CTC, com 4% foi para MO e em 2% a razão Mg/CTC (Figura 38E).

Assim, ao analisar o Biplot CP1 x CP2 com as diferentes doses de BLE e PR, pode-se dizer que as doses de 2, 4, 6 e 8% de BLE influenciaram na fertilidade do solo e, também no desenvolvimento do girassol ornamental, tanto no C1 como no C2 (Figura 37C e G). Já na análise de PC2, as maiores associações foram entre 0 e 2% de BLE, e, em PC1, entre 6 e 8%, tanto no C1 como no C2, (Figura 36A e 36E). Por outro lado, o uso de PR mostrou influencia na química do solo com redução de pH e P, e aumento de V nas doses de 3, 5 e 7 t ha⁻¹ no C1 e C2. Já no C2 houve aumento de H+Al, (H+Al)/CTC, Ca/Mg, CTC, e diminuição nas concentrações de MO, K/CTC Ca/CTC (Figura 36B e F).

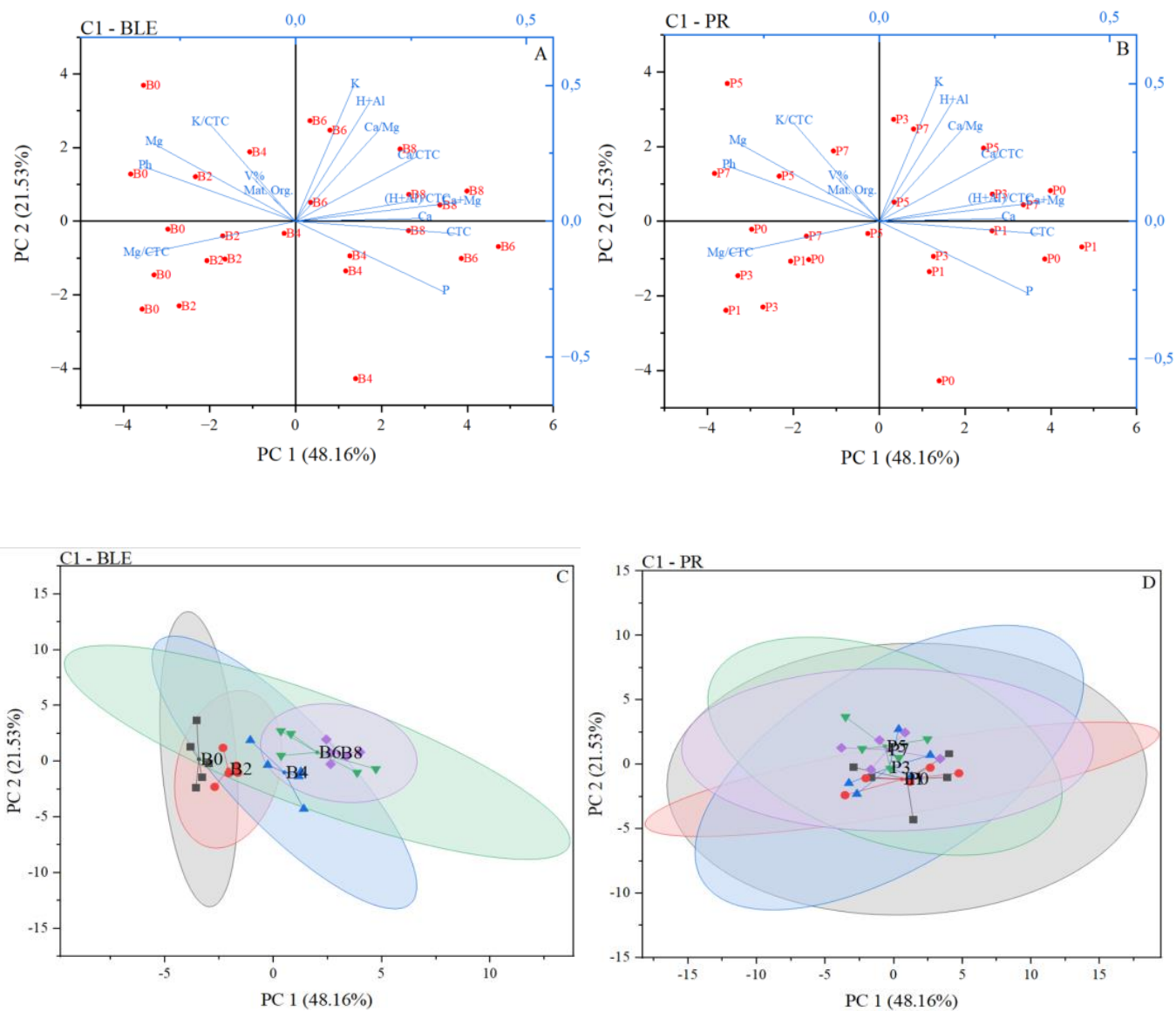


FIGURA 37. Análise biplot dos parâmetros do solo no C1.

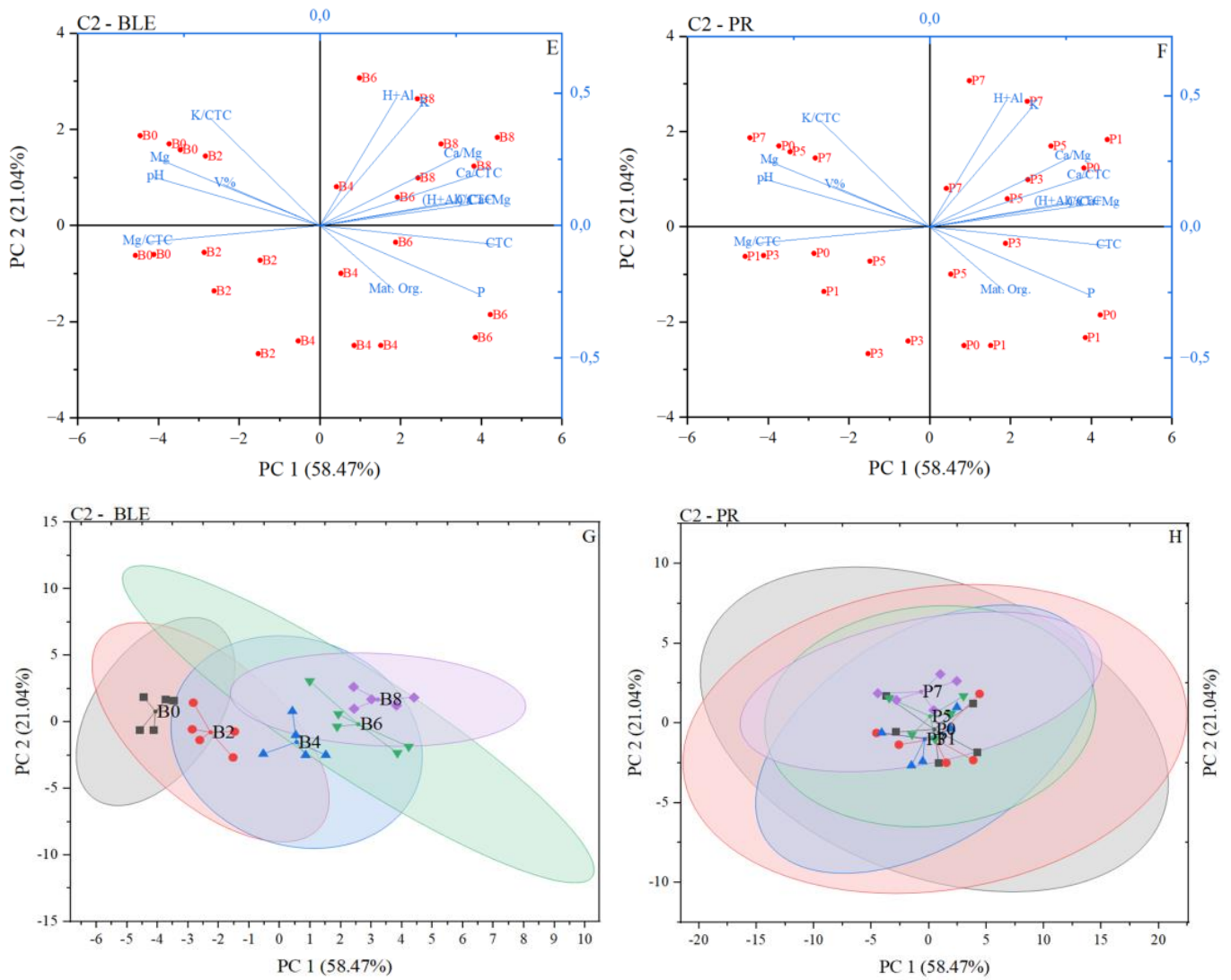


FIGURA 38. Análise biplot dos parâmetros do solo no C2.

6. CONCLUSÕES

As doses de BLE de 4, 6 e 8%, de modo geral, apresentaram melhor desempenho dos atributos morfológicos do girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright, porém a de 6% e 8% foram similares.

As doses de BLE de 6 e 8% BLE apresentaram maiores valores de AP e NF, bem como a DSF e DFC no C1 e C2, favorecido pela presença de N e P no BLE.

De maneira geral, os valores de AP e DC se elevaram de maneira mais intensa com o aumento das doses de BLE em comparação com o PR.

Para a grande maioria dos atributos morfológicos, a dose de 8% em relação ao 0% de BLE foi onde ocorreu as maiores variações, tanto no C1 como no C2.

Considerando a ACP da morfologia do girassol, todas as doses BLE influenciaram no desenvolvimento da planta de alguma maneira, enquanto que no uso de PR, as doses de 5 e 7 t ha⁻¹ apresentaram algum benefício, tanto no C1 e C2.

Os maiores coeficientes na ACP, foram em NF no C1, DC e MSR no C2 nas doses de BLE, e para as doses de PR foram em LF e AP, tanto no C1 e C2.

O PR de origem micaxisto foi uma fonte adicional de nutrientes, em que, a combinação com as diferentes doses de BLE alteraram os teores de nutrientes no solo cultivado com girassol ornamental.

A MO disponibilizada via BLE elevou a CTC que, conseqüentemente, forneceu a liberação dos nutrientes com o N, K e P para a solução do solo.

A acidez potencial do solo aumentou com elevação das doses de BLE e diminuiu com o aumento das doses de PR.

Para todas as doses de PR, independentemente do BLE, elevou os valores de pH, P, Ca/Mg, H⁺Al e (H⁺Al)/CTC, mesmo num curto período de tempo (dois ciclos de cultivo do girassol ou 170 dias), melhorando a fertilidade do solo nos dois ciclos de cultivo do girassol.

A tendência foi de aumentou da V nas doses de PR de 0 e 1 t ha⁻¹ e reduziu nas doses de 3, 5, e 7 t ha⁻¹ em todas as doses de BLE.

Tanto no C1 como em C2, a tendência do pH foi de manter-se estável com o aumento das doses de PR independente das doses de BLE, porém este último apresentou redução de pH com seu aumento para todas as doses de PR.

A interação ou sinergia do BLE com o PR apresentou influência no desempenho morfológico do girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbrightm, decorrente da ação dos ácidos orgânicos presentes na matéria orgânica do BLE, potencializando os efeitos positivos

pelo aumento da dissolução dos minerais presentes no PR, mais notadamente nas doses de 5 e 7 t ha⁻¹.

No C2 ocorreu maior disponibilização de nutrientes nos tratamentos com presença de PR em função da elevação do tempo de contato com o solo comparado ao C1, ao contrário, nas dosagens de BLE diminuíram de C1 para C2, demonstrando a possível necessidade de reposição de BLE de um ciclo para outro,

Em função da baixa solubilidade do PR de origem micaxisto, recomenda-se trabalhos com avaliações sucessivas em longo prazo dos atributos químicos do solo para melhorar a disponibilização dos nutrientes.

O BLE é uma alternativa promissora para aumentar a produção de culturas agrícolas, além de ser uma forma alternativa e segura de destino final dos resíduos sólidos das estações de tratamento de esgoto.

O BLE e PR mostraram ser uma alternativa viável para melhorar o desenvolvimento e qualidade das flores de girassol ornamental cultivar Sunflower Sunbright.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABDELAAL, A. K. A.; ATTIA, A. K.; ALAMERY, F. S.; EL-AFRY, M. M.; GHAZY, I. A.; TANTAWY, S. D.; AL-DOSS, A. A.; EL-SHAWY, E. E.; ABU-ELSAOUD, M. A.; HAFEZ, M. Y. Exogenous Application of Proline and Salicylic Acid can Mitigate the Injurious Impacts of Drought Stress on Barley Plants Associated with Physiological and Histological Characters. *Sustainability*. v.12, n.5, p.1-15, 2020 <https://doi.org/10.3390/su12051736>

AGUILERA, J. G.; ZUFFO, A. M.; RATKE, R. F.; TRENTO, A. C. S.; LIMA, R. E.; GRIS, G. A.; MORAIS, K. A. D.; SILVA, J. X.; MARTINS, W. C. Influencia de dosis de polvo de basalto sobre cultivares de soya. *Research, Society and Development*, v.9, n.7, p.1-21 2020 <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3974>

AKHTAR, S. S.; LI, G.; ANDERSEN, N. M.; LIU, F. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agri. Water Manag.* v.138, p.37-44, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.02.016>

ALBUQUERQUE, J.A.; BARRON, J. M. C.; CAMPILLO, J. T. M. C.; GALLARDO, A.; VILLAR, R. Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v.177, n.1, p.16-25, 2014. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200652>

ALBURQUERQUE, J. A.; CALERO, J. M.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; DEL CAMPILLO, M. C.; GALLARDO, A.; VILLAR, R. Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* n.177, p.16-25, 2014 <https://doi.org/10.1002/jpln.201200652>

ALMEIDA DE, J. A.; CUNHA, G. O. M.; HEBERLE, D. A.; MAFRA, A. L. Potential of olivine melilitite as a soil remineralizer according to particle size and rates. *Pesq. agropec. Bras.* v.57. p.1-15, 2022 <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.01445>

ALMEIDA DE, J. A.; SILVA DE, T. P.; CUNHA, G. O. M.; SPIDO, D. R.; SILVA, F. T. S. Atributos químicos, físicos e mineralógicos de solos derivados de rochas sedimentares do Planalto de Lages-SC, Brasil. *Rev. Bras. Cienc. Agrar., Recife.* v.14, n.3, p.1-12, 2019. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v14i3a6576>

ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; SMILJANIC, K. B. A.; MATOS, F. S. A.; PEREIRA, R. M.; FILHO, E. T. S.; CREMONESE, H. S.; MENDONÇA, A. F.; SANTOS DO, M. M.; SILVA DA. L. F.; BARBOSA, U. R.; MIRANDA, B. C.; SILVA, V. J. A. 9Fosfato natural reativo como remineralizador de solo utilizado na cultura da soja na região de Cerrado. *R. Conjecturas*, v.22, n.9, p.1-22, 2022 <https://doi.org/10.53660/CONJ-1288-X56>

ALOVISI, A. M. T.; RODRIGUES, R. B.; TEBAR, M. M.; TEBAR, M. M.; VILLALBA, L. A.; MUGLIA, G. R. P.; SOARES, M. S. P.; TOKURA, L. K.; CASSOL, C. J.; SILVA DA, R. S.; TOKURA, W. I.; GNING, A.; KAI, P. M. Uso do pó de rocha basáltica como fertilizante alternativo na cultura da soja. *Research, Society and Development*, v.10, n.6, p.1-12, 2021 <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15599>

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. v.22, n. 6, p.711-728, 2014. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

AMARAL DO, G. C.; BERTI, M. P. S.; SILVA DA, A. A.; JUNIOR, G. S. S.; CUSTÓDIO, J. P. C.; PEIXOTO, W. A. Características agronômicas da soja em função da adubação com pó de rocha e biofertilizante. *Revista Cultura Agronômica, Ilha Solteira*, v.29, n.4, p.437-447, 2020 <http://dx.doi.org/10.32929/2446-8355.2020v29n4p437-447>

AMEEN, F.; AL-HOMAIDAN, A. A.; Treatment of heavy metal-polluted sewage sludge using biochar amendments and vermistabilization. *Environ Monit Assess*, n.194, v.861, p.1-9, 2022 <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10559-x>

ANDRADE, L. GHEYI, H. R. DIAS, N. S. NOBRE, R. G. DIAS, E. M. S. Teor demacronutrientes em girassol ornamental sob doses de esterco e efluente doméstico. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.12, n.3, p.607-611, 2017 <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v12i3.4659>

ARAÚJO, R.; GOEDERT, J. W.; LACERDA, P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. *R. Bras. Ci. Solo*. n.31, v.5, p.1099-1108, 2007 <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500025>

ARNOTT, A.; GALAGEDARA, L.; THOMAS, R.; CHEEMA, M.; SOBZE, M. J. The potential of rock dust nanoparticles to improve seed germination and seedling vigor of native species: A review. *ELSEVIER, Science of the Environmental*. v.775, p. 1-12, 2021 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145139>

AZEVEDO, B. M.; VASCONCELOS, D. V.; DO BOMFIM, G. V.; VIANA, T. V. A.; DO NASCIMENTO NETO, J. R.; DE OLIVEIRA, K. M. A. S. Production and yield response factor of sunflower under different irrigation depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.20, n.5, p.427-433, 2016 <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n5p427-433>

BALDOTTO, M. A.; ASPIAZÚ, I.; SILVA DA, A. P.; CORRÊA, M. L. T.; VENEGAS, V. H. A. Potencialidade agronômica do resíduo de rochas ornamentais. Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia, Vitória, n.3, p.1-8, 2007

BALIDAKIS, A.; MATSI, T.; KARAGIANNI, A.; IPSILANTIS, I. Soil Application of Sewage Sludge Treated with Clay Minerals or Biochar and Its Effect on Soil Properties and White Clover's (*Trifolium repens* L.) Growth and Arbuscular Mycorrhizal Fungal Root Colonization. Appl. Sci. n.12, p.1-16, 2022 <https://doi.org/10.3390/app122211382>

BANWART, S, A.; NIKOLAIDIS, N. P.; ZHU, Y.; PEACOCK, C. L.; SPARKS, D. L. Soil Functions: Connecting Earth's Critical Zone. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. n.47, p.333-359, 2019 <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-063016-020544>

BARNI, N. A.; BERLATO, M. A.; SANTOS, A. O.; SARTORI, G. Análise de crescimento do girassol em resposta a cultivares, níveis de adubação e épocas de semeadura. PESQ. AGROP. GAÚCHA, Porto Alegre, v.1, n.2, p.167-184, 1995b <http://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/559>

BARROS, H. M. M.; GHEYI, H. R.; TRAVASSOS, K. D.; DIAS, N. S.; BARROS, M. K. L. V.; LEITE, M. S. Produção de girassol irrigado com água residuária sob Adubação inorgânica. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.12, nº.3, p.2604-2612, 2018 <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v12n300722>

BARROS, S. P. H.; PEREIRA, S. T. L.; LIMA, A. R. K.; MATOS, S. S.; LIMA, S. G. C. J.; JÚNIOR S. G. C.J. Produção de mudas de maracujazeiro sob lâminas e frequência de aplicação de solução nutritiva. Acta Tecnológica. v.16, n.1, p.135-146, 2021 <https://doi.org/10.35818/acta.v16i1.1040>

BASAK, B. B.; SARKAR, B.; SANDERSON, P.; NAIDU, R. Waste mineral powder supplies plant available potassium: Evaluation of chemical and biological interventions. J. Geochemical exploration. v.186, p.114-120, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.11.023>

BATISTA, E. M. C. C. Biochar como ligante macromolecular no solo visando aumentar a capacidade de retenção de água nos solos do nordeste do Brasil. Tese de Pós-Graduação em Química, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, 2018, p. 109-112 <https://siga.ufpr.br/siga/visitante/trabalhoConclusaoWS?idpessoal=8339&idprograma=40001016026P2&anobase=2018&idtc=1378>

BEERLING, D. J.; LEAKE, J. R.; LONG, S. P.; SCHOLE, J. D.; TON, J.; NELSON, P. N.; BIRD, M.; KANTZAS, E.; TAYLOR, L. L.; SARKAR, B.; KELLAND, M.; DELUCIA, E.; KANTOLA, I.; MÜLLER, C.; RAU, G. H.; HANSEN, J. Farming with crops and rocks to

address global climate, food and soil security. *Nature Plants*, v.4, p.138-147, 2018 <https://doi.org/10.1038/s41477-018-0108-y>

BENINCASA, M. M. P. *Análise de crescimento de plantas (noções básicas)*. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003, 41p.

BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T.; RODRIGUES, S. C. Relações entre potencial matricial no solo e cobertura vegetal em uma Estação experimental, Uberlândia-MG. *Soc. & Nat.*, Uberlândia, ano 24. n.1, p.103-114, 2012 <https://doi.org/10.1590/S1982-45132012000100009>

BINODH, A. K.; THANKAPPAN, S.; PARAMASIVAM, M. Screening of sunflower genotypes for reaction to *Alternaria* leaf blight disease across multi-environments using pooled analysis. *Plant Science Today*. v.10, n.3, p.68-74, 2023 <https://doi.org/10.14719/pst.2057>

BISCARO, G. A.; MACHADO, J. R.; TOSTA, M. S.; MENDONÇA, V.; SORATTO, R. P.; CARVALHO, L. A. Nitrogen side dressing fertilization in irrigated sunflower under conditions of Cassilândia-MS. *Ciênc agrotec.* n.32, n.5, p.366-1373, 2008 <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000500002>

BLUME, H.; BRUMMER, G. W.; FLEIGE, H.; HORN, R.; KANDELER, E.; KOGEL-KNABNER, I.; KRETZSCHMAR, R.; STARHR, K.; WILKE, B. (2016) *Scheffer/Schachtschabel Soil Science*. Springer, p1-611.

BOARETO, B.; SANTOS, F. R.; CARPINSKI, M.; JUNIOR, J. M.; BASSEGIO, D.; WAZILEWKKI, T. W. Manejo de irrigação de plantas energéticas - Girassol (*Helianthus annuus*). *Acta Iguazu, Cascavel.* v.1, n.1, p.48-58, 2012 <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v1i1.7028>

BORNO, M. L.; MULLER-STOVER, D. S.; LIU, F. Contrasting effects of biochar on phosphorus dynamics and bioavailability in different soil types. *ELSEVIER, Science of The Total Environment*. v.627, p.963-974, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.283>

BORTOLANZA, D.R.; KLEIN, V.A. Soil chemical and physical properties on an Inceptisol after liming (surface and incorporated) associated with gypsum application. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.40, p.1-13, 2016 <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150377>

BRASIL. (2016). Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016. *Diário Oficial da União, República Federativa do Brasil*, 10 e 11.

BRITO DE, R. S.; FERREIRA, J. B.; MOREIRA, J. G. V. Desenvolvimento inicial do milho em resposta a adubação complementar de rotação. *Scientific Electronic Archives*. v.16, n.5, p.1-16, 2023 <http://dx.doi.org/10.36560/16520231720>

BROUDER, M. S.; VOLENEC, J. J. Impact of climate change on crop nutrient and water use efficiencies. *Physiologia Plantarum*. v.133, n.4, p.705-724, 2008 <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01136.x>

BUSS, W.; SHEPHERD, J. G.; HEAL, K. V.; MASEK, O. Spatial and temporal microscale pH change at the soil-biochar interface. *ELSEVIER, Geoderma*. v.331, p.50-52, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.06.016>

CALLEGARI-JACQUES, S. M. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artemed, 255p, 2003.

CAMARGOS, S. L. Acidez do solo e calagem (reação do solo), Cuiabá – Universidade MT, 2005, p.3-4.

CAMPOS, V. B.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C. Floração de *Helianthus annuus* L. com adubação NPK e conteúdo de água disponível no solo. *J. Bioen. Food Sci.*, v.3, n.3, p.170-177, 2016 <http://dx.doi.org/10.18067/jbfs.v3i3.94>

CANUTO, C.; ANDRADE, D. S.; LIMA, E. M.; GOES, M. C. C.; ALMEIDA, M. M. V.; LIMA, J. R. S. Biochar e esterco bovino aumentam a eficiência no uso de água da alface. *Diversitas Journal*. v.4, n.3, p.1082-1091, 2019. <http://dx.doi.org/10.17648/diversitas-journal-v4i3.822>

CARVALHAIS, L. C.; FEDOSEYENKO, D. P. G.; HAIJIREZAI, M. R.; BORRIS, R. Root exudation of sugars, amino acids, and organic acids by maize as affected by nitrogen, phosphorous, potassium, iron deficiency. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, v.3, p.1-9, 2010 <https://doi.org/10.1002/jpln.201000085>

CARVALHO, D. R.; DO NASCIMENTO, P. G. M.; SILVA, M. G. O.; DE MESQUITA, H. C.; CUNHA, J. L. X. L. Comparação de métodos para estimativa da área foliar do *Myrciaria tenella* O. Berg. *R. Agropecuária Científica no Semiárido*. v.8, n.4, p.1-6, 2012 <file:///C:/Users/Usuario/OneDrive/Escritorio/tese/Artigos%20do%20girassol/Compara%C3%A7%C3%A3o%20de%20m%C3%A9todos%20para%20estimativa%20da%20%C3%A1rea%20foliar%20do%20Myrciaria%20tenella%20O.pdf>

CECHIN, I.; GONZALEZ, G. C.; CORNIANI, N.; FUMIS, T. F. The sensitivity of sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants to UV-B radiation is altered by nitrogen status. *Ciência Rural, Santa Maria*, v.48, n.2, p.1-6, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20170369>

CERNY, I.; VEVERKOVA, A.; MATYAS, M.; KOVAR, M. Evaluation of year weather conditions and hybrids impact on The sunflower (*helianthus annuus* l.) Achene yield and fat Content. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. v.2, n.1, p.1739-1747, 2013 <https://doi.org/10.1007/s10681-020-02743-2>

CHAVES, L. H. G.; MENDES, J. S. Interpretação das características químicas dos solos, submetidos à incubação com biocarvão e pó de rocha MB-4. Revista Espacios, v.37, n.30, p.18, 2016 <https://www.revistaespacios.com/a16v37n30/16373019.html#dos>

CHENG, N.; PENG, Y.; KONG, Y.; LI, J.; SUN, C. Combined effects of biochar addition and nitrogen fertilizer reduction on the rhizosphere metabolomics of maize (*Zea mays* L.) seedlings. Plant Soil. v.433, p.19-35, 2018 <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3811-6>

CHIARAMONTI, D.; PANOUTSOU, Policy measures for sustainable sunflower cropping in EU-MED marginal lands amended by biochar: case study in Tuscany, Italy. ELSEVIER, Biomass and Bioenergy. v.126, p.199-210, 2019 <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.04.021>

CHUN, Y.; SHENG, G.; CHIOU, C. T.; XING, B. Compositions and sorptive properties of crop residue-derived chars. Environmental Science and Technology, v.38, n.17, p.4649-4655, 2004 <https://doi.org/10.1021/es035034w>

COELHO, J. B. M.; BARROS, M. F. C.; NETO, E. B.; SOUZA DE, E. R. Ponto de murcha permanente fisiológico e potencial osmótico de feijão caupi cultivado em solos salinizados. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.18, n.7, p.708-713, 2014 <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000700006>

COMAS, H. L.; BECKER, R. S.; CRUZ, V. V. M.; BYRNE, F. P.; DIERIG, A. D. Root traits contributing to plant productivity under drought. Frontiers in Plant Science. v.4, p.1-16, 2013 <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00442>

CONNOR, D. J.; HALL, A. Sunflower physiology. In: SCHNEITER, A. A.; ed. Sunflower Technology and Production. Agronomy Monograph 35. Madison, WI: ASA, CSSA and SSSA. 1997, p.113-182. https://books.google.com.br/books?id=k9JcCgAAQBAJpeg=PA375elpg=PA375edq=Sunflower+physiology.+In:+Schneiter+AA,+ed.+Sunflower+Technology+and+Production.+Agronomy+Monograph+35.eseource=bleots=LetNWIK_Tsesig=ACfU3U0rbsUK71Yj-YFh9qY7uEYpquTfRQehl=pt-BResa=Xeved=2ahUKEwj604K_n4X0AhWmrJUCHX2yD54Q6AF6BAgTEAM#v=onepageeq=Sunflower%20physiology.%20In%3A%20Schneiter%20AA%2C%20ed.%20Sunflower%20Technology%20and%20Production.%20Agronomy%20Monograph%2035.ef=false

CRUZ, M. P.; SILVA, E. L. G.; SOUZA, J. T. A.; ANDRADE DE, L. O.; SILVA DA, H. G.; NUNES, J. C. Development and production of ornamental sunflower in function of use

cattle manure. Rev. Agro. Amb., v 12, n.2, p.575-590, 2019 <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n2p575-590>

CUSHION, E., A. WHITEMAN AND G. DIETERLE. 2010. Bioenergy development: issues and impacts for poverty and natural resource management, World Bank Publications.

DAHLIN, S. A.; RAMEZANIAN, A.; CAMBELL, D. C.; HILLER, S.; OBORN, I. Waste recovered by-products can increase growth of grass-clover mixtures in low fertility soils and alter botanical and mineral nutrient composition. Ann. Appl. Biol. v.166, n.1, p.105-117, 2015 <https://doi.org/10.1111/aab.12168>

DALCIN, G.; PICCOLI, L.; STRASSBURGER, A. S.; STRASSBURGER, K. S. Efeitos da Aplicação do Pó de Rocha em Argissolo sobre o Crescimento de Alface. XVII mostra de iniciação científica, pós graduação, pesquisa e extensão. UCS, p.1-9 2018 <http://dx.doi.org/10.18226/610001/MOSTRAXVIII.2018.75>

DANTAS, M. S. M.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA DA, M. M.; DANTAS, D. C. Growth and seed yield of sunflower on soil fertilized with cassava wastewater. Rev. Caatinga, Mossoró, v.30, n.4, p.963-970, 2017 <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252017v30n417rc>

DEBAEKE, P.; CASADEBAIG, P.; FLENET, F.; LANGLADE, N. Sunflower crop and climate change: vulnerability, adaptation, and mitigation potential from case-studies in Europe. OCL - Oilseeds and fats, Crops and Lipids, v.24, n.1, p.1-15, 2017 <https://doi.org/10.1051/ocl/2016052>

DEBEAKE, P.; CASADEBAING, P.; LANGLADE, N. B. New challenges for sunflower ideotyping in changing environments and more ecological cropping systems. OCL. n.29, n.23, p.1-23, 2021 <https://doi.org/10.1051/ocl/2021016>

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.F. ed. Nutrição Mineral de Plantas. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p.327-354.

DEENIK, J.; COONEY, M. J.; The Potential Benefits and Limitations of Corn Cob and Sewage Sludge Biochars in an Infertile Oxisol. J. Sustainability, n.8, v.131, P.1-18, 2016 <http://dx.doi.org/doi:10.3390/su8020131>

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. An Introduction to the Rock-Forming Minerals. (3rd ed.), The Mineralogical Society, London, 2013 <https://doi.org/10.1180/DHZ>

DONAGEMMA, G.K.; FREITAS, P.L.; BALIEIRO, F.C.; FONTANA, A.; SPERA, S.T.; LUMBRERAS, J.F.; VIANA, J.H.M.; ARAÚJO FILHO, J.C.; SANTOS, F.C.;

ALBUQUERQUE, M.R.; MACEDO, M.C.M.; TEIXEIRA, P.C.; AMARAL, A.J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de

DUARTE, J. R. M.; BASÍLIO, S. A.; SILVA DA, M. B.; VAZ, V.; PIRES, J. P. D.; BERTI, M. P. S. Produtividade e qualidade de sementes de feijão em resposta a fertilizante mineral, biofertilizante e pó de rocha. *Revista Cultura Agronômica, Ilha Solteira*. v.30, n.1, p.78-92, 2021 <http://dx.doi.org/10.32929/2446-8355.2021v30n1p78-92>

DURIGAN, M. F.B. Postharvest physiology and keeping quality Of gerbera cut flower. Doctorate's Dissertation, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal. 2009, 147p

DUTRA, C. C.; PRADO, E. A. F.; PAIM, L. R.; SCALON, S. P. Q. Development of sunflower plants under different conditions of water supply. *Semina: Ciências Agrárias*. v.33, n.6, p.2657-2667, 2012 <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n6Supl1p2657>

EMBRAPA, Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 8. Embrapa Monitoramento por Satélite Campinas, SP, 2010, .10-11.

EMBRAPA, EPIDEMIOLOGIA, 1536, Alteração na fotossíntese causada pela mancha de alternaria (*Alternaria helianthi*) em girassol, 2010b, p.1.

EMBRAPA, Girassol no Brasil. Embrapa Soja, Londrina, PR.,2005, p.321-340

EMBRAPA. A cultura do girassol. Centro Nacional do Pesquisa de Soja - CNPSo, Londrina, PR. 1996, p.11.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.

EMBRAPA. Girassol, Nutricional mineral e adubação. Circular técnica. 1984, p.5-33.

EMBRAPA. Guia prático para interpretação de resultados da análise de solo. 206, 2015. p.12.

EMBRAPA. Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do brasil. Embrapa Arroz e Feijão Santo Antônio de Goiás, GO, 1999, p.11

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF : Embrapa, 2017. 574 p.

ENDERS, A.; HANLEY, K.; WHITMAN, T.; JOSEPH, S.; LEHMANN, J. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *ELSEVIER, Bioresource Technology*. v.114, p.644-653, 2012 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.03.022>

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. 2.ed. Londrina, Andrei, 2004, 403p.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.393-402, 2007b <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000200022>

ERNANI, P. R.; GIANELLO, C. Diminuição do alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e cama de aviário. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.7, n.2, p.161-165, 1983 <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000300016>

EYLAND, D.; WESEMAEL, J. V.; LAWSON, T.; CARPENTIER, S. The impact of slow stomatal kinetics on photosynthesis and water use efficiency under fluctuating light. Plant Physiology. v.186, n.2, p.998-1012, 2021 <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab114>

FAGUNDES, J. D.; SANTIAGO, G. MELLO DE, A. M.; BELLE, R. A.; STRECK, N. A. Crescimento, desenvolvimento e retardamento da senescência foliar em girassol de vaso (*Helianthus annuus* L.): fontes e doses de nitrogênio. Ciência Rural, Santa Maria, v.37, n.4, p.987-993, 2007 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33137411>

FANG, Y.; SINGH, B.; KRULL, E. Biochar carbon stability in four contrasting soils. European Journal of Soil Science, v.65, n.1, p.60-71, 2014 <https://doi.org/10.1111/ejss.12094>

FARHANGI-ABRIZ, S.; TORABIAN, S. Antioxidant enzyme and osmotic adjustment changes in bean seedlings as affected by biochar under salt stress. ELSEVIER, Ecotoxicology and Environmental Safety. v.131, p. 64-70, 2017 <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.11.029>

FARIA, W. M.; FIGUEIREDO, C. C.; COSER, T. R.; VALE, A. T.; SCHNEIDER, B. G. Is sewage sludge biochar capable of replacing inorganic fertilizers for corn production? Evidence from a two-year field experiment. Archives of Agronomy and Soil Science, v.64, v.4, p.505-519, 2018 <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1360488>

FELIPPE, D.; NAVROSKI, M. C.; AGUIAR, S. N.; PEREIRA, O. M.; MORAES, C.; AMARAL, M. Crescimento, sobrevivência e trocas gasosas de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden submetidas a regimes de irrigação e aplicação de hidrogel. Revista Forestal Mesoamericana. v.17, n.40, p.11-20, 2020 <http://dx.doi.org/10.18845/v17i40.4902>

FERREIRA, D. F. Sisvar: sistema de análise de variância para dados balanceados. Versão 5.7 (Build 91), Lavras: DEX/UFLA. 2018.

FIGUEIREDO, C. C.; FARIAS, W. M.; MELO DE, B. A.; CHAGAS, J. K. M.; VALE, A. T.; COSER, T. R. Labile and stable pools of organic matter in soil amended with sewage sludge

biochar. Archives of Agronomy and Soil Science. v.65, n.6, p.1-27, 2018
<https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1524577>

FIGUEIREDO, C. C.; WICKERT, É. G.; NEVES, H. C. V.; COSER, T. R.; PAZ-FERREIRO, J. Sewage sludge biochar increases nitrogen fertilizer recovery: evidence from a 15N tracer field study. Soil Use and Management. v.37, n.4, p.689-697, 2020
<https://doi.org/10.1111/sum.12672>

FORTADO, G. F.; CHAVEZ, L. H. G.; SOUZA, L. P.; JUNIOR, J. R. S.; LIMA, G. S.; SOUSA, J. R. M. Índices fisiológicos do girassol em função da adubação com biocarvão e NPK. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.11, n.º.7, p. 1924 - 1933, 2017
<http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v11n700656>

FURTADO, M. R.; CRUZ, C. D.; CARDOSO, A. A.; COELHO, A. D. F.; PETERNELLI, L. A. Análise de trilha do rendimento do feijoeiro e seus componentes primários em monocultivo e em consórcio com a cultura do milho. Ciência Rural, Santa Maria, v.32, n.2, p.217-220, 2002 <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000200006>

FREITAS, M. S. C.; ARAÚJO, C. A. S.; SILVA, D. J. Decomposição e liberação de nutrientes de esterco em função da profundidade e do tempo de incorporação. Revista Semiárido de Visu, Petrolina, v. 2, n. 1, p.150-161, 2012b.

GABRIEL, C. A.; CASSOL, P. C.; SIMONETE, M. A.; MORO, L.; PFLEGER, P. MUMBACH, G. L. Lime and gypsum applications on soil chemical attributes and initial growth of eucalyptus. Floresta, v.48, n.4, p.573-582, 2018 <https://doi.org/10.5380/rf.v48i4.57455>

GADZO, D.; DIKIC, M.; MIJIC, A. Industrijsko bilje. Poljoprivredno- prehrambeni fakultet Univerziteta u Sarajevu. Bosna i Hercegovina. 2011. p.17-20.
<https://ppf.unsa.ba/uploads/ebiblioteka/INDUSTRIJSKO%20BILJE.pdf>

GALE, N. V.; HALIM, M. A.; HORSBURGH, M.; THOMAS, S. C. Comparative responses of early successional plants to charcoal soil amendments. J. Ecosphere. V.8, n. 10, p.1-18, 2017
<https://doi.org/10.1002/ecs2.1933>

GALE, N. V.; THOMAS, S. C. Dose-dependence of growth and ecophysiological responses of plants to biochar. Science of the Total Environment, v.658, p.1344-1354, 2019
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.239>

GASCÓ, G.; PAZ-FERREIRO, M. A.; MÉNDEZ, A. Thermal analysis of soil amended with sewage sludge and biochar from sewage sludge pyrolysis. J Therm Anal Calorim, v.108, p.769-775, 2012 <https://doi.org/10.1007/s10973-011-2116-2>

GITHINJI, L. Effect of biochar application rate on soil physical hydraulic properties of a sandy loam. Arch. Agron. Soil Sci. v.60, n.4, p.457-470, 2014
<https://doi.org/10.1080/03650340.2013.821698>

GOMES, D. R.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; GONÇALVES, E. O.; TRAZZI, P. A. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 123-131, 2013.

GONÇALVES, G. W.; JIMENEZ, L. R.; FILHO, A. J. V.; ASSIS, L. R.; SILVA, P. G.; PIRES, R. F. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. *Engenharia de Água e Solo • Eng. Agríc.* v.26, n.1, p.67-75, 2006 <https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000100008>

GONÇALVES, K. S.; BISPO, G. A.; BANDEIRA, S. S.; CHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S. Growth and production of ornamental sunflower irrigated with dilutions of treated domestic sewage. *Biosci. J., Uberlândia*, v.36, n.5, p.1535-1543, 2020 <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v36n5a2020-39563>

GONDIM, R. S.; MUNIZ, C. R.; LIMA, C. E. P.; SANTOS, C. L. A. Explaining the water-holding capacity of biochar by scanning electron microscope images. *Rev. Caatinga, Mossoró*, v.31, n.4, p.972-979, 2018 <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n420rc>

GONZAGA, M. I. S.; MACKOWIAL, C.; ALMEIDA DE, A. Q.; JÚNIOR, J. I. C. Sewage sludge derived biochar and its effect on the growth and morphological traits of eucalyptus grandis w.hill ex maiden seedlings. *Ciência Florestal, Santa Maria*, v. 28, n.2, p. 687-695, 2018 <http://dx.doi.org/10.5902/1980509832067>

GONZAGA, M. I. S.; SOUZA, D. C. F.; SANTOS, J. C. J. Use of organic waste biochar as an innovative alternative for increasing agricultural productivity in small rural communities. *Research, Society and Development*, v.10, n.4, p.1-11, 2021 <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13848>

GONZAGA, M. S. I.; SOUZA DE, D. C. F.; ALMEIDA DE, A. Q.; MACKOWIAK, C.; LIMA, I. S.; SANTOS, J. C. J.; ANDRADE DE, R. S. Nitrogen and phosphorus uptake efficiency in Indian mustard cultivated during three growth cycles in a copper contaminated soil treated with biochar. *Ciência Rural, Santa Maria*, v.49, n.01, 2019 <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20170592>

GOU, L.; BORNO, M. L.; NIU, W.; LIU, F. Biochar amendment improves shoot biomass of tomato seedlings and sustains water relations and leaf gas exchange rates under diferente irrigation and nitrogen regimes. *ELSEVIER, Agriculture Water Management*. 2020 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106580>

GOU, S.; ZOU, Y.; ZHANG, Y.; WU, C.; SU, W.; JIN, W.; YU, H.; NA, Y.; LI, Q. Large-scale transcriptome comparison of sunflower genes responsive to *Verticillium dahliae*. *BMC, Genomics*. v.18, n.42, p.1-17, 2017 <https://doi.org/10.1186/s12864-016-3386-7>

GRAY, M.; JOHNSON, M. G.; DRAGILA, M. I.; KLEBER, M. Water uptake in biochars: The roles of porosity and hydrophobicity. *Biomass and Bioenergy*, v. 61, p.196-205, 2014 <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.12.010>

GRUBA, P.; MULDER, J. Relationship between Aluminum in Soils and Soil Water in Mineral Horizons of a Range of Acid Forest Soils. *Soil Science Society of America Journal*. v.72, n.4, p.1150-1157, 2008 <https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0041>

GUIMARÃES, RAFAELA, F. B.; JÚNIOR, S. O. M.; LIMA DE, R. F.; SOUZA DE, A. R.; ANDRADE DE, J. R.; NASCIMENTO DO, R. Growth and physiology of ornamental sunflower under salinity in function of paclobutrazol application methods. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.25, n.12, p.853-861, 2021 <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n12p853-861>

GUL, S. R. M.; SAJID, M.; RAUF, S.; MUNIR, H.; SHEHZAD, M.; HAIDER, W. Evaluation of drought-tolerant sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in autumn and spring planting under semi-arid rainfed conditions. *J. OCL*. v.28, n.24, p.1-12, 2021 <https://doi.org/10.1051/ocl/2021012>

GUL, S.; WHALEN, J.; THOMAS, B. W.; SACHDEVA, V.; DENG, H. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions. *ELSEVIER, Agriculture, Ecosystems & Environment*. v.206, p.46-59, 2015 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.015>

GWENZI, W.; MUZAVA, M.; MAPANDA, F.; TAURO, T. P. Comparative short-term effects of sewage sludge and its biochar on soil properties, maize growth and uptake of nutrients on a tropical clay soil in Zimbabwe. *Journal of Integrative Agriculture*. v.15, p.1395-1406, 2016 [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61154-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61154-6)

HAFEEZ, Y.; IQBAL, S.; JABEEN, SHAHZAD, S.; JAHAM, S.; RASUL. Effect of biochar application on seed germination and seedling Growth of glycine max (l.) Merr. Under drought stress. *Pak. J. Bot.* v.49, p.7-13, 2017 https://www.researchgate.net/profile/Summera-Jahan/publication/318032647_Effect_of_biochar_on_seed_germination_and_seedling_growth_of_Glycine_max_L_MERR_Under_drought_stress/links/5955eb19a6fdcc2569d88501/Effect-of-biochar-on-seed-germination-and-seedling-growth-of-Glycine-max-L-MERR-Under-drought-stress.pdf

HANISCH, A. L.; FONSECA DA, J. A.; JUNIOR, A. A. B.; SPAGNOLLO, E. Efeito de pó de basalto no solo e em culturas anuais durante quatro safras, em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*, v.3, n.2., p.100-107, 2013 <https://doi.org/10.21206/rbas.v3i2.224>

HASANVANDI, M. S.; AYNEHBAND, A.; RAFIEE, M.; MOJAD-AM, M.; RASEKH, A. Effects of supplemental irrigation and super absorbent polymer on yield and seed quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under dry-farming conditions. *Bull Env Pharmacol Life Sci*, v.3, n.12, p.174-185, 2014 http://www.bepls.com/nov_2014/27f.pdf

HERATH, S.; ARBESTAIN, M. C.; HEDLEY, M. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: An Alfisol and an Andisol. *ELSEVIER, Geoderma*. v.209-210, p.188-197, 2013 <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.06.016>

HILL, J. H.; IMMADI, U. S. Evaluation of staygreen sunflower lines and their hybrids for yield under drought conditions. *De Gruyter, J. Helia*. v.44, n.74, p.15-41, 2021 <https://doi.org/10.1515/helia-2020-0001>

HWAIDI, M. I.; Effect of sowing date and abscisic acid on sunflower growth, seed yield and germination. *Kirkuk University Journal for Agricultural Sciences*, v.14, n.1, p.106-115, 2023 <https://doi.org/10.58928/ku23.14109>

IBRAFLOR - Instituto Brasileiro de Floricultural. O mercado de flores no Brasil. Recuperado em 18 dez. 2021, de: <https://www.ibraflor.com.br/_files/ugd/b3d028_2ca7dd85f28f4add9c4eda570adc369f.pdf>.

IQRASAN; QAYYUN, A.; KHAN, S. U.; KHAN, S. A.; MEHMOOD, A.; BIBI, Y.; SHER, A.; KHAN, H.; JENKS, M. A. Sunflower (*Helianthus annuus*) hybrids evaluation for oil quality and yield attributes under spring planting conditions of haripur, Pakistan. v.35, p.1-6, 2017 <https://doi.10.1590/S0100-83582017350100003>

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. Applied multivariate statistical analysis. 6aed. New jersey: Pearson prentice hall, 1998, p.433

JONES, B. E. H.; HAYNES, R. J.; PHILLIPS, I. R. Effect of amendment of bauxite processing sand with organic materials on its chemical, physical and microbial properties. *Journal of Environmental Management* 91 (11), 2281-2288, 2010 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.06.013>

JORGE, Y.; GONZÁLEZ, F. Estimación del área foliar en los cultivos de ají y tomate. *Agrotecnia de Cuba, Havana*, v.27, n.1, p.123-126, 1997.

JÚNIOR F. K. S.; DIAS, M. S.; PEREIRA, A. C.; ALMEIDA, S. R.; CAIXETA, E. A. Potencial do Fosbio® para construção dos níveis de fósforo e boro em sistema de produção. *Research, Society and Development*, v.13, n.1, p.1-12, 2024 <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v13i1.44741>

JUNIOR, C. D. C.; PIMENTA, A. S.; SOUSA, A. K.; JUNIOR, A. F. D. Uso agrícola e florestal do biochar: estado da arte e futuras pesquisas. Research, Society and Development, v.11, n.2, p.1-22, 2022 <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25999>

JÚNIOR, J. J. A.; SOUZA, A. I.; ALMEIDA, É. V.; CARNEIRO, A. O.T.; SANTOS, L. J. S.; GARCIA, C. E.; BASTO, R. J. M. M.; FERREIRA, D. V.; SILVA, V. J. A.; MIRANDA, B. C.; SILVA, D. S. Milho implantado em segunda safra no centro-oeste do Brasil com utilização do remineralizador micaxisto. Brazilian Journal of Development, n.8, v.4, p.29669-29680, 2022 <https://doi.org/10.34117/bjdv8n4-452>

JUNIOR, S. O. M.; ANDRADE DE, J. R.; ARAÚJO DE, D. L.; SOUSA, J. S.; MEDEIROS, I. F. S. Taxas de crescimento de cultivares de girassol sob diferentes regimes hídricos. Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil), v. 8, n.3, p.150-155, 2013 [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-TaxasDeCrescimentoDeCultivaresDeGirassolSobDiferen-7397605%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-TaxasDeCrescimentoDeCultivaresDeGirassolSobDiferen-7397605%20(3).pdf)

KAHROBAIYAN. M.; NEMATI, S. H.; RAHEMI, M.; KHOLDEBARIN, B.; TEHRANIFA, A. Morphological responses of ornamental sunflower to putrescine treatment under drought conditions. Appl Ecol Environ Sci. v.17, p.6117-6127, 2019 http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1703_61176127

KALYAR, T.; RAUF, S.; SILVA, T. J. A.; SHAHZAD, M. Handling sunflower (*Helianthus annuus* L.) populations under heat stress. Archives of Agronomy and Soil Science. v.60, n.5, p.655-672, 2014 <https://doi.org/10.1080/03650340.2013.799276>

KAMEYAMA, K.; MIYAMOTO, T.; SHIONO, T.; SHINOBI, Y. Influence of Sugarcane Bagasse-derived Biochar Application on Nitrate Leaching in Calcaric Dark Red Soil. Journal of Environmental Quality. v41, n.4, p.1131-1137, 2012 <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0453>

KAYS, S. J. 1991. Postharvest physiology of perishable plant products. New York: An Avi Book. 532 p.

KEPKA, W.; ANTONKIEWCZ, J.; JASIEWICZ, C.; GAMBUS, F.; WITKOWICZ, R. The effect of municipal sewage sludge on the chemical composition of spring barley. Soil science annual, v.67, n.3, p.124-130, 2016 <https://doi.org/10.1515/ssa-2016-0015>

KHALID, H.; ZAHOOR, M. K.; RIAZ, D.; ARSHAD, M.; YAQOOD, R.; RANIAN K. Sewage Sludge-Induced Effect on Growth, Enzyme Inhibition, and Genotoxicity can be Ameliorated Using Wheat Straw and Biochar in *Pheretima posthuma* Earthworms, Frontiers in Environmental Science, v.10, n.1, p.1-12, 2022 <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.888394>

KHAN, A.; ANWAR, Y.; HASAN, M. M.; IQBAL, A.; ALI, M.; ALHARBY, F. H.; HAKEEM, R. K.; HASANUZZAMAN, M. Attenuation of Drought Stress in Brassica

Seedlings with Exogenous Application of Ca²⁺ and H₂O₂. J. Plants. v.6, n.2, 2017a <https://doi.org/10.3390/plants6020020>

KHAN, M.; RAUF, S.; MUNIR, H.; KAUSAR, M.; HUSSAIN, M. M.; ASHRAF, E. Evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) single cross hybrids under heat stress condition. Archives of agronomy and soil science. v.63, n.4, p.525-535, 2017b <https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1224335>

KLEIN, Z. H. L. Alteração nos atributos químicos do solo após aplicação de pó de basalto como remineralizador. 2020, 56f. Dissertação (mestrado em Agroecologia) - Universidade Estadual de Maringá, 2020, Maringá, PR.

KORCHAGIN, J., CANER, L., BORTOLUZZI, E. C. Variability of amethyst mining waste: A mineralogical and geochemical approach to evaluate the potential use in agriculture. Journal of Cleaner Production. v.210, p.749-758, 2019 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.039>

KOUTROUBAS, S. D.; ANTONIADIS, V.; FOTIADIS, S.; DAMALAS, C. A. Growth, grain yield and nitrogen use efficiency of Mediterranean wheat in soils amended with municipal sewage sludge. Nutr Cycl Agroecosyst (2014) v.100, p.227-243, 2014 <https://doi.org/10.1007/s10705-014-9641-x>

LAJUS, C. R.; LUZ DA, G. L.; SILVA DA, C. G.; DALCANTON, F.; BARICHELLO, R.; SAUER, A. V. PIAIA, T. A.; PIVA, A. J. D. Aspectos qualitativos e quantitativos de variedades de alface submetidas a concentrações de pó de rocha em cultivo orgânico. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.5, p.49498-49512, 2021 <https://doi.org/10.34117/bjdv7n5-379>

LANGEROODI, A. R.; MANCINELLI, R.; RADICETTI, E. Contribution of biochar and arbuscular mycorrhizal fungi to sustainable cultivation of sunflower under semi-arid environment. ELSEVIER, Field Crops Research. v.273, p.1-8, 2021 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108292>

LAURENTINO, L. G. S.; CHAVES, L. H. G.; CALVACANTE, A. R.; GUIMARÃES, J. P.; SOUZA DE, F. G.; LIMA DE, B. W.; FERNANDES, J. F.; DANTAS, E. R. B.; SILVA DA, A. A. R.; GUERRA, H. O. C. Growth of papaya seedlings on substrate consisting of poultry litter biochar. Semina: Ciênc. Agrár. Londrina, v.42, n.6, p.3721-3740, 2021 <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n6Supl2p3721>

LEITE, R. M. B. C.; AMORIM, L.; influência da temperatura e do molhamento foliar no monociclo da mancha de alternaria em girassol. Fitopatol. bras. v.27, n.2, p.1-8, 2002 <https://doi.org/10.1590/S0100-41582002000200012>

LEMOS, L. T. O.; DEUS, F. P.; THEBALDI, M. S.; DIOTTO, A. V. Influence of the soil water retention curve type and magnetic water treatment on lettuce irrigation management responses. *Water Science e Technology Water Supply*. v.21, n.6, p.1-24, 2021 <https://doi.org/10.2166/ws.2021.038>

LI, J. DONG, Y. Effect of a rock dust amendment on disease severity of tomato bacterial wilt. *Antonie Van Leeuwenhoe*. v.103, n.1, p.11-22, 2013 <https://doi.org/10.1007/s10482-012-9781-4>

LI, J.; MAVRODI, V. D.; DONG, Y. Effect of rock dust-amended compost on the soil properties, soil microbial activity, and fruit production in an apple orchard from the Jiangsu province of China. *Archives of Agronomy and Soil Science*. p.1-38, 2020b <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1795136>

LI, S.; WU, X.; LIANG, G.; GAO, L.; WANG, B.; LU, J.; ABDELRHMAN, A. A.; SONG, X.; ZHANG, M.; ZHENG, F.; DEGRÉ, A. Is least limiting water range a useful indicator of the impact of tillage management on maize yield?. *ELSEVIER, Soil e Tillage Research*. v.199, p.1-12, 2020a <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104602>

LILLI, M. A.; PARANYCHIANAKIS, N. V.; LIONOUDAKIS, K.; KRITIKAKI, A.; VOUTSADAKI, S.; SARU, M. L.; KOMNITSAS, K.; NIKOLAIDIS, N. P. The Impact of Sewage-Sludge- and Olive-Mill-Waste-Derived Biochar Amendments to Tomato Cultivation. *Sustainability*, n.15, p.1-12, 2023 <https://doi.org/10.3390/su15053879>

LIM, T. J.; SPOKAS, K. A.; FEYEREISEN, G.; NOVAK, J. M. Predicting the impact of biochar additions on soil hydraulic properties. *ELSEVIER, Chemosphere*. v.142, p.136-144, 2016 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.06.069>

LIMA, I. S.; GONZAGA, M. I. S.; ALMEIDA, A. Q.; MASSARANDUBA, W. M. Lixiviação de íons em argissolo amarelo tratado com biocarvão de casca de coco seco e cultivado com girasol (*Helianthus annuus* L.). *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* v.11, n.7, p. 1956-1965, 2017 <https://doi.org/10.7127/rbai.v11n700662>

LIMA, J. R. S.; ARAÚJO DE, M. B.; OLIVEIRA DE, C. L.; BARROS, C. T.; AMORIM, A. S.; BEZERRA, A. L.; DILL, P. R. J.; MEDEIROS DE, E. V.; HAMMECKER, C.; ANTONINO, A. C. D.; LEITE, M. C. B. Biochar de Lodo de Esgoto Aumenta a Produção e Eficiência no Uso de Água da Alface. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.13, n.04, p.1720-1729, 2020 <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1720-1729>

LIMA, J. R. S.; OLIVEIRA, J. E. S.; MOURA, A. S.; MEDEIROS, E. V. HAMMECKER, C. Produção e eficiência no uso de água do feijão comum adubado com biochar. *Diversitas journal*. Santana do Ipanema/AL. v.4, n.3, p.1146-1155, 2019 <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v4i3.837>

LIMA, J. R. S.; OLIVEIRA, J. E. S.; MOURA, A. S.; SILVA, C. F.; MEDEIROS, E. V.; HAMMECKER, C. Produção e eficiência no uso de água do feijão comum adubado com biochar. *Diversitas Journal*, v. 4, p. 1146-1155, 2019 <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v4i3.837>

LIMA, J.R.S.; SILVA, W.M.; MEDEIROS, E.V.; DUDA, G.P.; CORREA, M.M.; FILHO MARTINS, A.P.; CLERMONT-DAUPHIN, C.; ANTONINO, A.C.D.; HAMMECKER, C. Effect of biochar on physicochemical properties of a sandy soil and maize growth in a greenhouse experiment. *Geoderma*, Amsterdam, v.319, p.14-23, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.033>

LIMA, S. L.; JUNIOR, B. H. M.; MELO-SANTOS, K. S.; REIS, S. M.; PETTER, F. A.; VILAR, C. C.; MARIMON, B. S. Biochar no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas de angico. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.2, p.120-131, 2016 <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2016000200004>

LIMA, S. L.; TAMIOZZO, S.; PALOMINO, E. C.; PETTER, F. A.; MARIMON-JÚNIOR, B. H. Interactions of biochar and organic compound for seedlings production of *Magonia pubescens* A. St.-Hil. *Revista Árvore*. v.39, n.4, p.655-661, 2015 <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000400007>

LIRA, J. F. B. ; COSTA, M. E.; FRANÇA, F. D.; PAMPLOMA, J. P.; LIMA DE, J. P. M.; ANCHIETA, O. F. A. Granulometria do biochar influenciando retenção de água e nutrientes em três solos da Chapada do Apodi-RN. Natal, RN, 2015.

LIRA, M. A.; CARVALHO, H. W. L.; CHAGAS, M. C. M.; BRISTOT, G.; DANTAS, J. A.; LIMA, J. M. P. Avaliação das potencialidades da cultura do girassol, como alternativa de cultivo no semiárido nordestino, Revisado por Maria de Fátima Pinto Barreto. Natal- RN: EMPARN, 2011. 40 p

LIU, C.; LIU, F.; RAVNSKOV, S.; RUBAEK, H. G.; SUN, Z.; ANDERSEN, N. M. Impact of Wood Biochar and Its Interactions with Mycorrhizal Fungi, Phosphorus Fertilization and Irrigation Strategies on Potato Growth. *Journal of Agronomy and Crop Science*. v.203, n.2, p.131-145, 2016 <https://doi.org/10.1111/jac.12185>

LOPES-ASSAD, M. L.; ROSA, M. M.; ERLER, G.; CECCATO-ANTONINI, S. R. Solubilização de pó-de-rocha por *Aspergillus niger*. *Espaço & Geografia*, v.9, n.1, p.1-17, 2006, ISSN: 1516-9375 <https://periodicos.unb.br/index.php/espacoegeografia/article/view/39764/30904>

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. *Fisiologia vegetal*. São Paulo, EPU, 1985. v.1, p.363 - 50.

MAGAÑA, J. C. C.; SANDRI, D.; CAJAMARCA, S. M. N.; MENDEZ, D. F. S.; CLARA, J. M. P. Nutrient balance in a constructed wetland system using treated domestic wastewater

on ornamental sunflower crops. AJCS, v.16, n.04, p.479-487, 2022
<https://doi.org/10.21475/ajcs.22.16.04.p3430>

MALDANER, I. C.; HELDWEIN, A. B.; LOOSE, L. H.; LUCAS, D. D. P.; GUSE, F. I.; BORTULUZZI, M. P. Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol. Ciência Rural, Santa Maria, v.39, n.5, p.1356-1361, 2009 <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000500008>

manejo de solos leves no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.51, n.9, p.1003-1020, 2016 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900001>

manejo de solos leves no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.51, n.9, p.1003-1020, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900001>

MANNING, D. A. C. How will minerals feed the world in 2050?. ELSEVIER, Proceedings of the Geologists' Association. v.126, n.1, p.14-17, 2015 <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2014.12.005>

MANNING, D. A. C.; THEODORO, S. H. Enabling food security through use of local rocks and minerals. ELSEVIER, The Extractive Industries and Society, v.7, n.2, p.480-487, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.11.002>

MATSUNAGA, W. K.; SILVA, V. P. R.; AMORIM, V. P.; SALES, E. S. G.; DANTAS, S. M.; OLIVEIRA, A. B. Evapotranspiration, crop coefficient and water use efficiency of onion cultivated under different irrigation depths. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.26, n.3, p.219-225, 2022 <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n3p219-225>

MEDEIROS DE, L. C.; SANTOS DOS, J. S.; LIMA DE, V. L. A.; NASCIMENTO DO, M. T. C. C.; MEDEIROS, M. R. J. C. Morfometria de girassóis irrigados com água residuária e adubado com diferentes doses de nitrogênio. Braz. J. of Develop., Curitiba, v.6, n.3, p.14936-14950, 2020b <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-391>

MEDEIROS, E. V.; MORAES, M. C. S.; COSTA DA, D. P.; DUDA, G. P.; OLIVEIRA DE, J. B.; SILVA DA, J. S.; LIMA, J. R. S.; HAMMECKER, C. Effect of biochar and inoculation with Trichoderma aureoviride on melon growth and sandy Entisol quality. Australian Journal of Crop Science. v.14, n.06, p.971-977, 2020a <https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.06.p2302>

MELO, E.I.; SILVA, L. F. V. Biocarvão como condicionador de substrato para produção de mudas de alface. Revista Agropecuária Técnica. v.39, n.2, p.107-111, 2018 <https://doi.org/10.25066/agrotec.v39i2.38692>

MENDES, J. S.; CHAVES, L. H. G.; CHAVES, B. I.; SILVA, F. A. S.; FERNANDES, J. D. Using Poultry Litter Biochar and Rock Dust MB-4 on Release Available Phosphorus to Soils. *Agricultural Sciences*. V.6, n.11, p., 2015 <https://doi.org/10.4236/as.2015.611131>

MENDES, J. S.; FERNANDES, J. D.; CHAVES, L. H. G.; TITO, G. A.; GUERRA, H. O. C. Effect of poultry litter biochar on the nutritional status of corn. *Rev. Caatinga, Mossoró*, v.34, n.4, p.916-925, 2021 <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252021v34n419rc>

MENDEZ, A.; PAZ-FERREIRO, J.; GASCO, G. The effect of paper sludge and biochar addition on brown peat and coir based growing media Properties. *ELSEVIER, Scientia Horticulturae*. v.193, p.225-230, 2015 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.032>

MIJIC, A.; LIJOVIC, I.; SUDARIC, A.; DUVNJAK, T.; JUG, D.; KRANJAC, D.; JOVOVIC, Z.; KULUNDZIC, M. A. Status and perspectives of sunflower production in croatia. *Agriculture e Forestry*. v. 67, n.1, p.35-45, 2021 <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.67.1.03>

MIOT, H. A. Análise de correlação em estudos clínicos e experimentais. *J Vasc Bras*. v.17, n.4, p.275-279, 2018 <https://doi.org/10.1590/1677-5449.174118>

MIRANDA, N. O.; PIMENTA, A. S.; SILVA DA, G. G. C.; OLIVEIRA, E. M. M.; CARVALHO, M. A. B. Biochar as soil conditioner in the succession of upland rice and cowpea fertilized with nitrogen. *Rev. Caatinga, Mossoró*. v.30, n.2, p.313-323, 2017 <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252017v30n206rc>

NASCIMENTO DO, N. V.; LIMA DE, V. L. A.; FARIAS DE, M. S. S.; SUASSUNA, J. F.; SANTOS DOS, J. B. Efeito residual da adubação orgânica no crescimento do girassol. *Revista Verde (Mossoró – RN - BRASIL)*, v.8, n.2, p.4-12, 2013 <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-EfeitoResidualDaAdubacaoOrganicaNoCrescimentoDoGir-7395431.pdf>

NASCIMENTO, A. M. P.; REIS, S. N.; NERY, F. C.; CURVELO, I. C. S.; TAQUES, T. C.; ALMEIDA, E. F. A. Influence of color shading nets on ornamental sunflower development. *CAMPINAS-SP*, v. 22, n.1, p.101-10, 2016 https://www.researchgate.net/publication/316513606_Influence_of_color_shading_nets_on_ornamental_sunflower_development

NAZARLI, H.; ZARDASHTI, M. R.; DARVISHZADEH, R.; NAJAFI, S. The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits of sunflower under greenhouse condition. *Not Sci Biol*. v.2, n.4, p.53-58, 2010.

NEVES, M. B.; BUZETTI, S.; CASTILHO DE, R. M. M.; BOARA, C. S. F. Desenvolvimento de plantas de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L.) em vasos, em dois substratos com solução nutritiva e em solo. Científica, Jaboticabal, v.33, n.2, p.127-133, 2005 <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2005v33n2p127%20-%20133>

NGUYEN, T. T. N.; XU, C.; TAHMASBIAN, I.; CHE, R.; XU, Z.; ZHOU, X.; WALLACE, H. M.; BAI, S. H. Effects of biochar on soil available inorganic nitrogen: A review and meta-analysis. ELSEVIER, Geoderma, v. 288, p.79-96, 2017 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.11.004>

NOBREGA DA, C. C.; SILVA DA, P. L. F.; OLIVEIRA DE, F. P.; CAMPOS, M. C. C.; SOUSA NETO DE, A. T. Funções de pedotransferência para estimar a retenção e a disponibilidade de água em Planossolo Háplico sob sistemas integrados de produção agropecuária no Agreste da Paraíba. Scientia Plena, v.18, n.7, p.1-20, 2022 <http://doi.org/10.14808/sci.plena.2022.070202>

NOBREGA, DA, C. C.; SILVA DA, P. L. F.; OLIVEIRA DE, F. P.; CAMPOS, M. C. C.; SOUSA NETO DE, A. T. Funções de pedotransferência para estimar a retenção e a disponibilidade de água em Planossolo Háplico sob sistemas integrados de produção agropecuária no Agreste da Paraíba. Scientia Plena, v.18, n.7, p.1-20, 2022 <http://doi.org/10.14808/sci.plena.2022.070202>

OBIHARA, C. H.; RUSSELL, E. W. Specific adsorption of silicate and phosphate by soils. Journal of Soil Science. v.23, n.1, p.105-117, 1972 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1972.tb01646.x>

OLIVEIRA DE, I. C.; FARIAS DE, M. F.; MACHADO, N. A. F.; OLIVEIRA, A. R. F.; PARRA-SERRANO, L. J.; ANDRADE DE, H. A. F. Desempenho do girassol ornamental, cv. Bonito de outono, cultivado em vaso sob diferentes tensões de água no solo. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.13, n.3, p.3412-3420, 2019 https://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/1018/pdf_550

OLIVEIRA DE, M. S.; CARVALHO DE, D. F.; GOMES, D. P.; PEREIRA, F. A. C.; MEDICI, L. O. Production of cut sunflower under water volumes and substrates with coconut fiber. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.22, n.12, p.859-865, 2018 <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n12p859-865>

OLIVEIRA, A.B.; HERNANDEZ, F.F.F. Absorção de nutrientes em mudas de berinjela cultivadas em substratos alternativos. Revista Ciência Agronômica, v.39, n.4, p.583-589, 2008 <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/391/287>

OLIVEIRA, E. A. G.; RIBEIRO, R. L. D.; LEAL, M. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ARAUJO, E. S.; ESPINDOLA, J. A. A, ROCHA, M. S.; BASTOS, T. C.; SAITER, O. (2014) Compostos orgânicos fermentado tipo “bokashi” obtidos com diferentes materiais de origem vegetal e diferentes formas de inoculação visando sua utilização no cultivo de hortaliças. Seropédica: Embrapa Agrobiologia.

OLIVEIRA, J. B.; MEDEIROS, E. V.; MORAES, M. C. H. S.; SILVA, J. S. A.; COSTA DA, D. P.; FRANÇA DA, R. F.; LIMA, J. R. S.; DUDA, G. P. Efeito da aplicação de biochar sobre o carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com melão. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, Curitiba. v.4, n.1, p.368-377, 2021 <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n1-032>

OLIVEIRA, M. L. A.; PAZ, V. P. S.; GONÇALEZ, K. S.; OLIVEIRA, G. X. S. Crescimento e produção de girassol ornamental irrigado com diferentes lâminas e diluições de água residuária. *Irriga, Botucatu*, v.22, n.2, p.204-219, 2017 <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v22n1p204-219>

ORAM, N. J.; VAN DE VOORDE, T. F. J.; OUWEHAND, G. J.; BEZEMER, T. M.; MOMMER, L.; JEFFERY, S.; GROENIGEN, J. W. V. Soil amendment with biochar increases the competitive ability of legumes via increased potassium availability. *ELSEVIER, Agric Ecosyst Environ*. v.191, p.92-98, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.031>

PACHECO, L. B.; MACHADO, R. L.; SOARES, F. A. L.; SILVA, P. S. F.; RABELO, K. C. C.; LIMA, A. A. Effects of biochar on soil fertility and the morphometry and production of elephant grass cultivars. *Rev. Caatinga, Mossoró*, v.37: p.1-11, 2024 <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252024v37i11786rc>

PANDIT, N. R.; MULDER, J.; HALE, S. E.; ZIMMERMAN, A. R.; PANDIT, B. H.; CORNELISSEN, G. Multi-year double cropping biochar field trials in Nepal: finding the optimal biochar dose through agronomic trials and cost-benefit analysis. *Sci Total Environ*. v.637-638, p.1333-1341, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.scito.tenv.2018.05.107>

PANEQUE, M.; DE LA ROSA, J. M.; FRANCO-NAVARRO, J. D.; COLMENERO-FLORES, J. M.; KNICKER, H. Effect of biochar amendment on morphology, productivity and water relations of sunflower plants under non-irrigation conditions. *ELSEVIER. Catena*. v.147, p.280-287, 2016 <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.037>

PARTEY, S. T.; SAITO, K.; PREZIOSI, R. F.; ROBSON, G. D. Biochar use in a legume–rice rotation system: effects on soil fertility and crop performance. *Archives of Agronomy and Soil Science*. v.62, n.2, p.199-215, 2015 <https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1040399>

PAVINATO, P. S.; ROSELEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008 <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300001>

PEDROSA, M. V. B.; LIMA DE, W. L.; AMARAL DO, A. A.; CARVALHO, A. H. O. Biossólido de lodo de esgoto na agricultura: desafios e perspectivas. *Revista Agrogeoambiental*, Pouso Alegre, v.9, n.4, dez. 2017 <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v9n42017999>

PEIXOTO, C. P.; CRUZ DA, T. V.; PEIXOTO, M. F. S. P. ANÁLISE QUANTITATIVA DO CRESCIMENTO DE PLANTAS: Conceitos e Prática. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer – Goiânia. v.7, n.13, p.51-76, 2011 <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2011b/ciencias%20agrarias/analise%20quantitativa.pdf>

PEREIRA, F. A. L.; MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; PRESTON, W.; B. C.; VASCONCELOS, L. Tolerance of melon cultivars to irrigation water salinity. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.21, n.12, p.846-851, 2017 <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n12p846-851>

PEREYRA-IRUJO, G.; VELAZQUEZ, L.; LECHNER, L.; AGUIRREZÁBAL, N. L. A. Genetic variability for leaf growth rate and duration under water deficit in sunflower: analysis of responses at cell, organ, and plant level. *Journal of Experimental Botany*. v.59, n.8, p.2221-2232, 2008 <https://doi.org/10.1093/jxb/ern087>

PETTER, F. A.; MADARI, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.7, p.761-768, 2012 <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000700009>

PIZETTA, S. C.; DEUS DE, F. P.; PAIVA, P. D. O.; DIOTTO, A. V.; THEBALDI, M. S.; COLODETTI, T. V.; THEBALDI, M. S.; COLODETTI, T. V.; NASCIMENTO DO, A. M. P.; VIEIRA, N. P. A.; JAEGGI, M. E. P. C. Post-harvest growth and longevity of ornamental sunflowers irrigated using magnetised water with different irrigation depths. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. v.38, n.1, p.1-19, 2021 <https://doi.org/10.1080/01140671.2021.2019061>

PIZETTA, S. C.; DEUS, F. P.; PAIVA, P. D. O.; DIOTTO, A. V.; THEBALDI, M. S.; COLODETTI, T. V.; NASCIMENTO, A. M. P.; VIEIRA, N. P. A.; JAEGGI, M. E. P. C. Post-harvest growth and longevity of ornamental sunflowers irrigated using magnetised water with different irrigation depths. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. p.1-19, 2022 <https://doi.org/10.1080/01140671.2021.2019061>

PRADO, M. R. V. Estimativa da acidez potencial dos solos do estado de mato grosso com base em métodos tampões. CUIABÁ-MT, 2018, p-17.

PRATES, F. B. S.; LUCAS, C. S. G.; SAMPAIO, R. A.; JÚNIOR, D. S. B.; FERNANDES. L. A.; JUNIO, G. R. Z. Crescimento de mudas de pinhão-mansão em resposta a adubação com superfosfato simples e pó-de-rocha. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, n.2, p.207-213, 2012 <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000200001>

QAMBRANI, N. A.; RAHMAN, M. M.; WON, S.; SHIM, S.; RA, C.; Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and wastewater treatment: A review. *ELSEVIER, Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v.79, p.255-273, 2017 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.057>

QOTAIBA. S. S. A. Effect of Biochar, Urea and Irrigation Determinants on the Growth and Yield of Maize *Zea mays* L. *Kirkuk University Journal For Agricultural Sciences*. v.1, n.1, p.105-124, 2022 <https://doi.org/10.58928/ku22.13109>

QUILLIAM, R. S.; MARSDEN, K. A.; GARTLER, C.; ROUSK, J.; LUCA DE, T. H.; JONES, D. L. Nutrient dynamics, microbial growth and weed emergence in biochar amended soil are influenced by time since application and reapplication rate. *ELSEVIER, Agriculture, Ecosystems & Environment*. v.158, p.192-199, 2012 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.06.011>

QUIN, P. R.; COWIW, A. L.; FLAVEL, R. J.; KEEN, B. P.; MACDONALD, L. M.; MORRIS, S. G.; SINGH, B. P.; YOUNG, I. M.; ZWIETEN, L. V. Oil mallee biochar improves soil structural properties—A study with x-ray micro-CT. *ELSEVIER, Agriculture, Ecosystems & Environment*. v.191, p.142-149, 2014 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.022>

RAIJ, B.van. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Ceres; Piracicaba: Potafos, 1991. 343p.

RAMEZANIAN, A.; DAHLIN, A. S.; CAMPBELL, C. D.; HILLIER, S.; MANNERSTEDT-FOGELFORS, B.; ÖBORN, I. Addition of a volcanic rockdust to soils has no observable effects on plant yield and nutrient status or on soil microbial activity. *Plant Soil*. v.367, p.419-436, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1474-2>

RAMEZANIAN, A.; DAHLIN, S. A.; CAMPBELL, D. C.; HILLIER, S.; OBORN, I. Assessing biogas digestate, pot ale, wood ash and rockdust as soil amendments: effects on soil chemistry and microbial community composition. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B- Soil e Plant Science*. v.65, n.5, p.383-399, 2015. <https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1014831>

RAMOS, C. R.; HOWER, J. C.; BLANCO, E.; OLIVEIRA, M. L. S.; THEODORO, S. H. Possibilities of using silicate rock powder: An overview. *ELSEVIER, Geoscience Frontiers*. v.13, n.1, p.1-12, 2021 <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101185>

RAMOS, G. C.; MEDIROS DE, D. S.; GOMEZ, L.; OLIVEIRA, L. F.; S.; SCHNEIDER A. H.; KAUTZMANN, R. M. Evaluation of Soil Re-mineralizer from By-Product of Volcanic Rock Mining: Experimental Proof Using Black Oats and Maize Crops. *Natural Resources Research*. v. 29, n.3, 2019 <https://doi.org/10.1007/s11053-019-09529-x>

RAUF, S.; AL-KHAYRI, J. M.; ZAHARIEVA, M. Breeding strategies to enhance drought tolerance in crops. In: Al-Khayri JM, Jain MS, Johnson DV, eds. *Advances in Plant Breeding Strategies: Agronomic, Abiotic and Biotic Stress Traits*. Dordrecht: Springer Science & Business Media Dordrecht. 2016. p.397-445 https://doi.org/10.1007/978-3-319-22518-0_11

RAUF, S.; SADAQAT, H. A. Identification of physiological traits and genotypes combined to high achene yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under contrasting water regimes. *Australian Journal of Crop Science*.v.1, n.1, p.23-30, 2008 http://www.cropj.com/Saeed%20Final%20version2_4_.pdf

REDIN, M.; SEIDEL, E. G.; SILVA DA, D. M.; SOUZA DE, E. L.; GUERRA, D.; LANZANOVA, M. E. Desempenho da cultura da soja com diferentes doses de pó de basalto em Latossolo no Sul do Brasil. *Agroecologia: produção e sustentabilidade em pesquisa* - ISBN 978-65-5360-262-5, v. 3, p.234-245, 2023 <https://doi.org/10.37885/230111662>

REIS, G. G.; MULLER, M. W. Análise de crescimento de plantas - mensuração do crescimento. Belém, CPATU, 1979. 35p.

REIS, S. N. Pulsing and post-harvest maintenance solutions for cut flowers. Doctorate's Dissertation, Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2009, 73p.

REISSER, M.; PURVES, R. S.; SCHMIDT, M. W.; ABIVEN, S. Pyrogenic carbon in soils: a literature-based inventory and a global estimation of its content in soil organic carbon and stocks. *Frontiers in Earth Science*. v.4, n.80, p.1-14, 2016 <https://doi.org/10.3389/feart.2016.00080>

REZENDE, T. P.; PELA, A.; PELA, G. M. Uso de Pó de Basalto como Alternativa na Adubação da Cultura da Alface. *Revista Processos Químicos*, v.7, n.13, p.67-72, 2013 <https://doi.org/10.19142/rpq.v7i13.188>

RIAZ, M.; ROOHI, M.; ARIF, M. S.; HUSSAIN, Q.; YASMEEN, T.; SHAHZAD, T.; SHAHZAD, S, M.; MUHAMMAD, H. F.; ARIF, M.; KHALID, M. Corn-cob-derived Biochar Decelerates Mineralization of Native and Added Organic Matter (AOM) in Organic Matter

Depleted Alkaline Soil. ELSEVIER, Geoderma, v.294, p.19-28, 2017 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.02.002>

RIBEIRO, L. L.; SEIDEL, E. P.; AUGUSTO, J.; MOTTIN, M. C.; ALMEIDA, K. F.; SUSTAKOWISK, M. C. Teores de nutrientes foliares da soja cultivada com pó de rocha de basalto e resíduos orgânicos animais. Contribuciones a Las Ciencias Sociales, São José dos Pinhais. v.16, n.9, p.17238-17252, 2023 <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.9-203>

ROMANOWSKI, A.; FURNISS, J. J.; HUSSAIN, E.; HALLIDAY, K. J. Phytochrome regulates cellular response plasticity and the basic molecular machinery of leaf development. Plant Physiology. v.186, n.2, p.1220-1239, 2021 <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab112>

ROMHELD, V.; KIKBY, E. A. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. Plant Soil. v.335, p.155-180, 2010 <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0520-1>

ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, D. S.; ROCHA, K. F.; BACCO, G. H. M.. Potassium fertilisation with humic acid coated KCl in a sandy clay loam tropical soil. Soil Res. v.56, n.3, p.244-251, 2018 <https://doi.org/10.1071/SR17214>

SANTOS DOS, L. G.; SOUZA, U. O.; CARVALHO DE, Z. S.; PRIMO, D. C.; SANTOS DOS, A. R. Análise de crescimento do girassol em função do suprimento de fósforo e boro. Biosci. J., Uberlândia, v.31, n.2, p.370-381, 2015 <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n2a2015-22316>

SANTOS DOS, L. G.; SOUZA, U. O.; PRIMO, D. C.; SILVA, P. C. C.; SANTOS DOS, A. R. Estado nutricional da cultura do girassol submetida à adubação com fósforo e boro. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.6, n.11, p.1-14, 2010 <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4358>

SANTOS, H. P.; CHAVARRIA, G. Plant Water Relations: Absorption, Transport and Control Mechanisms. Advances in Selected Plant Physiology Aspects. 2012, p.119

SANTOS, J. F.; SILVA, E. D.; AND BESERRA, A. C. Agroecological Potato Production in Relation to the Doses of Rock Dust. Tecnologia e Ciência Agropecuária. v.8, p.29-35, 2014 <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1615881>

SEZEN. S. M.; YAZAR, A. KAPUR, B.; TEKIN, S. Comparison of drip and sprinkler irrigation strategies on sunflower seed and oil yield and quality under Mediterranean climatic conditions. ELSEVIER, Agricultural Water Management. v.98, n.7, p.1153-1161, 2011 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.02.005>

SHAFIQ, B. A.; NAWAZ, F.; MAJEED, S.; AURANGZAID, M.; MAMUM, A. A.; AHSAN, M.; AHMAD, S. K.; SHEHZAD, A. M.; ALI, M.; HASHIM, S.; HAQ, U. T. Sulfate-

Based Fertilizers Regulate Nutrient Uptake, Photosynthetic Gas Exchange, and Enzymatic Antioxidants to Increase Sunflower Growth and Yield Under Drought Stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. v.21, N.3, p.2229-2241, 2021b <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00516-x>

SHAFIQ, I.; HUSSAIN, S.; RAZA, M. A.; IQBAL, N.; ASGHAR, M. A.; RAZA, A.; FAN, Y.; MUMTAZ, M.; SHOAB, M.; ANSAR, M.; MANAF, A.; YANG, W.; YANG, F. Crop photosynthetic response to light quality and light intensity. *Journal of Integrative Agriculture*. v.20, n.1, p.4-23, 2021a [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63227-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63227-0)

SHARMA, M.; SINGH, J.; BASKAR, C.; KUMAR, A. A comprehensive review on biochar formation and its utilization for wastewater treatment. *Pollution Research* v.100, n.2, p.179-194, 2018 https://www.researchgate.net/publication/336125690_A_COMPREHENSIVE_REVIEW_ON_BIOCHAR_FORMATION_AND_ITS_UTILIZATION_FOR_WASTEWATER_TREATMENT

SHEKOOFA, A.; SINCLAIR, R. T. Abscisic Acid and Sulfate Offer a Possible Explanation for Differences in Physiological Drought Response of Two Maize Near-Isolines. *Plants*. v.9, n.12, 2020 <https://doi.org/10.3390/plants9121713>

SHI, R.Y.; LI, J.Y.; JIANG, J.; KAMRAN, M.A.; XU, R.K.; QIAN, W. Incorporation of corn straw biochar inhibited the re-acidification of four acidic soils derived from different parent materials. *Environmental Science and Pollution Research, Basel*, v.25, n.1, p.9662-9672, 2018 <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1289-7>

SHUKLA, A.; VYAS, D.; JHA, A. Soil depth: an overriding factor for distribution of arbuscular mycorrhizal fungi. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* vol.13, n.1, p.23-33, 2013 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000003>

SIGNOR, D.; DEON, M. D. Influência do biocarvão na retenção de água em Argissolo e vertissolo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 20; SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. p.1-5, 2017 <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177266/1/Diana-1.pdf>

SILVA DA, A.; ALMEIDA, J. A.; SCHMITT, C.; AMARANTE DO, C. V. T. Fertilidade do solo e desenvolvimento de feijão comum em resposta adubação com pó de basalto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. v.7, n.4, p.548-554, 2012 <https://doi.org/10.5039/agraria.v7i4a1491>

SILVA DA, D. W.; CANEPELLE, E.; LANZANOVA, M. E.; GUERRA, D.; REDIN, M. Pó de basalto como fertilizante alternativo na cultura do feijão preto em Latossolo vermelho. Revista Verde v.15, n.4, p.373-378, 2020b <https://doi.org/10.18378/rvads.v15i4.7784>

SILVA DA, P. J. F.; OLIVEIRA DE, F. P.; MARTINS, A. F.; PEREIRA, W. E.; SANTOS, T. E. D.; AMARAL DO, A. J. Caracterização físico-hídrica de solos arenosos através da curva de retenção de água, índice S e distribuição de poros por tamanho. Agrarian, Dourados, v.13, n.50, p.478-492, 2020a <https://doi.org/10.30612/agrarian.v13i50.10993>

SILVA DA, S. C.; SBRISSIA, A. F.; PERERA, L. E. T. Ecophysiology of C4 forage grasses: understanding plant growth for optimising their use and management. J. Agriculture, v.5, n.3, p.598-625, 2015. <https://doi.org/10.3390/agriculture5030598>

SILVA DA, V. N.; SILVA DA, L. E. S. F.; SILVA DA, A. J. N.; STAMFORD, N. P.; MACEDO, G. R. Solubility curve of rock powder inoculated with microorganisms in the production of biofertilizers. Science Direct. Agriculture and Natural Resources, v.51, n.3, p.142-147, 2017a <https://doi.org/10.1016/j.anres.2017.01.001>

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, M. L.; LACERDA, C. F.; FILHO, V. P.; FREITAS, C. A. S. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. Revista Ciência Agronômica. v.44, n.1, p.86-93, 2013 <http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/2004>

SILVA, I. C. B.; FERNANDES, L. A.; COLEN, F.; SAMPAIO, R. A. Growth and production of common bean fertilized with biochar. Ciência Rural. v.47, n.11, p.1-8, 2017 <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170220>

SILVA, M. I.; MACKOWIAK, C.; MINOGE, P.; REIS, A. F.; MOLINE, E. F. V. Potential impacts of using sewage sludge biochar on the growth of plant forest seedlings. Ciência Rural, v.47, n.1, p. 1-5, 2017b <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160064>

SILVA, M. S. A.; COLEN, F.; SAMPAIO, R. A.; AZEVEDO A. M.; BASILIO, J. J. N.; COTA, C. G.; FERNANADES, L. A. Biochar from Caryocar brasiliense as a soil conditioner for common bean plants. Ciência Rural, Santa Maria, v.52 n.7, p.1-9, 2022a <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200871>

SILVA, N. R. DA; PADOVANI, C. R. Utilização de componentes principais em experimentação agronômica. Energia na Agricultura, v.21, p.98-113, 2006.

SILVA, S. D. P. DA; BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z.; SOUZA, G. P.; DE OLIVEIRA, T. S.; LIMA, R. R.; CHAVES, A. R. M. Growth of ornamental sunflowers in two growing seasons under semiarid conditions. Emirates Journal of Food and Agriculture. v.30, n.5, p.381-388, 2018 <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i5.1681>

SILVA, S. D. P.; SOUZA, G. P.; CHAVES, A. R. M.; SILVA, M. A.; DE SOUSA, R. R.; BECHMANN-CAVALCANTE, M. Z. Morphophysiological aspects of ornamental sunflowers cultivated in different growing seasons under semi-arid conditions. *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering*. v.26, n.4, p.299-305, 2022b <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n4p299-305>

SILVERSTEIN, T. P. Polarity, miscibility, and surface tension of liquids. *Journal of Chemical Education*, v.70, n.3, p.253, 1993 <https://doi.org/10.1021/ed070p253>

SIMÕES, W. L.; DRUMOND, M. A.; DE OLIVEIRA, A. R.; GONÇALVES, S. L.; GUIMARÃES, M. J. M. Morphophysiological and productive responses of sunflower varieties to irrigation. *Revista Caatinga*. v.31, n.1, p.143-150, 2018 <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n117rc>

SIMÕES, W. L.; SILVA DA, J. S.; OLIVEIRA DE, A. R.; NETO, A. R.; DRUMOND, M. A.; LIMA, J. A.; NASCIMENTO DO, B. R. Sunflower cultivation under different irrigation systems and planting spacings in the sub-middle region of São Francisco Valley. *Ciências Agrárias, Londrina*. v. 41, n.6, p.2899-2910, 2020 <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n6Supl2p2899>

SMIDER, B.; SINGH, B. Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils. *ELSEVIER, Agric Ecosyst Environ*. v.191, p.99-107, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.01.024>

SOARES, W. A.; ANTONIO, A. C. D.; LIMA, J. R. S.; HAMMECKER, C. Modelagem da evapotranspiração e do fluxo de água em um solo cultivado com feijão caupi. *Journal of Environmental Analysis and Progress*. v.02, n.02, p.115-124, 2017 <http://dx.doi.org/10.24221/jeap.2.2.2017.1179.115-124>

SOIL SCIENCE ANNUAL. v.67, n.3, p.124-130, 2016 <https://doi.org/10.1515/ssa-2016-0015>

SOIL SCIENCE ANNUAL. v.67, n.3, p.124-130, 2016 <https://doi.org/10.1515/ssa-2016-0015>

SONG, X. D.; XUE, X. Y.; CHEN, D. Z.; HE, P. J.; DAI, X. H. Application of biochar from sewage sludge to plant cultivation: Influence of pyrolysis temperature and biochar-to-soil ratio on yield and heavy metal accumulation. *ELSEVIER, Chemosphere*. v.109, p.213-220, 2014 <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.01.070>

SOUZA, A. A. T. C.; FIGUEIREDO, C. C. Sewage sludge biochar: Effects on soil fertility and growth of radish. *Biological Agriculture and Horticulture*, 32, 127-138, 2015 <https://doi.org/10.1080/01448765.2015.1093545>

SOUZA DE, J. L. M.; FEZER, K. F.; GURSKI, B. C.; JERSZURKI, D.; PACHECHENIK, P. E.; EVANGELISTA, A. W. P.; atributos físicos e balanço hídrico do solo com floresta ombrófila Mista, em latossolo vermelho-amarelo, em Telêmaco Borba - PR. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.28, n.1, p.90-101, 2018 <http://dx.doi.org/10.5902/1980509831583>

SOUZA DE, J. L. M.; FEZER, K. F.; GURSKI, B. C.; JERSZURKI, D.; PACHECHENIK, P. E.; EVANGELISTA, A. W. P.; atributos físicos e balanço hídrico do solo com floresta ombrófila Mista, em latossolo vermelho-amarelo, em Telêmaco Borba - PR. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.28, n.1, p.90-101, 2018 <http://dx.doi.org/10.5902/1980509831583>

SOUZA, F. M.; LIMA, E. C. S.; SÁ, F. V. S.; SOUTO, L. S.; ARAÚJO, J. E. S.; PAIVA, E. P. Crescimento inicial do milho sob doses de esterco caprino e disponibilidade de água no solo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 12(, n.2, p.241-245, 2017 <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v12i2.4964>

SOUZA, R. M.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; SOARES, F. A. L. Utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo de girassol. *Revista Caatinga*, Mossoró, v.233, n.2, p.125-133, 2010 <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/1578>

SOUZA, R. R.; PAIVA, P. D. O.; SOUZA, A. R.; DE SILVA, R. R.; SILVA, D. P. C.; DOS REIS, M. V.; PAIVA, R. Morpho-anatomical changes and antioxidant enzyme activity during the acclimatization of *Genipa americana*. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.43, p.1-10, 2021 <https://doi.org/10.1007/s11738-021-03263-9>

STROJAKI, T. V.; SILVA DA, V. R.; SOMAVILLA, A.; ROS DA, C. O.; MORAES DE, M. T. Atributos químicos do solo e produtividade de girassol e milho em função da aplicação de composto de lixo urbano. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, v.43, n.3, p.278-285, 2013 <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000300002>

SUN, S.; JUNG, E.; GAVIRIA, J.; ENGERLBRECHT, J. B. M. Drought survival is positively associated with high turgor loss points in temperate perennial grassland species. *Functional Ecology*. v.34, n.4 p.788-798, 2020 <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13522>

SUSAWAENG SUP, C.; JARADRATTANAPAIBOON, A.; SORNSAKDANUPHAP, J.; CHOENGPANNYA, K.; JARADRATTANAPAIBOON, Y.; TONGKOOM, K.; BHUYAR, P. Effect of Fertilization Combined with Shading on Growth and Aromatic Constituents of *Niamhom* (*Strobilanthes nivea* Craib) Using an Internet of Things (IoT) Controlled Irrigation System. *Journals Horticulturae*, v.8, n.12, p.1-15, 2022 <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121130>

SWOBODA, P.; DORING, T. F.; HAMER, M. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. *ELSEVIER, Science of total environment*. v.807, p.1-18, 2022 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150976>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. 2017. *Physiology and plant development*, 6th ed. Porto Alegre: Artmed. 888 p

TAMMEORG, P.; SIMOJOKI, A.; MÄKELÄ, P.; STODDARD, F. L.; ALAKUKKU, L.; HELENIUS, J. Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal and inorganic fertiliser on a boreal loamy sand. *ELSEVIER, Agriculture, Ecosystems & Environment*. v.191, p.191:108-116, 2014 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.01.007>

TAMMEORG, P.; SIMOJOKI, A.; MÄKELÄ, P.; STODDARD, F. L.; ALAKUKKU, L.; HELENIUS, J. Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal and inorganic fertiliser on a boreal loamy sand. *Agric Ecosyst Environ*. v.191, p.108-116, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.01.007>

TEBAR, M. M.; ALOVISI, A. M. T.; MUGLIA, G. R. P.; VILLALBA, L. A.; SOARES, M. S. P. Efeito Residual do pó de rocha basáltica nos atributos químicos e microbiológicos do solo e no estado nutricional da cultura da soja. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 11, p.1-11, 2021 <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19612>

THEODORO, S. H. A construção do marco legal dos remineralizadores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 3., 2016, Pelotas. Anais. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados, 2017. p.25-36. Editores: Adilson Luis Bamberg, Carlos Augusto Posser Silveira, Éder de Souza Martins, Magda Bergmann, Rosane Martinazzo, Suzi Huff Theodoro

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.78, n.4, p.715-720, 2006b <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400007>

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 78, n. 4, p.721-730, 2006a <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400008>

TITO, A. G.; CHAVES, L. H. G.; DANTAS, E. R. B.; LAURENTINO, L. G. S.; SOUZA DE, F. G.; GUERRA, H. O. C. Biochar on Soil Chemical Properties and Beak Pepper (*Capsicum chinense*) Production. *Agricultural Sciences*, v.11, 1133-1142, 2020 <https://doi.org/10.4236/as.2020.1112074>

TITO, G. A.; CHAVES, L. H. G.; SOUZA DE, F. G.; CAVALCANTE, A. R.; FERNANDES, J. D.; VASCONCELOS DE, A. C. F. Efeito do vermicomposto enriquecido

com pó de rochasnaquímica do solo e cultura de rabanete. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentavel*. v.14, n.4, p.506-511, 2019
<https://doi.org/10.18378/rvads.v14i4.6562>

TRAZZI, P. A.; HIGA, A. R.; DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S.; HIGA, R. C. V. Biocarvão: Realidade e potencial de uso no meio florestal. *Ciência Florestal*. v.28, n.2, p.875-887., 2018
<https://doi.org/10.5902/1980509832128>

TRIPATHI, S.; LAL, A. A. Efficacy of *Trichoderma viride* and essential oils Against *Alternaria* blight disease (*Alternaria helianthi*) of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *The Pharma Innovation Journal*. v.12, n.3, p.4659-4662, 2023
https://www.researchgate.net/profile/Sanyam-Tripathi/publication/369691684_Efficacy_of_Trichoderma_viride_and_essential_oils_against_Alternaria_blight_disease_Alternaria_helianthi_of_sunflower_Helianthus_annuus_L/links/6427e15192cfd54f844511d9/Efficacy-of-Trichoderma-viride-and-essential-oils-against-Alternaria-blight-disease-Alternaria-helianthi-of-sunflower-Helianthus-annuus-L.pdf

https://www.researchgate.net/profile/Sanyam-Tripathi/publication/369691684_Efficacy_of_Trichoderma_viride_and_essential_oils_against_Alternaria_blight_disease_Alternaria_helianthi_of_sunflower_Helianthus_annuus_L/links/6427e15192cfd54f844511d9/Efficacy-of-Trichoderma-viride-and-essential-oils-against-Alternaria-blight-disease-Alternaria-helianthi-of-sunflower-Helianthus-annuus-L.pdf

VALERI, S. V.; CORRADINI, L. Fertilização em viveiros para produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In: Gonçalves JLM & Benedetti V (Eds.) *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba, IPEF. 2000, p.167-189

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. *Soil Science Society America Journal*, New York, v. 44, p. 892-898, 1980 <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>

VENDRUSCOLO, E. P.; LEAL, A. J. F.; ALVES, M. C.; SOUZA, E. J.; FILHO, S. N. S. Atributos químicos de solo degradado em função da adoção de biochar, culturas de cobertura e residual da aplicação de lodo de esgoto. *Rev. Cienc. Agrar*. v.59, n.3, p.235-242, 2016
<http://dx.doi.org/10.4322/rca.2161>

VERHEIJEN, A. F. G.; GRABER, R. E.; BASTOS, C. A.; SOHI, S.; KNICKER, H. Biochars in soils: new insights and emerging research needs. *European Journal of Soil Science*. v.65, n.1, p.22-27, 2014 <https://doi.org/10.1111/ejss.12127>

VICENTE-SERRANO, S. M.; MCVICAR, T. R.; MIRALLES, D. G.; YANG, Y.; TOMASBURGUERA, M. Unraveling the influence of atmospheric evaporative demand on drought and its response to climate change. *WIREs Climate Change* Volume. v.11, n.2, p.1-39, 2019
<https://doi.org/10.1002/wcc.632>

VIEIRA, C. R.; BOTELHO, R. A.; COSTA DA, P. P. Saturação por bases e doses de fósforo no crescimento inicial de mudas de *Buchenavia tomentosa*. *Rev. Inst. Flor*. v.35, n.1, p.14-22, 2023 <http://doi.org/10.24278/2178-5031.202335102>

WALTER, R.; RAO, R. B. K. Biochars influence sweetpotato yield and nutrient uptake in tropical Papua New Guinea. *J. Plant Nut. Soil Sci*. v.178, n.3, p.393-400, 2015
<https://doi.org/10.1002/jpln.201400405>

WANG, Y.; WEI, H.; LI, Z. Effect of magnetic field on the physical properties of water. ELSEVIER, Results in Physics. v.8, p.262-267, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.12.022>

WEBER, K.; QUICKER, P. Properties of biochar. Fuel, v. 217, p. 240–261, 2018.

XU, C. Y.; HOSSEINI-BAI, S.; HAO, Y.; RACHAPUTI, R. C. N.; WANG, H.; XU, Z.; WALLACE, H. Effect of biochar amendment on yield and photosynthesis of peanut on two types of soils. Environ. Sci. Pollut. Res., v.22, n.8, p.6112-6125, 2015 <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3820-9>

YANG, Y.; HAN, L.; JIN, J.; SUN, H.; YANG, Y.; XING, B. Effect of minerals on the stability of biochar. ELSEVIER, Chemosphere. v.204, p.310-317, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.057>

ZELAYA, K. P. S.; ALVES, B. S. Q.; COLEN, F.; FRAZÃO, L. A.; SAMPAIO, R. A.; PEGORARO, R. F.; FERNADES, L. A. Biochar in sugar beet production and nutrition. Ciência Rural, Santa Maria, v.49, n.05, p.1-9 2019 <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20180684>

ZHANG, G.; KANG, J.; WANG, T.; ZHU, C. Review and outlook for agromineral research in agriculture and climate mitigation. Soil Research, v.56, n.2, p.113-122, 2018 <https://doi.org/10.1071/SR17157>

ZHANG, R. H.; LI, Z. G.; LIU, X. D.; WANG, B.; ZHOU, G. L.; HUANG, X. X.; LI, C.; WANG, A.; BROOKS, M. Immobilization and Bioavailability of Heavy Metals in Greenhouse Soils Amended with Rice Straw-Derived Biochar. ELSEVIER, Ecol. Eng., v.98, p.183-188, 2017 <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.10.057>

ZORZONA R, MORENO-BARRIGA F, ACOSTA JA, MUNOZ MA, FAZ A. Stability, nutrient availability and hydrophobicity of biochars derived from manure, crop residues, and municipal solid waste for their use as soil amendments. ELSEVIER, Chemosphere. v.144, p.122-130, 2016 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.08.046>