



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE
E BIOTECNOLOGIA DA REDE BIONORTE



IMPACTO DE ATIVIDADES ANTRÓPICAS, PROVOCADAS PELA INSERÇÃO
DA CULTURA DA SOJA, SOBRE A MICROBIOTA E ATRIBUTOS FÍSICO
QUÍMICOS DE SOLOS NO BIOMA CERRADO

JACQUELINE HENRIQUE

PALMAS - TO
MARÇO/2019

JACQUELINE HENRIQUE

**IMPACTO DE ATIVIDADES ANTRÓPICAS, PROVOCADAS PELA INSERÇÃO
DA CULTURA DA SOJA, SOBRE A MICROBIOTA E ATRIBUTOS FÍSICO
QUÍMICOS DE SOLOS NO BIOMA CERRADO**

Tese apresentada à Universidade Federal do Tocantins, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede Bionorte, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ EXPEDITO C.
DA SILVA

**PALMAS - TO
MARÇO/2019**

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- H519i Henrique, Jacqueline.
Impacto de atividades antrópicas, provocadas pela inserção da cultura da soja, sobre a microbiota e atributos físico químicos de solos no bioma Cerrado. / Jacqueline Henrique. – Palmas, TO, 2019.
129 f.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em Biodiversidade e Biotecnologia, 2019.
Orientador: José Expedito Cavalcante da Silva
1. Bioma Cerrado. 2. Atividades antrópicas. 3. Cultura da soja. 4. Indicadores de qualidade do solo. I. Título

CDD 660.6

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.


Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

JACQUELINE HENRIQUE


**IMPACTO DE ATIVIDADES ANTRÓPICAS, PROVOCADAS PELA INSERÇÃO
DA CULTURA DA SOJA, SOBRE A MICROBIOTA E ATRIBUTOS FÍSICO
QUÍMICOS DE SOLOS NO BIOMA CERRADO**

Tese apresentada à Universidade Federal do Tocantins, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede Bionorte, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

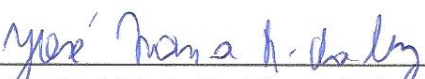
APROVADA: 08 de Março de 2019



Dr. Emerson Adriano Guarda
UFT



Dra. Maria Cristina Bueno Coelho
UFT



Dr. José Maria Rodrigues da Luz
UFAL



Dr. Sergio Donizeti Ascêncio
UFT



Dr. José Expedito C. da Silva
UFT - Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e proteção em todos os momentos.

Aos meus pais: João Henrique Leal (*in memorian*) e Beatriz de França Henrique (*in memorian*) por todos os ensinamentos e dedicação a mim concedidos, eterna gratidão.

A minhas irmãs e irmãos pelo carinho e apoio em todos os momentos.

Ao meu esposo Joaquim, pelo apoio e grande contribuição em todos os momentos para realização desse trabalho.

Aos meus filhos Manoel Henrique e Pedro Henrique pelo apoio, carinho e compreensão sempre.

Ao meu orientador José Expedito pela competência e ensinamentos que muito contribuíram para a conclusão desse trabalho.

A todos da Rede Bionorte, que possibilitaram a realização desse Doutorado.

Agradecer ao Reitor do CEULP/ULBRA, Adriano Chiarini, pela cessão da disponibilização dos laboratórios, facilitando muito o nosso trabalho.

Ao meu amigo e colega Ailton Barros, pela intermediação, junto aos sojicultores do estado do Tocantins que sem estes não seria possível a realização da pesquisa.

Aos empreendedores do campo, Sr. Eloi Pillati, Sr. Ricardo e Sr. Antônio Machado pela confiança em ceder suas terras para que fosse possível a realização do levantamento dos dados no campo.

A todos os professores e colegas do Doutorado que, de uma maneira ou outra, contribuíram para a concretização desta tese. Alguns acabaram se tornando grandes amigos em especial: José Geraldo.

Ao engenheiro de minas, Saulo e o acadêmico Walter pelo apoio e participação na execução do experimento.

Ao Professor Dr. José Maria, que muito nos auxiliou para a realização desse Doutorado.

A banca: Professores Dr. Emerson Guarda, Dra. Maria Cristina, Dr. José Maria e Dr. Sergio Donizete pelas contribuições visando melhorar a qualidade dessa tese, meu muito obrigado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xiii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Relação bioma Cerrado e Agronegócio da Soja (<i>Glycine max (L.) Merrill</i>)	3
2.1.1 Interação clima versus cultura da Soja.....	4
2.2 Atividades antrópicas no cultivo da Soja.....	5
2.3 Indicadores de qualidade do solo.....	6
2.3.1 Indicadores físicos de qualidade do solo	7
2.3.2 Indicadores químicos de qualidade do solo	8
2.3.3 Indicadores biológicos de qualidade do solo	9
2.4 Interação entre atividades antrópicas e os indicadores de qualidade do solo.....	10
3. OBJETIVOS	12
3.1 Objetivo geral	12
3.2 Objetivos específicos	12
4. MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1 Caracterização do ambiente da pesquisa	13
4.2 Plano de amostragem	13
4.2.1 Posicionamento das estações de coleta nas unidades produtivas	18
4.3 Coleta dos corpos de prova de solo	20
4.4 Mensuração da resistência mecânica à penetração no solo	21
4.5 Balanço hídrico da cultura da soja nas localidades geográficas amostradas	21
4.5.1 Estimativa da capacidade total de água no solo	21
4.5.2 Estimativa da demanda hídrica da cultura da soja (<i>Glycine max (L.) Merrill</i>)	22
4.6 Análise da microbiota do solo para os períodos: seco e úmido no bioma Cerrado tocantinense	23
4.6.1 Quantificação, por estimação, de microrganismos viáveis no solo	23
4.6.2 Identificação da diversidade microbiana por meio da técnica de DGGE	24
4.6.3 Perfil da comunidade de bactéria, fixadora de nitrogênio, do solo determinada através da técnica DGGE	24

4.6.4 Perfil da comunidade de fungos micorrízicos arbuscular no solo determinada através da técnica DGGE	26
4.6.5 Análise cromatográfica de solo pelo método de Pfeiffer	27
4.7 Tratamento estatístico dos indicadores de qualidade do solo	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 Estimativa do balanço hídrico climatológico para a cultura da soja nas regiões produtivas amostradas	30
5.1.1 Balanço hídrico para a região produtora de Porto Nacional – TO	30
5.1.2 Balanço hídrico para a região produtora de Pedro Afonso – TO	32
5.1.3 Balanço hídrico para a região produtora da Garganta na divisa TO/BA	35
5.2 Características edafovegetativas dos locais nas unidades produtivas amostradas ..	37
5.3 Análise dos indicadores de qualidade do solo, por estimativa, no bioma Cerrado tocantinense	39
5.3.1 Estimativa dos indicadores físicos de qualidade do solo	39
5.3.1.1 Composição granulométrica do solo	39
5.3.1.2 Resistência mecânica à penetração no solo	47
5.3.2 Estimativa dos indicadores químicos de qualidade do solo	54
5.3.3 Estimativa dos indicadores biológicos de qualidade do solo	87
5.3.3.1 Contagem de microrganismos viáveis	87
5.3.3.2 Análise da atividade microbiana em solos do Cerrado com e sem atividades antrópicas	98
6. CONCLUSÕES	100
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
8. ANEXOS	109
8.1 Tabelas adicionais	109
8.2 Figuras adicionais	111
8.3 Publicação	129

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Posicionamento geográfico das unidades produtivas amostradas.	14
Figura 2. Área de coleta, na unidade de produção 1, localizada na região da Garganta entre os municípios de Dianópolis – TO e Formosa do Rio Preto - BA.	15
Figura 3. Área de coleta, na unidade de produção 2, localizada no município de Pedro Afonso - TO.	16
Figura 4. Área de coleta, na unidade de produção 3, localizada no município de Porto Nacional - TO.	17
Figura 5. Coleta de corpos de prova de solo com uso do trado holandês.	20
Figura 6. Mensuração da resistência mecânica à penetração no solo com o equipamento – Falker – PLG 1020.	21
Figura 7. Placas de Petri utilizadas na análise cromatográfica.	28
Figura 8. Detalhe do cromatograma circular plana com zonas caracterizadas.	28
Figura 9. Balanço hídrico climatológico para Porto Nacional – TO, com CTA de 48,0 mm, pelo método Thornthwaite & Mather.	31
Figura 10. Comportamento da disponibilidade hídrica estimada para a cultura da soja em Porto Nacional – TO.	32
Figura 11. Balanço hídrico climatológico para Pedro Afonso – TO, com CTA de 48,0 mm, pelo método Thornthwaite & Mather.	34
Figura 12. Comportamento da disponibilidade hídrica estimada para a cultura da soja em Pedro Afonso – TO.	34
Figura 13. Balanço hídrico climatológico para divisa TO/BA, com CTA de 48,0 mm, pelo método Thornthwaite & Mather.	36
Figura 14. Comportamento da disponibilidade hídrica estimada para a cultura da soja na divisa TO/BA.	36
Figura 15. Área de coleta, na unidade de produção (UP 1), localiza na região da Garganta: (a) município de Dianópolis – TO e (b) Formosa do Rio Preto – BA.	37
Figura 16. Comportamento do indicador físico argila (%) em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	41
Figura 17. Comportamento do indicador físico areia (%) em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	43
Figura 18. Comportamento do indicador físico silte (%) em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	45
Figura 19. Comportamento da resistência mecânica do solo à penetração versus a profundidade do solo na região de produção de soja na divisa entre os estados do Tocantins e Bahia.	48
Figura 20. Comportamento da resistência mecânica do solo à penetração versus a profundidade do solo na região de produção de soja no município de Pedro Afonso - TO.	50

- Figura 21.** Comportamento da resistência mecânica do solo à penetração versus a profundidade do solo na região de produção de soja no município de Porto Nacional - TO. 52
- Figura 22.** Comportamento do indicador químico pH (CaCl_2) em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 56
- Figura 23.** Comportamento do indicador químico cálcio (Ca), cmolc/dm^3 , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 59
- Figura 24.** Comportamento do indicador químico magnésio (Mg), cmolc/dm^3 , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 61
- Figura 25.** Comportamento do indicador químico alumínio (Al), cmolc/dm^3 , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 64
- Figura 26.** Comportamento do montante dos indicadores químicos hidrogênio (H) e alumínio (Al), cmolc/dm^3 , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 66
- Figura 27.** Comportamento do indicador químico potássio (K), cmolc/dm^3 , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 69
- Figura 28.** Comportamento do indicador químico capacidade de troca de cátions (CTC), cmolc/dm^3 , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 72
- Figura 29.** Comportamento do indicador químico matéria orgânica (MO), g/dm^3 , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 75
- Figura 30.** Comportamento do indicador químico saturação de bases (SB), %, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 78
- Figura 31.** Comportamento do indicador químico fósforo (P) – Mehlich I, mg/dm^3 , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 81
- Figura 32.** Comportamento do indicador químico enxofre (S), mg/dm^3 , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 84
- Figura 33.** Perfil de DGGE do gene 16S rDNA e *nifH* (A e B) e 18S rDNA e da associação micorrízica arbuscular (C e D) das amostras do solo coletadas no período de seca (A e C) e no período úmido (B e D) em três diferentes pontos (E1-4 = área de plantio, E5-8 = APA da Serra Geral e E9-12 = área de reserva ambiental) e em três profundidades (P1- 0-10 cm, P2= 10-20 cm e P3 = 20-30 cm) dentro da unidade de produção (UP 1) localizada na divisa do território do estado de Tocantins e da Bahia. 90
- Figura 34.** Perfil de DGGE do gene 16S rDNA e *nifH* (A e B) e 18S rDNA e da associação micorrízica arbuscular (C e D) das amostras do solo coletadas no período de seca (A e C) e no período úmido (B e D) em três diferentes pontos (E13-16 = talhão de plantio, E17-20 = APA do Córrego efêmero e E21-24 = talhão de plantio 02) e em três profundidades (P1- 0-10 cm, P2= 10-20 cm e P3 = 20-30 cm) dentro da unidade de produção (UP 2) localizada no município de Pedro Afonso/TO. 94

- Figura 35.** Perfil de DGGE dos genes 16S rDNA e *nifH* (A e B) e 18S rDNA e da associação micorrízica arbuscular (C e D) das amostras do solo coletadas no período de seca (A e C) e no período úmido (B e D) em três diferentes pontos (E25-28 = talhão de plantio, E29-32 = Reserva ambiental e E23-36 = fragmentação antrópica) e em três profundidades (P1- 0-10 cm, P2= 10-20 cm e P3 = 20-30 cm) dentro da unidade de produção (UP 2) localizada no município de Porto Nacional/TO 97
- Figura A1.** Comportamento do indicador químico boro (B), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 112
- Figura A2.** Comportamento do indicador químico cobre (Cu), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 113
- Figura A3.** Comportamento do indicador químico ferro (Fe), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 114
- Figura A4.** Comportamento do indicador químico manganês (Mn), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 115
- Figura A5.** Comportamento do indicador químico molibdênio (Mo), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 116
- Figura A6.** Comportamento do indicador químico zinco (Zn), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 117
- Figura A7.** Comportamento do indicador químico sódio (Na), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 118
- Figura A8.** Comportamento do indicador químico cobalto (Co), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas. 119
- Figura A9a.** Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro da área de plantio na unidade de produção (UP1) localizada na região da Garganta entre Dianópolis – TO e Formosa do Rio Preto – BA. 120
- Figura A9b.** Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro da APA – Serra Geral circunvizinha a área de plantio na unidade de produção (UP1) localizada na região da Garganta entre Dianópolis – TO e Formosa do Rio Preto – BA. 121
- Figura A9c.** Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro da Reserva ambiental circunvizinha a área de plantio na unidade de produção (UP1) localizada na região da Garganta entre Dianópolis – TO e Formosa do Rio Preto – BA. 122
- Figura A10a.** Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro do Talhão de plantio 01 na unidade de produção (UP2) localizada em Pedro Afonso – TO. 123
- Figura A10b.** Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro da APA Córrego efêmero circunvizinha a área de plantio na unidade de produção (UP2) localizada em Pedro Afonso – TO. 124
- Figura A10c.** Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro do Talhão de plantio 02 na unidade de produção (UP2) localizada em Pedro Afonso – TO. 125

- Figura A11a.** Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro do Talhão de plantio 01 na unidade de produção (UP3) localizada em Porto Nacional – TO. 126
- Figura A11b.** Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro da Reserva ambiental circunvizinha a área de plantio na unidade de produção (UP3) localizada em Porto Nacional – TO. 127
- Figura A11c.** Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro de uma Fragmentação antrópica posicionada no centro do Talhão de plantio 01 na unidade de produção (UP3) localizada em Porto Nacional – TO. 128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Posicionamento geodésico das estações de coleta na unidade de produção (UP 1) e em áreas de preservação circunvizinhas.	18
Tabela 2. Posicionamento geodésico das estações de coleta na unidade de produção (UP 2) e em área de preservação de um córrego efêmero.	19
Tabela 3. Posicionamento geodésico das estações de coleta na unidade de produção (UP 3) e em áreas de preservação ambiental.	19
Tabela 4. Balanço hídrico climatológico para Porto Nacional – TO, com CTA de 48,0 mm, pelo método Thornthwaite & Mather.	31
Tabela 5. Balanço hídrico climatológico para Pedro Afonso – TO, com CTA de 48,0 mm, pelo método Thornthwaite & Mather.	33
Tabela 6. Balanço hídrico climatológico para divisa TO/BA, com CTA de 48,0 mm, pelo método Thornthwaite & Mather.	35
Tabela 7. Comportamento do indicador físico argila (%) em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	40
Tabela 8. Comportamento do indicador físico areia (%) em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	42
Tabela 9. Comportamento do indicador físico silte (%) em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	44
Tabela 10. Capacidade de penetração das raízes no solo, em mm, em função de sua resistência, em MPa, sob diferentes condições de umidade.	53
Tabela 11. Comportamento do indicador químico pH (CaCl ₂) em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	55
Tabela 12. Comportamento do indicador químico cálcio (Ca), cmolc/dm ³ , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	58
Tabela 13. Comportamento do indicador químico magnésio (Mg), cmolc/dm ³ , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	60
Tabela 14. Comportamento do indicador químico alumínio (Al), cmolc/dm ³ , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	63
Tabela 15. Comportamento do montante dos indicadores químicos hidrogênio (H) e alumínio (Al), cmolc/dm ³ , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	65
Tabela 16. Comportamento do indicador químico potássio (K), cmolc/dm ³ , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	68
Tabela 17. Comportamento do indicador químico capacidade de troca de cátions (CTC), cmolc/dm ³ , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	71
Tabela 18. Comportamento do indicador químico matéria orgânica (MO), g/dm ³ , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	74

Tabela 19. Comportamento do indicador químico saturação de bases (SB), %, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	77
Tabela 20. Comportamento do indicador químico fósforo (P) – Mehlich I, mg/dm ³ , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	80
Tabela 21. Comportamento do indicador químico enxofre (S), mg/dm ³ , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	83
Tabela 22. Contagem de células microbianas viáveis, períodos: seco e úmido, das amostras coletadas na unidade de produção UP 1.	89
Tabela 23. Contagem de células microbianas viáveis, nos períodos: seco e úmido, das amostras coletadas na unidade de produção UP 2.	92
Tabela 24. Contagem de células microbianas viáveis, nos períodos: seco e úmido, das amostras coletadas na Unidade de produção UP 3.	96
Tabela A1. Comportamento do indicador químico potássio (K), mg/dm ³ , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.	110

LISTA DE ABREVIATURAS

- APA – Área de preservação ambiental
BFN- Bactéria fixadora de nitrogênio
C – Elemento químico carbono
CAD – Capacidade de água disponível no solo
CEULP/ULBRA - Centro Universitário Luterano de Palmas
CO₂ – Dióxido de carbono
CTA - Capacidade total de água no solo
CTC – Capacidade de troca de cátions
CV – Coeficiente de variância
DERAL – Departamento de Economia Rural
DGGE - Eletroforese em Gel com Gradiente Desnaturante
DNA – Ácido desoxirribonucleico
E₁P₁ – Estação de coleta 1 e profundidade 1 (0-10 cm)
E₂P₂ – Estação de coleta 2 e profundidade 2 (10-20 cm)
E₃P₃ – Estação de coleta 3 e profundidade 3 (20-30 cm)
E₄P₄ – Estação de coleta 3 e profundidade 4 (90-100 cm)
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETP – Evapotranspiração potencial
FMA- Fungo micorrízico arbuscular
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MATOPIBA – Fronteira agrícola formada pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
ONU – Organização das Nações Unidas
P – Precipitação
p – nível de significância
PCR- Reação da polimerase em cadeia
PIB – Produto Interno Bruto
pH – Potencial Hidrogeniônico
RP – Resistência do solo à penetração das raízes
SAF – Sistema de produção agroflorestal
SEAB – Secretária de Agricultura e Abastecimento
SEAGRO – Secretaria de Agricultura e Pecuária
SPC – Sistema de produção convencional
T – Temperatura média do ar
UP – Unidade produtiva
USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
UTM – Universal Transversa de Mercator

RESUMO

HENRIQUE, Jacqueline. Impacto de atividades antrópicas, provocadas pela inserção da cultura da soja, sobre a microbiota e atributos físico químicos de solos no bioma Cerrado. 2019. 129 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede Bionorte) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

O crescimento da demanda mundial por alimentos, especialmente nos países em desenvolvimento, tem contribuído pelo aumento da incorporação de novas parcelas de áreas cobertas por matas nativas aos sistemas agrícolas de produção. Em detrimento disso, no território brasileiro, um dos biomas que vem de forma acelerada perdendo área natural para os sistemas agropastoris é o Cerrado, em grande parte negligenciando os impactos sobre a biodiversidade, especialmente a parte que se encontra abaixo da linha limite que separa a litosfera da atmosfera, compreendida pela camada agricultável, ambiente onde encontra-se parte dos seres vivos, responsáveis pela degradação da matéria orgânica, e da contribuição da decomposição mineralógica das rochas que formam os solos minerais, predominantes nesse bioma, sendo a cultura da soja (*Glycine max*) entre as de maior expansão no Cerrado. Nesse trabalho foi avaliado os impactos desta sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Utilizando-se amostragem por conglomerados selecionou-se três regiões produtivas, em cada uma, por amostragem casual, selecionou-se uma unidade produtiva e a partir da amostragem sistemática, demarcou-se as estações de coleta, dentro das áreas de plantio e de matas nativas. Com a mensuração e análise daqueles atributos, os resultados mostraram que os solos com maior teor de areia são mais susceptíveis a movimentação da argila e de lixiviação de nutrientes, quando retira-se a cobertura nativa para introdução da soja; as reservas ambientais são constantemente impactadas por substâncias químicas introduzidas nas áreas de plantio; as atividades antrópicas provocam mais impactos na microbiota do solo no período de escassez hídrica e que a atividade microbiana apresenta relação direta com a umidade e a matéria orgânica, e atividade inversa com o pH e a profundidade do solo. Portanto para mitigar o impacto da substituição da cobertura vegetal nativa por plantio agrícola, faz-se necessário a adoção de práticas conservacionistas, como: plantio em terraços e plantio direto na palha.

Palavras-chave: bioma Cerrado, atividades antrópicas, cultura da soja, indicadores de qualidade do solo, manejo do solo.

ABSTRACT

HENRIQUE, Jacqueline. Impact of the anthropic activities caused by the insertion of the soybean cultivation on the macrobiota and physicochemical attributes of the Cerrado biome soil. 2019. 129 f. Tese (Doutorate on Biodiversity and Biotechnology of Rede Bionorte) - Tocantins Federal University, Palmas, 2019.

The growth of the worldwide demand for food, especially in underdeveloped countries, has contributed for the increase of the incorporation of new plots of areas covered by native forests to the agricultural production systems. To the detriment of that, in the Brazilian land, one of the biomes that is losing natural area for the agropastoral systems in a fast way is the Cerrado, neglecting the impacts on the biodiversity, in large extent, especially the area that is below the limit line that separates the lithosphere from the atmosphere. That area comprehends the arable layer, the environment where there can be found part of the living organisms, that are responsible for the degradation of the organic matter, and the contribution of the mineralogical rock deterioration that form the mineral soils, prevailing in that biome, being the soybean crop (*Glycine max*) among the ones of largest expansion in the Cerrado. In this reasearch, the impacts of the soybean cultivation on the physicochemical and biological attributes of the soil were evaluated. Using the sampling by conglomerate procedure, there have been selected three productive regions; in each of them, it was selected a productive unit, through casual sampling, and starting from the systematic sampling, the gathering stations were demarcated, inside the planting and the native forests areas. With the measurement and analysis of those attributes, the results showed that the soils that contain the highest concentration of sand are more susceptible to the clay movement and nutrient leaching, when the native covering is removed in order to introduce the soybean crop; the environmental reserves are constantly impacted by chemical substances introduced in the planting areas; the anthropic activities cause more impacts on the soil microbiota in the water shortage period and that microbial activity presents direct relationship with humidity and organic matter and inverse relationship with the Ph and the soil depth. Thus, to mitigate the impact of the native vegetal covering substitution by the agricultural planting, the adoption of conservationist practices is needed, such as: the terrace cultivation and directly on the hay.

Keywords: Cerrado biome, anthropic activities, soybean culture, soil quality indicators, soil management.

1. INTRODUÇÃO

“A população mundial em meado de junho de 2017 era de, aproximadamente 7,6 bilhões de indivíduos, com previsão de chegar ao ano de 2050 com uma população de 9,8 bilhões de indivíduos, segundo dados do relatório divulgado pela ONU, em 21 de junho de 2017.” Se considerarmos que a população cresce em progressão geométrica, isso implicará em uma taxa de crescimento anual, de aproximadamente 0,77%. (UNITED NATIONS, 2017).

De acordo com este relatório entre os anos de 2017 e 2030 ocorrerá um acréscimo médio de 83 milhões de indivíduos nesta população, como a população dos países desenvolvidos tende a permanecer estável; se pressupõe que esse incremento ocorrerá principalmente nos países pobres e em desenvolvimento (UNITED NATIONS, 2017).

Conforme relatório do Banco Mundial, apresentado no site da revista Exame, 2018,” a previsão, quanto a economia mundial é que, para o ano de 2018, o produto interno bruto (PIB) cresça a uma taxa anual de 3,1%, enquanto que o PIB dos países emergentes crescerá a uma taxa de 4,5%, possivelmente, devido a um ambiente global favorável às exportações de commodities”. Portanto, o incremento crescente na população nos países em desenvolvimento associado à expansão da renda destes, levará ao aumento na demanda por alimentos; e sendo a commodity soja a base de fonte de proteína, lipídios e sais minerais, na dieta alimentar direta de muitos povos, e indiretamente como fonte destes nutrientes aos animais domésticos, ocorrerá inevitavelmente uma demanda crescente no planeta, especialmente nos países em desenvolvimento, por este grão, e seus derivados.

Essa hipótese pode ser confirmada, pelos dados do USDA, divulgados pelo (DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL/SEAB-PR, 2017), de que as exportações mundiais de soja em grão crescem anualmente. Estando em primeiro lugar como o maior exportador mundial, na média das últimas safras, o Brasil que é responsável por 41,06%, enquanto os norte-americanos, em segundo lugar, são responsáveis por 38,7% destas exportações.

O estado do Tocantins se destaca no cenário nacional, juntamente com os estados do Maranhão, Piauí e Bahia, como a nova fronteira agrícola, sendo esta fronteira conhecida como MATOPIBA, tendo a commodity soja grande destaque na produção agrícola deste estado. Segundo a (SECRETARIA DE AGRICULTURA DO TOCANTINS, 2014) o estado possui a maior área de plantio com essa cultura e seu produto é o carro chefe de

exportação para o mercado mundial, sendo os principais polos regionais de produção da soja, em terras altas: a região central composta principalmente pelos municípios de Porto Nacional, Silvanópolis e Santa Rosa; a região da Garganta com destaque para os municípios de Mateiros e Dianópolis; a região de Campos Lindos e Pedro Afonso.

A área plantada com esta cultura no estado do Tocantins vem crescendo continuamente, o que conseqüentemente provocará uma pressão sobre os biomas naturais, levando a uma diminuição da cobertura do solo pela vegetação nativa; sendo esta substituída pela inserção de plantas exóticas, como é o caso da cultura da soja. Esta mudança abrupta da cobertura do solo, bem como as práticas antrópicas utilizadas, provoca possivelmente alterações que vão além do nosso campo de visão, especialmente, logo abaixo da linha limite que separa a litosfera da atmosfera, que compreende a camada agricultável, ambiente onde encontra-se parte dos seres vivos, responsáveis pela degradação da matéria orgânica, e da contribuição da decomposição mineralógica das rochas que formam os solos minerais, predominantes no bioma cerrado.

Dentre estes seres vivos estão os microrganismos, que para buscarmos práticas de manejo do solo que sejam capazes de mitigar os impactos sobre eles, se faz necessário conhecê-los; para que a partir deste conhecimento, possa ser gerado subsídio para a implantação de instrumentos de valoração ambiental pelos serviços que estes seres desenvolvem ao meio ambiente.

Dessa forma, nesta pesquisa, teve-se como propósito estudar ambientes do Cerrado explorado pela cultura da soja, versus cobertura nativa, considerando os atributos químico, físico e biológico do solo, bem como fatores e elementos climáticos da região.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Relação bioma Cerrado e Agronegócio da Soja (*Glycine max (L.) Merrill*)

O Brasil é considerado um dos maiores *hotposts* de biodiversidade biológica do planeta, devido a diversidade de solo, as condições ambientais e sua extensão territorial continental (DIAS-FILHO, 2014). O bioma Cerrado encontra-se disperso no território brasileiro, predominantemente, entre os paralelos, 2° S e 23° S, e meridianos, 45° W e 63° W, apresentando uma área de aproximadamente 204 milhões de hectares, grande parte deste encontra-se no Planalto Central, o que o torna o segundo bioma brasileiro em extensão. (BROSSARD E BARCELLOS, 2005). Pelo posicionamento geográfico este bioma caracteriza-se de clima tropical. E por apresentar altitude média elevada, tem papel ecológico fundamental nas vazões das principais bacias hidrográficas brasileiras e do continente americano, (LIMA E SILVA, 2007).

Os latossolos são prevalentes neste bioma, correspondendo a 46% da área total, apresentando características edafológicas, como: textura, profundidade e relevo, propícias para o desenvolvimento de atividades agropastoris; no entanto, apresenta limitações como: acidez elevada e baixa saturação por bases, (BROSSARD E BARCELLOS, 2005).

Com a utilização de técnicas de manejo para correção destes fatores limitantes, e associado a um código florestal não restritivo ao uso do solo neste bioma, que autoriza incorporar até 80% da cobertura natural das propriedades rurais, inseridas neste bioma, em áreas com plantios cultivados. Nas últimas quatro décadas ocorreu uma transformação de, aproximadamente, 2 milhões de km² da cobertura natural em pastagens plantadas, culturas anuais e outros tipos de uso, Klink e Machado (2005); e esta combinação de fatores está contribuindo para uma acelerada transformação desta cobertura vegetal natural em artificial na ordem de 15,0% projetada para os próximos 10 anos, especialmente, na fronteira agrícola MATOPIBA, compreendendo terras situadas nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2017).

Essa acelerada expansão da área plantada com a cultura da soja nesta fronteira agrícola, MATOPIBA, poderá atingir uma área equivalente a 8,4 milhões de hectares, que em seu limite superior poderá alcançar 11,0 milhões de hectares; a produção de soja nos

estados que compreendem essa região deve passar de 20,5 milhões de toneladas de grãos em 2016/2017 para 26,5 milhões em 2026/27, em seu limite superior poderá atingir a marca de 33,0 milhões de toneladas de grãos, a depender da disponibilidade de água (MAPA/2017). Mas, este predomínio do interesse econômico sobre a conservação do meio ambiente provoca como consequência imediata a degradação ambiental, por meio da perda da camada de solo agrícola e a redução da população de diversas espécies de plantas e de animais, além dos efeitos indiretos sobre o clima e a população humana, (OLÍMPIO & LIRA MONTEIRO, 2008).

2.1.1 Interação clima versus cultura da Soja

Dentre os diversos fatores que provocam impactos na produção, bem como na produtividade, da cultura da soja encontram-se os parâmetros climáticos tendo estes um papel decisivo. Deste modo, o uso de informações meteorológicas e climáticas tornam-se imprescindíveis na busca de se atingir a sustentabilidade no cultivo desta cultura, (SIVAKUMAR et al., 2000).

A cultura da soja, assim como as demais culturas domesticadas pelo o homem, necessita da disponibilidade de água ao longo de seu desenvolvimento. Em trabalhos realizados na microrregião de Londrina-PR constatou-se que os maiores rendimentos de grãos foram obtidos com 650 a 700 mm de água, bem distribuídos em todo o ciclo; mas, este parâmetro torna-se limitante, tanto pelo excesso como pelo déficit, especialmente nos períodos: germinação-emergência e floração-enchimento. Sendo que esta demanda apresenta uma relação diretamente proporcional ao crescimento da planta, atingindo o seu máximo durante a floração e enchimento de grãos (7 a 8 mm/dia). (MONTEIRO, 2009).

Conforme Farias et al., (2007) para que esta cultura alcance uma produtividade com retorno econômico satisfatório, é necessário ser cultivada em ambiente com amplitude de temperatura entre 20 °C e 30 °C. Pois, quando plantadas em ambientes com temperaturas máximas de 10 °C provocam déficit de crescimento da planta, enquanto a temperatura acima de 40 °C ocasiona sequelas na floração e redução na capacidade de sustentação das vagens, este problema se potencializa quando ocorre interação com o déficit hídrico, EMBRAPA Soja, (2008).

De acordo com Maciel (2010), condições climáticas que propicie acréscimo na temperatura média do ar de no mínimo 2,8 °C, acima do limite máximo ideal, associado a uma redução do volume pluviométrico diário torna, economicamente, inviável o cultivo da soja. O autor concluiu, também, que as épocas de semeadura, para esta cultura, que estão menos propensas a sofrer danos econômicos com as variações climáticas no bioma cerrado tocantinense estão entre 15/11 e 24/12.

2.2 Atividades antrópicas no cultivo da soja

Conforme Doran & Parkin (1994), o equilíbrio da biodiversidade em um ambiente depende da preservação de diversos fatores, bióticos e abióticos; entre estes estão o solo, componente crítico da biosfera terrestre, de grande importância não apenas para este equilíbrio, mas também para os sistemas agropastoris.

Para o desenvolvimento de atividades agrícolas faz-se necessário a intervenção, parcial ou total, nesse equilíbrio com a retirada da cobertura vegetal e movimentação do solo, tendo como consequência o incremento da oxidação biológica do C orgânico a CO₂, contribuindo para o acréscimo da concentração desse gás na atmosfera, (REICOSKY & FORCELLA, 1998). Nestas atividades, também, ocorrem o consumo de combustíveis, de origem fósseis, e agrotóxicos, que apresentam níveis elevados de impactos negativos no meio.

Para a mitigar os efeitos negativos que as atividades agropastoris provocam no ambiente, faz-se necessário a adoção de técnicas de manejo conservacionistas, como o plantio direto. O Brasil apresenta potencial significativo na drenagem de CO₂ em virtude de possuir uma extensa área propensa ao plantio direto, “12 milhões de hectares, e sistemas de produção com elevada capacidade de acúmulo de resíduos, proporcionadas pelas práticas de manejo: rotação de culturas e cobertura morta. Sendo necessário o desenvolvimento de pesquisas que mensure os ganhos relacionados a utilização destas práticas”, que dependem dos parâmetros edafoclimáticos do ambiente local, (PARFITT et al.,1997); (ALVAREZ & LAVADO,1998).

Com a incorporação de áreas do bioma Cerrado aos sistemas de produção de grão, utilizando-se práticas intensivas de manejo do solo, fez-se necessário a incorporação de resíduos vegetais nativos, corretivos e fertilizantes, com grande variação de processos de preparo do solo. Estes processos utilizados de modo contínuo poderão provocar a pulverização do solo, tendo como consequências a exposição dos compostos orgânicos e microrganismos, bem como da formação de uma zona compactada abaixo da camada de aração, (SEGUY et al.,1984).

Apesar das evidências que as práticas de manejo conservacionistas de solo proporcionam na mitigação dos efeitos negativos que as atividades agropastoris provocam ao meio, em estudo desenvolvido por Costa et al. (2006) não se constatou diferenças significativas na qualidade dos solos cultivados sob sistemas de preparo convencional e plantio direto, e que o uso do solo sob vegetação de cerrado para a produção agrícola, independentemente do sistema de cultivo, resulta em modificações nos atributos de qualidade do solo.

2.3 Indicadores de qualidade do solo

Na sociedade contemporânea há o paradigma de que a sustentabilidade da biosfera terrestre está intimamente relacionada com qualidade da água e do ar, e de como o uso inadequado destes recursos poderá afetar, também, a saúde humana. No entanto, a importância da manutenção da qualidade do solo para a humanidade, como para o desenvolvimento dos sistemas de produção agropastoris é recente, (MENDES et al.,2011). Entretanto, há uma multiplicidade de fatores que impactam na qualidade do solo, bem como as interações deles ao longo do tempo e do espaço; dificultando-se identificar parâmetros predominantes para servir como indicadores do seu funcionamento. Desse modo, nas análises de qualidade do solo deve-se englobar um quantitativo mínimo de indicadores biológico, físico e químico, (DORAN & PARKIN, 1994).

2.3.1 Indicadores físicos de qualidade do solo

Os indicadores físicos desempenham papéis fundamentais para a sustentabilidade dos sistemas agropastoris, (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005). Em virtude da facilidade de mensuração e baixo custo, os indicadores físicos de maior destaque em programas que visam avaliar a qualidade do solo, bem como o efeito da conversão de áreas nativas em lavouras e pastagens (Leão et al., 2006), e comparação entre sistemas de manejo e de uso do solo (Oliveira et al., 2004) são: densidade, porosidade, condutividade hidráulica, curva de retenção de água (Balbino et al., 2004) e a resistência à penetração das raízes, Imhoff et al. (2000). Em pesquisa realizada por Marchão et al. (2007) foi constatado que sistemas de integração lavoura-pecurária provocam impactos na qualidade físico-hídrica do solo, na camada superficial de 0 a 5 cm, quando comparada às condições naturais do bioma Cerrado.

De acordo com Santana & Bahia Filho (1998), em programas de avaliação da qualidade do solo deve-se mensurar os atributos físicos que podem sofrer alterações em médio prazo, como: densidade, porosidade, estado de agregação e de compactação, e penetração das raízes. Em estudo comparativo de dois sistemas de produção, agroflorestal (SAF) e convencional (SPC) realizado por Carvalho et al. (2004), observou-se que a densidade ao longo do perfil do solo permaneceu dentro dos limites considerado normal no SAF, enquanto no SPC ultrapassou os limites críticos, resultando em leve compactação do solo.

Com relação a porosidade total, solos sob SAF apresentam níveis considerados normais para latossolos do Cerrado, enquanto sob SPC apresentam níveis acima do normal; possivelmente este fato deve-se entre outros fatores à agregação do solo proporcionada pela maior atividade biológica, (RESCK, 1981).

Com relação a resistência mecânica à penetração, Carvalho et al. (2004) constatou que no solo sob SAF é menor em todas as camadas ao longo do perfil quando comparado ao solo sob SPC.

2.3.2 Indicadores químicos de qualidade do solo

“Os solos do bioma Cerrado apresentam uma singularidade quanto aos indicadores químicos propiciado pela constituição do material de origem e pelo elevado processo de intemperismo, o que os tornam naturalmente ácidos e com baixos teores de cátions básicos, como: cálcio, magnésio e fósforo” e apresentando elevada concentração de alumínio, tornando-os limitados para os sistemas agropastoris, em condições naturais. (FAGERIA & GHEYI, 1999; SILVEIRA et al., 2000).

Nesse bioma é marcante os períodos seco e chuvoso, favorecendo o planejamento das atividades antrópicas utilizadas no desenvolvimento dos sistemas produtivos agropastoris. “Os solos normalmente apresentam relevo levemente ondulado e profundos, com características físicas adequadas para uso agrícola”. (SIQUEIRA NETO et al., 2009).

Conforme Bernoux et al., 2004; Lal, 2003 o incremento de áreas do bioma Cerrado aos sistemas produtivos agropastoris utilizando-se apenas técnicas de manejo convencionais, por meio de derrubada e queima de vegetação natural, apresenta como consequência a diminuição da matéria orgânica, da fertilidade e da erosão do solo, e elevação do custo total de produção.

Para minimizar estes efeitos negativos sobre o solo, se faz necessário a adoção de práticas de manejo sustentáveis do solo que propicie o acúmulo de carbono (C), acarretando aumento na capacidade de troca de cátions (CTC) no solo e na disponibilidade de nutrientes para as plantas, (BAYER & MIELNICZUK, 1997).

Siqueira Neto et al. (2009), em estudos desenvolvidos em solos do bioma Cerrado constataram teores mais elevados de CTC e Soma de bases (SB) nas camadas superficiais, e, maiores teores de C no solo, decrescendo com a profundidade. No entanto, a saturação por bases (V%) foi muito baixa, em todas as camadas, devido aos elevados teores de H + Al, confirmados pelos baixos valores no pH do solo. Os autores observaram, também, correlação positiva entre os teores de C, proveniente da matéria orgânica, com a CTC; mas, mesmo assim o solo apresentou os menores teores de nutrientes (cátions trocáveis, P-disponível e enxofre), Concluindo que isso se deveu aos baixos valores de pH e saturação por bases, e que o fracionamento da matéria orgânica promoveu retenção dos elementos mais próximos à superfície favorecendo a absorção pelas plantas.

2.3.3 Indicadores biológicos de qualidade do solo

Poucos estudos têm comparado a comunidade microbiana das áreas de plantio em relação aquelas de preservação ambiental em função da profundidade e da disponibilidade de água no solo. A disponibilidade de água é um dos principais fatores que limitam o crescimento e a atividade microbiana (MADIGAN et al., 2010).

A biomassa microbiana e sua atividade são reconhecidas como os parâmetros de maior sensibilidade às alterações na qualidade do solo, provocadas por intervenções no uso e práticas de manejo; pois, a microbiota do solo é decisiva na decomposição dos compostos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia do solo, (TRANNIN et al., 2007). Eles auxiliam na mineralização de compostos orgânicos e na assimilação e fixação biológica de nitrogênio (FBN) (VITOUSEK et al., 2002).

No ciclo do carbono (C) a biomassa microbiana desempenha papel imprescindível, com grande capacidade de armazenar nutrientes nos solos e de ciclagem destes, em diferentes ecossistemas, (GAMA-RODRIGUES & GAMA-RODRIGUES, 2008). Os indicadores biológicos são de grande relevância na avaliação prematura de alterações, especialmente, indesejáveis provocadas pelo manejo sobre a qualidade do solo, o que propicia tomadas de decisões com respostas mais rápidas de efeito corretivos ou de controle, oportunizando a sustentabilidade, ou não, dos sistemas produtivos, (CHAER & TÓTOLA, 2007).

Cardoso et al. (2009) constatou que a substituição da floresta nativa por pastagem cultivada diminui os teores de carbono orgânico total, carbono microbiano e o quociente microbiano, e aumenta a respiração basal. E que o carbono microbiano é o atributo mais sensível às alterações no solo, proporcionada por este mecanismo de substituição.

Os microrganismos diazotróficos podem contribuir com grande proporção do nitrogênio no solo (WARTIAINEN et al., 2008). Por esta apresentar regiões altamente conservadas entre as bactérias diazotróficas ou bactérias fixadoras de nitrogênio (BFN), o gene *nif H* tem sido muito utilizado em estudos para investigar atividade microbiana na fixação do nitrogênio, a fertilidade do solo e as alterações na diversidade dessas bactérias após interferência humana no ambiente (ZEHR et al., 2003, FALEIRO, 2011).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) constituem um importante componente da microbiota do solo em ecossistemas naturais (VERMA et al., 2008). Eles formam associações mutualistas com as plantas contribuindo para nutrição mineral e disponibilidade de água em solo agrícolas e florestais (OEHL et al., 2011).

2.4 Interação entre atividades antrópicas e os indicadores de qualidade do solo

O nível de impacto da substituição da cobertura florestal nativa por cobertura composta por plantas domesticadas pelo homem está intimamente relacionado ao tipo de manejo do sistema produtivo adotado e das práticas agrícolas, (SILVA et al., 2007).

Nas últimas décadas, houve intensificação de pesquisas com o intuito de avaliar a qualidade do solo, e a mensuração de alterações nos seus atributos, proporcionada pela intensificação de sistemas de uso e manejo, com objetivo de promover a utilização ampla de sistemas de produção sustentáveis, (NEVES et al., 2007).

A compreensão dos papéis biológicos da microbiota do solo em termos de reabilitação é fundamental no contexto ecofuncional de áreas degradadas por atividades antrópicas, tendo em vista que a diversidade, bem como a atividade microbiana do solo constituem fatores importantes na sustentabilidade dos ecossistemas. “A diminuição da diversidade da comunidade microbiana do solo pode comprometer não só a perda de funções fundamentais do solo e de espécies de microrganismos potenciais mitigadoras das causas do depauperamento do solo; mas também reduzir a capacidade dos sistemas naturais de superar as alterações neles impostas” (NÓBREGA et al., 2004).

Segundo Gonzalez et al. (2009), a utilização de fungos micorrizas arbusculares (FMAs) no processo de recuperação de áreas degradadas torna-se uma alternativa biotecnológica viável no mecanismo de reabilitação dos parâmetros morfológicos do solo expressos pelos seus indicadores de qualidade. Pois, estes microrganismos promovem incrementos significativos da área radicular de absorção das plantas colonizadas, maximizando o aproveitamento de água e nutrientes, como Cálcio, Fósforo, Nitrogênio e Potássio.

Em relação a mudança do uso do solo, (Lupatini et al., 2013) acessaram a comunidade bacteriana em solos de áreas com cobertura natural no bioma Pampa, e compararam esta comunidade com as encontradas no mesmo solo sob diferentes tipos de uso. Constataram que a mudança no uso da terra levou a alterações taxonômicas; mas, não observaram diferenças funcionais dessas comunidades.

Rodrigues et al. (2013) verificaram que quando ocorre a conversão de uma área de cobertura nativa para uma cobertura formada por plantas cultivadas provoca uma homogeneização na microbiota dos solos.

Estes estudos preconizam que o cultivo das plantas domesticadas, em larga escala, promove seleção de determinados grupos microbianos, o que explica a homogeneização dos solos, e a consequente erosão da beta diversidade (características dos biomas naturais) em áreas de cultivos agropastoris, ANDREOTE (2014).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Diagnosticar o impacto das atividades antrópicas provocadas pela inserção da cultura da soja sobre a microbiota e atributos físico-químicos de solos do bioma cerrado no estado do Tocantins-Brasil.

3.2 Objetivos específicos

Caracterizar os ambientes em que se encontram as unidades produtivas a serem selecionadas, por conglomerados e casuisticamente, para compor a amostra, sob os aspectos: clima, vegetação e solo;

Analisar a composição físico-química do solo na porção da superfície, até a profundidade correspondente à profundidade efetiva das raízes da cultura, nas unidades produtivas;

Determinar as necessidades hídricas e nutricionais, bem como o pH do solo que propicie um ótimo desempenho da cultura da soja explorada nas unidades produtivas;

Mensurar, qualitativamente e quantitativamente, a população de microrganismos do solo: dentro e fora da área plantada com esta cultura;

Avaliar o comportamento da percolação de fertilizantes sobre a população de microrganismos do solo na área explorada com esta cultura, bem como nas áreas adjacentes com cobertura natural;

Estimar o papel da microbiota do solo nesse bioma sobre o desempenho da cultura, e suas relações com as atividades antrópicas utilizadas;

Desenvolver modelos matemáticos que expresse a relação entre as atividades antrópicas utilizadas na produção da soja e as características edafoclimáticas sobre a microbiota do solo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização do ambiente da pesquisa

O espaço geográfico, do estado do Tocantins - Brasil, objeto de estudo deste trabalho foram as regiões geográficas em que se concentram as áreas plantadas com a cultura da soja (*Glycine max*), sendo estas: a região central (composta principalmente pelos municípios: Porto Nacional, Silvanópolis e Santa Rosa), a região da Garganta (composta pelos municípios: Mateiros e Dianópolis) e a região de Campos Lindos e de Pedro Afonso. A caracterização destas regiões quanto à classificação climática, de: C2wA'a'' (Clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica) para a região central e os municípios de Campos Lindos, Pedro Afonso e Mateiros, e C2w2A'a' (Clima úmido subúmido com pequena deficiência hídrica) para o município de Dianópolis. Quanto à declividade: os solos na região central, e nos municípios de Campos Lindos, Pedro Afonso e Mateiros concentram-se solos classificados como de Classe A (declividade igual ou inferior a 5%), enquanto nos solos do município de Dianópolis concentram-se solo de Classe C (declividade maior que 10% e igual ou inferior a 15%). Com relação à classificação de solos, na região central há predominância de latossolos e plintossolos, na região que compreende os municípios de Campos Lindos e Pedro Afonso há predominância de neossolos e latossolos; enquanto no município de Mateiros predomina solos do tipo neossolos, e no município de Dianópolis há predominância de solos cambissolos e neossolos. Quanto à fito ecologia, nestas áreas concentram-se, predominantemente, regiões de Cerrado e de Tensão Ecológica (Encrave Cerrado/Floresta Estacional), conforme ATLAS DO TOCANTINS (2012).

4.2 Plano de amostragem

A amostra utilizada nesta pesquisa foi obtida a partir de unidades produtivas representativas das regiões geográficas, citadas, da superfície do bioma Cerrado Tocantinense alteradas com a introdução da cultura da soja (*Glycine max (L.) Merrill*). Para a composição dessa amostra, formada pelas estações de coleta, utilizou-se a técnica de amostragem por conglomerados, em que esta propiciou a seleção de três destas regiões, ou seja, área com plantio desta cultura; em cada uma destas áreas foram selecionadas uma

unidade produtiva, por amostragem aleatória simples; mas, representativa do ambiente. Na Figura 1, pode-se observar o comportamento da distribuição, e distância geográfica destas unidades produtivas selecionadas, em cada área de plantio.

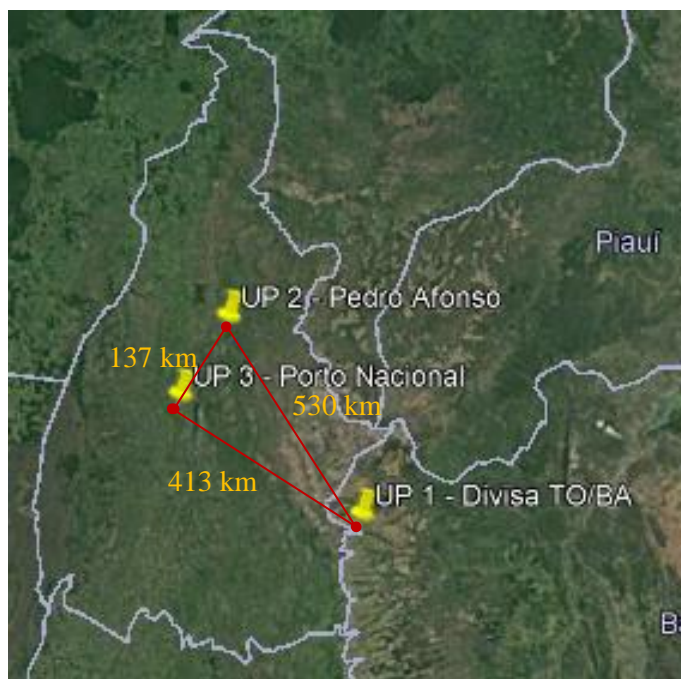


Figura 1. Posicionamento geográfico das unidades produtivas amostradas

Em cada unidade produtiva foram selecionadas aleatoriamente, as estações de coleta, dentro da área de plantio, e em áreas com cobertura vegetativa natural adjacentes às áreas de plantio.

A unidade produtiva (UP 1), localizada na região da Garganta, na divisa dos estados do Tocantins e da Bahia, entre os municípios de Dianópolis - TO e Formosa do Rio Preto – BA. Na Figura 2, observa-se esta unidade produtiva, bem como as estações de coleta que compõe a sub amostra definida nesta unidade.



Figura 2. Área de coleta, na unidade de produção 1, localizada na região da Garganta entre os municípios de Dianópolis – TO e Formosa do Rio Preto – BA.

Imagem: Google Earth, acesso: 08/09/2016.

Dentro da área de plantio encontram-se as estações de coleta E1 a E4, na área de reserva da Serra Geral as estações E5 a E8, enquanto na área de reserva ambiental, adjacente a essa área de plantio, localizada no município de Formosa do Rio Preto – BA, as estações E9 a E12.

A unidade produtiva (UP 2), está localizada na região de plantio do município de Pedro Afonso - TO. Na Figura 3, observa-se esta unidade produtiva, bem como as suas respectivas estações de coleta que compõe a sub amostra definida nesta unidade.

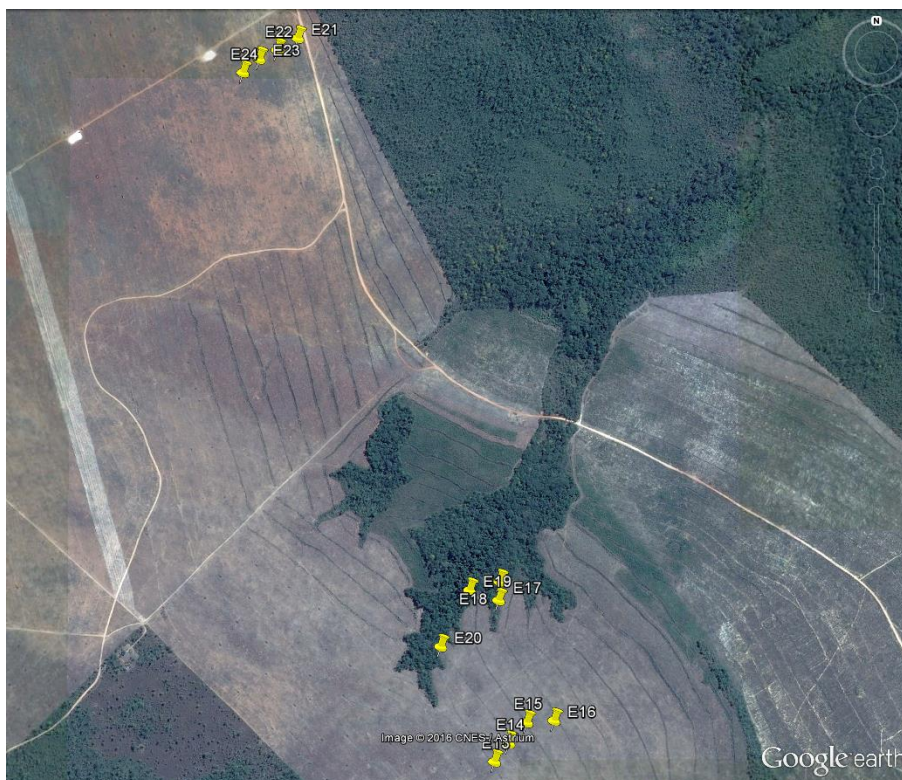


Figura 3. Área de coleta, na unidade de produção 2, localizada no município de Pedro Afonso – TO.

Imagem: Google Earth, acesso: 11/09/2016.

As estações de coleta E13 a E16 foram posicionadas em uma área de plantio com pouca cobertura morta, três anos de plantio, e predominância de solo com cor cinza claro. As estações E17 a E20 foram dispostas numa área de preservação de mata de galeria em um córrego efêmero, com desnível acentuado, presença de cascalho na superfície e ao longo do perfil do solo, circundada por plantio de soja. Já as estações de coleta E21 a E24 foram observadas numa área de produção de soja, com presença significativa de cobertura morta, também com três anos de plantio, solo de cor vermelho-amarelo em sua predominância.

A unidade produtiva (UP 3), situada no município de Porto Nacional - TO. Na Figura 4, observa-se esta unidade produtiva, bem como as suas respectivas estações de coleta que compõe a sub amostra definida nesta unidade.



Figura 4. Área de coleta, na unidade de produção 3, localizada no município de Porto Nacional – TO.

Imagem: Google Earth, acesso: 11/09/2016.

As estações de coleta E25 a E28 foram observadas numa área de integração lavoura-pecuária, cultura soja e rebanho bovino de corte, plantio com pouca cobertura morta, com solo de cor vermelho-amarelo predominante, ocorrência bastante de cascalho na superfície, e ao longo do perfil do solo, exceto na porção da superfície correspondente às estações E25 e E26, e presença de plantas invasoras. As estações de coleta E29 a E32, foram observadas numa área de preservação do bioma cerrado, característico da propriedade, com folhagem na superfície, e bastante cascalho e raízes adventícias na superfície e ao longo do perfil do solo, nesta área há presença de uma calha natural de escoamento d'água superficial. E as estações de coleta de E33 a E36 foram observadas numa área de fragmentação antrópica, posicionada no centro de uma das áreas de plantio de soja, solo de cor vermelho escuro, com vegetação arbórea, de 15 a 20 m, predominante, bastante folhagem na superfície e raízes adventícias ao longo do perfil.

4.2.1 Posicionamento das estações de coleta nas unidades produtivas

Os dados de posicionamento terrestre, UTM, das estações de coleta nas unidades produtivas selecionadas foram mensuradas através de um receptor-GPSmap 76CSx (fabricante: GARMIN), enquanto as coordenadas geográficas das respectivas estações foram georreferenciados pelo software online Google Earth entre os dias 08 e 11 de setembro de 2016.

A coleta das coordenadas terrestres das estações observadas na unidade produtiva 1 (UP 1), ocorreu no dia 07/09/2016, os dados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Posicionamento geodésico das estações de coleta na unidade de produção (UP 1) e em áreas de preservação circunvizinhas.

Área de coleta	Estações de coleta ¹	Altitude (m)	Coordenadas			
			UTM (m)		Geográfica	
Talhão de plantio (UP1)	E1	836 ± 0	371.627	8.716.535	11°36'30,86''S	46°09'57,59''W
	E2	836 ± 1	371.670	8.716.546	11°36'18,33''S	46°10'16,79''W
	E3	836 ± 4	371.732	8.716.558	11°36'27,80''S	46°10'35,55''W
	E4	840 ± 2	371.815	8.716.565	11°36'27,59''S	46°10'32,82''W
APA Serra Geral	E5	840 ± 1	371.712	8.716.382	11°36'33,53''S	46°10'36,24''W
	E6	839 ± 2	371.768	8.716.354	11°36'34,45''S	46°10'34,40''W
	E7	836 ± 2	371.821	8.716.317	11°36'34,06''S	46°10'31,63''W
	E8	836 ± 3	371.882	8.716.309	11°36'31,23''S	46°10'28,36''W
Reserva ambiental	E9	824 ± 1	377.702	8.718.351	11°35'35,55''S	46°07'44,19''W
	E10	826 ± 2	377.734	8.718.379	11°36'11,74''S	46°08'44,00''W
	E11	826 ± 1	377.755	8.718.408	11°35'28,37''S	46°07'16,46''W
	E12	825 ± 0	377.800	8.718.413	11°35'28,22''S	46°07'14,97''W

¹Encontram-se no fuso UTM: 23L.

A coleta das coordenadas terrestres das estações observadas na unidade produtiva 2 (UP 2), ocorreu no dia 09/09/2016, os dados estão apresentados na Tabela 2. Enquanto, os dados de posicionamento geodésico obtidos nas estações de coleta na unidade de produção (UP 3) ocorreram no dia 10/09/2016 compreendida na estação seca, como pode-se observar na Tabela 3.

Tabela 2. Posicionamento geodésico das estações de coleta na unidade de produção (UP 2) e em área de preservação de um córrego efêmero.

Área de coleta	Estações de coleta ¹	Altitude (m)	Coordenadas			
			UTM (m)		Geográfica	
Talhão de plantio 01	E13	245 ± 0	824.956	8.991.275	9°06'48,47''S	48°02'37,93''W
	E14	242 ± 1	824.995	8.991.324	9°06'46,86''S	48°02'36,67''W
	E15	241 ± 3	825.044	8.991.379	9°06'45,06''S	48°02'35,08''W
	E16	246 ± 1	825.117	8.991.383	9°06'44,91''S	48°02'32,69''W
APA Córrego efêmero	E17	243 ± 2	824.974	8.991.754	9°06'32,89''S	48°02'37,47''W
	E18	246 ± 9	824.971	8.991.704	9°06'34,51''S	48°02'37,56''W
	E19	255 ± 1	824.893	8.991.732	9°06'33,62''S	48°02'40,12''W
	E20	235 ± 2	824.814	8.991.582	9°06'38,52''S	48°02'42,66''W
Talhão de plantio 02	E21	235 ± 2	824.439	8.993.220	9°05'45,36''S	48°02'55,37''W
	E22	222 ± 1	824.384	8.993.187	9°05'46,44''S	48°02'57,16''W
	E23	227 ± 4	824.335	8.993.163	9°05'46,92''S	48°02'55,02''W
	E24	226 ± 5	824.291	8.993.126	9°05'48,45''S	48°03'0,19''W

¹Encontram-se no fuso UTM: 22L.

Tabela 3. Posicionamento geodésico das estações de coleta na unidade de produção (UP 3) e em áreas de preservação ambiental.

Área de coleta	Estações de coleta ¹	Altitude (m)	Coordenadas			
			UTM (m)		Geográfica	
Talhão de plantio 01	E25	394	752.627	8.875.063	10°10'6,49''S	48°41'39,49''W
	E26	392	752.702	8.875.070	10°10'6,25''S	48°41'37,04''W
	E27	391	752.734	8.875.068	10°10'6,30''S	48°41'35,98''W
	E28	388	752.806	8.875.074	10°10'6,09''S	48°41'33,62''W
Reserva ambiental	E29	388	752.810	8.875.223	10°10'1,25''S	48°41'33,53''W
	E30	389	752.780	8.875.193	10°10'2,23''S	48°41'34,50''W
	E31	392	752.712	8.875.165	10°10'3,15''S	48°41'36,73''W
	E32	394	752.667	8.875.195	10°10'2,19''S	48°41'38,21''W
Fragmentação antrópica	E33	395	752.836	8.874.811	10°10'14,64''S	48°41'32,58''W
	E34	395	752.843	8.874.788	10°10'15,39''S	48°41'32,34''W
	E35	395	752.816	8.874.767	10°10'16,08''S	48°41'33,22''W
	E36	395	752.811	8.874.790	10°10'15,33''S	48°41'33,39''W

¹Encontram-se no fuso UTM: 22L.

4.3 Coleta dos corpos de prova de solo

Nas 36 estações de coleta selecionadas, após a mensuração do seu posicionamento terrestre, realizou-se a coleta dos corpos de prova de solo, em quatro profundidades: 0 a 10 cm, (P1) 10 a 20 cm (P2), 20 a 30 cm (P3) e 90 a 100 cm (P4), cada profundidade com três repetições, estas foram realizadas em dois momentos: período seco (setembro/2016) e período úmido (janeiro/2017). Sendo que as três primeiras profundidades, foram definidas em função da profundidade efetiva da cultura da soja que é, em média, de 40cm, e em função da atividade microbiana dos solos. A coleta de solo na profundidade de 90 a 100 cm serviu para análise do efeito da lixiviação de elementos químicos oriundos de fertilizantes e agrotóxicos aplicados na área de plantio.

Em cada uma das estações, a coleta foi realizada com utilização do trado holandês, ver Figura 5, conforme metodologia proposta por (RAIJ, 2001).



Figura 5. Coleta de corpos de prova de solo com uso do trado holandês.

Os corpos de prova de solo coletados, em cada estação, nas respectivas profundidades, foram subdivididos em três repetições, formando desta forma três amostras; uma das amostras, composta pelas trinta e seis estações nas quatro profundidades, foi

enviada para análise dos indicadores físico-químicos no laboratório Terra – Análises para Agropecuária, localizado em Goiânia - GO; outra amostra foi enviada para análise dos indicadores da microbiota no Laboratório de Microbiologia da Universidade Federal de Viçosa – MG; e a terceira amostra foi utilizada para análise cromatográfica circular plana desenvolvida por Ehrenfried Pfeiffer, conforme Pinheiro (2011), realizada no laboratório de solos do Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA.

4.4 Mensuração da resistência mecânica à penetração no solo

Em cada estação de coleta, nas unidades produtivas selecionadas, nos períodos: seco e úmido, com o auxílio do equipamento eletrônico penetrômetro, modelo: Falcker – PLG 1020, com cone de 12,3 mm na extremidade da haste, mensurou-se a resistência mecânica à penetração no solo na profundidade de 0 a 100 cm, com intervalos de 2,5 cm, ver Figura 6.



Figura 6. Mensuração da resistência mecânica à penetração no solo com o equipamento – Falcker – PLG 1020.

4.5 Balanço hídrico da cultura da soja nas localidades geográficas amostradas

4.5.1 Estimativa da capacidade total de água no solo

Este parâmetro hídrico apresenta relação diretamente proporcional com a profundidade específica do sistema radicular (Z), sendo essa correspondente a 80% do

volume total de raízes com pelos absorventes. Klar (2008) indica que para a cultura da soja este parâmetro anatômico pode variar de 30 a 100 cm. A capacidade total de água no solo foi estimada a partir de recomendação prática sugerida por Doorenbos e Kassam (1994) que consiste no produto da profundidade específica do sistema radicular, de 40 cm, e da capacidade de água disponível média, 1,2 mm/cm; esse valor físico escalar foi estimado com base na medida de tendência central, a partir do parâmetro morfológico do solo, a textura; conforme faixa de valores citada por Bernardo (2006), em que para solos de textura média poderá variar de 0,8 a 1,6 mm/cm do solo. Deste modo, a capacidade d'água disponível no solo (CAD) foi estimada a partir da equação 1:

$$CAD = CAD_{média} \times Z \quad (1)$$

Como a cultura observada nesta pesquisa foi a cultura da soja, e tendo assumido para esta uma profundidade específica do sistema radicular como sendo de 40 cm, portando o valor obtido para a CAD foi de 48,0 mm.

4.5.2 Estimativa da demanda hídrica da cultura da soja (*Glycine max (L.) Merrill*)

As séries históricas utilizadas para estimação da demanda hídrica da cultura da soja nas três localidades geográficas utilizada nessa pesquisa, foram: de 1996 a 2016 da estação meteorológica 83235 (Taguatinga – TO) para a unidade produtiva 1 (UP 1); de 1994 a 2016 da estação meteorológica 82863 (Pedro Afonso – TO) para a unidade produtiva 2 (UP 2); e de 1994 a 2016 da estação meteorológica 83033 (Palmas – TO) para a unidade produtiva 3 (UP 3). A partir dos dados observados nestas séries, estimou-se as médias mensais das variáveis climatológicas: temperatura média do ar (T), precipitação (P), e evapotranspiração potencial (ETP) destas respectivas, unidades produtivas. A partir destas variáveis e da capacidade d'água disponível no solo (CAD), mensurada através da equação 1, desenvolveu-se o balanço hídrico climatológico para a cultura pelo método de (THORNTHWAITE & MATHER, 1955 apud ROLIM, 1999).

4.6 Análise da microbiota do solo para os períodos: seco e úmido no bioma Cerrado tocaninense

4.6.1 Quantificação, por estimação, de microrganismos viáveis no solo

A quantificação dos microrganismos no solo foi realizada por estimativa ao nível de significância, $p < 0,05$. Para a execução deste procedimento, utilizou-se dez gramas de cada corpo de prova de solo, sendo esta adicionada no recipiente Erlenmeyer contendo 90 mL de solução salina (cloreto de sódio, 0,85 % m/v), conforme (SABINO, 2007). Essa mistura foi agitada por um período de uma hora a 200 rpm. Em seguida esse material foi filtrado, com a utilização de papel filtro. A suspensão obtida foi armazenada a uma temperatura de 4 °C; posteriormente, foi realizada uma série de diluições (de 10^{-1} a 10^{-7}) a partir de 1 mL desta solução em suspensão. Retirou-se um volume de 100 µL de cada uma destas diluições, adicionando-as sobre meio de cultura sólido específico para cada microrganismo e espalhando-a com auxílio da alça de Drysgaki. Esse procedimento foi repetido em triplicatas, e as placas foram incubadas a uma temperatura de 25 °C.

Para a quantificação, ao nível de significância ($p < 0,05$), de bactérias fixadoras de nitrogênio, foi utilizado meio de cultura ágar nutriente (para 1 L: 15 g de ágar, 1,5 g de extrato de carne, 5 g de cloreto de sódio e 5 g de peptona), segundo metodologia descrita por (SABINO, 2007). Após a esterilização a uma temperatura de 121 °C, por 20 minutos, foi adicionado 0,3 mL de nistatina, de modo que o pH foi estabilizado ao nível 7,0, ou seja, neutro. Por fim, estas placas foram incubadas por um período de 3 dias.

Utilizou-se o procedimento meio Martin (para 1 L: 15 g de ágar, 1 g de fosfato dibásico de potássio, 1 g de sulfato de magnésio, 5 g de peptona e 10 g de glicose) contendo rosa-bengala (0,1 % m/v) para a contagem de fungos filamentosos (MARTIN, 1950). Nesse meio foi adicionado, também, 1 mL de estreptomicina (0,03 g/100 mL), de modo que o pH deste meio se mantivesse ao nível de 5,8. A bateria de placas com este composto foi incubada por um período de 7 dias.

A mensuração das colônias de actinomicetos ocorreu em meio seletivo contendo glicerol (para 1 L: 15 g de ágar, 0,3 g de caseína hidrolisada, 10 g de glicerol, 2 g nitrato de potássio, 2 g de cloreto de sódio, 2 g de fosfato dibásico de potássio, 0,05 g de sulfato de magnésio heptahidratado, 0,02 g de carbonato de cálcio, 0,01 g de sulfato ferroso

heptahidratado), proposto por Rodrigues (2007). A bateria de placas com este composto foi incubada por um período de 7 dias.

Expressou-se em escala logarítmica da unidade formadoras de colônia (UFC) por grama de solo amostrado os resultados da quantificação da biomassa microbiana.

4.6.2 Identificação da diversidade microbiana por meio da técnica de DGGE

A caracterização do perfil, por estimacão, da diversidade de bactérias fixadoras de nitrogênio (BFN) e fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) foi realizada através da técnica de gradiente de desnaturacão em gel de eletroforese (DGGE). A seleçãõ desses grupos microbianos para essa análise deve-se à grande diversidade de espécies, bem como a contribuicão destes para fertilidade de solo.

Inicialmente ampliou-se o gene *nifH* e o 18S rDNA pela técnica de reacão em cadeia da polimerase (PCR) a partir do DNA total para análise de BFN e dos FMAs, respectivamente.

O DNA total dos corpos de prova do solo foi extraído utilizando-se o Kit-MO BIO (Ultraclean TM soil DNA isolation), conforme instruções do fabricante. Para a aplicacão deste, adicionou-se 0,5 g de solo em tubos plásticos (tipo Eppendorff) contendo grânulos de polipropileno (Bead solution tubes). Após várias etapas de adicão de soluções e centrifugações, a suspensão contendo o DNA total foi armazenada a uma temperatura de -20 °C, de acordo com a recomendacão do protocolo do fabricante.

4.6.3 Perfil da comunidade de bactéria, fixadora de nitrogênio, do solo determinada através da técnica DGGE

Nessa metodologia utilizou-se os oligonucleotídeos iniciadores (*primers*) 19F (5`GCIWTYTAYGGIAARGGIGG 3`) e 407R (5`AAICCRCCRCIAIACIACRTC 3`) para a amplificacão do gene *nifH*, já empregada por Ueda et al. (1995), que resultou em um fragmento de 390 pb, seguindo do *Nested* PCR com os *primers* 19F-GC (com adicão do grampo GC) e o primer 278R (5`GCGCAGCCIAICCCIGGYTC 3`) (Direito e Teixeira

2002) que produziu um fragmento de 260 pb. A mistura do PCR foi realizada num volume final de 50 μL , contendo por reação 1 μL (20,0 ng) de DNA total, 0,2 μM de cada *primers* (19F e 407R ou 19f-C e 278R), 200 μM de desoxidionucleotídeos trifosfatados (dNTP), 2 mM cloreto de magnésio (MgCl_2), 0,5 mg ml^{-1} de soro bovino albumina e 1,25 U GO Taq DNA polymerase (Invitrogen, Life Technologies) em 20 mM Tris-HCl, pH 8,4, e 50 mM cloreto de potássio (KCl). O programa utilizado no termociclador (Eppendorf) como caracterizado por (DIREITO & TEIXEIRA, 2002). Os controles negativos consistiram em 1 μL de água MilliQ, em substituição à amostra de DNA, para que desta forma possa-se identificar a presença de prováveis contaminantes.

A estimativa das variantes resultante do procedimento *Nested*-PCR foi analisada por DGGE (Modelo DCodeTM Systems - BIO-RAD California). Uma amostra de 20 μL do produto do *Nested* PCR foi aplicado em gel de poliacrilamida 8 % (w/v) em tampão TAE 1 X. Este gel foi preparado com gradiente desnaturante variando de 45 a 70 % (onde 100 % de desnaturação significa a concentração de 7M de uréia e 40 % de formamida). O gel foi submetido à eletroforese vertical por 12 h a 60 V à temperatura de 60 °C, e posteriormente corado por 40 min com SYBR Gold (1x) (Molecular Probes, Leiden, The Netherlands) e fotografado sobre luz ultra-violeta no fotodocumentador Molecular *Imaging* (Loccus biotecnologic L-Pix Chemi).

Foram utilizados, nas análises, como marcadores externos, o DNA extraído de culturas puras de bactérias diazotróficas: *Pseudomonas fluorescens* (ATCC 14), *Bradyrhizobium elkanii* (BR96), *Bradyrhizobium japonicum* (BR111), *Rhizobium tropici*, *Burkholderia cepacia*, *Burkholderia brasiliensis* (BR11340), *Burkholderia sabiae* (BR3405), *Paenibacillus validus*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Bacillus cereus* (ATCC 3) e *Acinetobacter calcoaceticus*, esta técnica já foi usada por (DA LUZ et al., 2014).

Para a normalização, conversão e comparação das imagens em matrizes de presença/ausência e intensidade de bandas, utilizou-se o programa computacional Bionumerics (Versão 5.10).

4.6.4 Perfil da comunidade de fungos micorrízicos arbuscular no solo determinada através da técnica DGGE

No termociclador (Mastercycler epgradient, Eppendorf) procedeu-se as ampliações do PCR, a partir das seguintes etapas: um primeiro ciclo de 1 min a 94 °C, 1 min a 66 °C e 1 min e 30 s a 72 °C, seguido de mais 30 ciclos de 30 s a 94 °C, 1 min a 66 °C e 1 min e 30 s a 72 °C e para finalizar com a extensão final de 10 min a 72 °C. Para a confirmação da presença do produto amplificado, 5 µL dos produtos das reações de PCR foram submetidas à eletroforese em gel de agarose (0,8% p/v), corado com brometo de etídio, visualizado e fotografados sobre luz ultra-violeta no fotodocumentador Molecular *Imaging* (Loccus Biotechnologic L-Pix Chemi).

A mistura do PCR foi composta por 20,0 ng de DNA total, 0,2 µM de cada oligonucleotídeo, 200 µM de dNTP, 2 mM MgCl₂, 0,5 mg ml⁻¹ de BSA e 1,25 U GO Taq DNA polimerase (Promega, Madison, USA) em um volume de reação de 50 µL. Enquanto que os controles negativos foram constituídos por 1 µL de água MilliQ, em substituição à amostra de DNA.

Para a amplificação dos fragmentos correspondentes ao 18S rDNA na primeira reação de PCR utilizou-se o *primer* AM1(5'- GTTTCCCGTAAGGCGCCGAA-3') (Helgason et al., 1998), em combinação com o *primer* universal para eucariotos NS31 (5'- TTGGAGGGCAAGTCTGGTGCC-3'), de acordo com (SIMON et al., 1992).

O resultado dessa amplificação foram fragmentos de DNA de aproximadamente 580 pb. Buscando-se obter um fragmento de DNA menor para realização do DGGE e consequentemente proporcionar uma melhor observação das bandas no gel, foi realizada uma segunda rodada de reações de PCR (*Nested* PCR) onde foram utilizados os *primers* NS31-GC (com grampo GC), utilizado por Kowalchuk et al. (2002) e Glo1 (5'- GCCTGCTTTAAACTCTA), por Cornejo et al. (2004), empregando-se a mesma reação de mistura anterior. Para a confirmação da presença dos produtos, 5 µL da reação de PCR foram submetidos a eletroforese em gel de agarose (1,5% p/v). Esse gel foi corado com brometo de etídio e visualizados e fotografados sobre luz ultra-violeta no fotodocumentador Molecular *Imaging* (Loccus Biotechnologic L-Pix Chemi).

Através do perfil de DGGE (Modelo *DCode™ Systems* - BIO-RAD California) analisou-se os fragmentos de DNA obtidos pela técnica de *Nested-PCR*. Para a aplicação desta técnica utilizou-se uma amostra de 20 µL do produto do *Nested PCR* de 150 a 200 ng de DNA, aplicando-a em gel de poliacrilamida 8% (p/v) em tampão TAE 1 X. Esse gel foi preparado com gradiente desnaturante variando de 35 a 50% (onde 100% de desnaturação tem como significado a concentração de 7M de uréia e 40% de formamida). O gel foi submetido à eletroforese vertical por 20 h a 60 V à temperatura de 60 °C, posteriormente corado por 40 min com *SYBR Gold* (1x) (Molecular Probes, Leiden, The Netherlands) e fotografado sobre luz ultra-violeta no fotodocumentador *Molecular Imaging (Loccus Biotechnologic L-Pix Chemi)*. Nessas análises foram utilizados como marcadores externos o DNA extraído de culturas puras de *Glomus clarum*, *Acaulospora koskei* (SCT406A), *Acaulospora tuberculata* (SCT250B), *Gigaspora alba* (PRN201A), *Gigaspora decipiens* (SCT304A) e *Scutellospora heterogama* (PNB102A) obtidas da Coleção Internacional de Culturas de Glomeromycota da Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, SC.

4.6.5 Análise cromatográfica de solo pelo método de Pfeiffer

Para a análise da atividade microbiana no solo, realizada por comparação, utilizou-se o método da Cromatografia Circular Plana desenvolvida por Ehrenfried Pfeiffer, em meado do ano de 1920 (PINHEIRO, 2011). O desenvolvimento desta técnica consistiu das seguintes etapas: inicialmente realizou-se a secagem dos corpos de prova do solo em local limpo, à sombra e arejado; após a secagem, retirou-se de cada um destes uma quantia entre 100 a 150 g, as quais foram maceradas e filtradas, em seguida com auxílio de uma balança analítica pesou-se 5 g da amostra pulverizada.

Posteriormente, foi preparada uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1% em água destilada, cada corpo de prova de 5g foi dissolvido em 50 ml desta solução. Preparou-se, também, uma solução de nitrato de prata (AgNO₃) a 0,5% em água destilada para a impregnação dos ‘cromas’. Após seis horas de repouso da amostra de solo com o papel impregnado de (AgNO₃), a impregnação da amostra é iniciada. Desta forma 5 ml da parte superficial da solução do solo foi transferido para uma placa de Petri de 3 cm, sendo esta colocada dentro de outra placa de Petri de 12 cm (Figura 7). No papel filtro impregnado e seco, um rolinho de papel é colocado e depositado sobre a superfície para que a solução

impregne o mesmo. Por fim, o rolinho é cuidadosamente retirado quando a impregnação atingir 6 cm de raio.

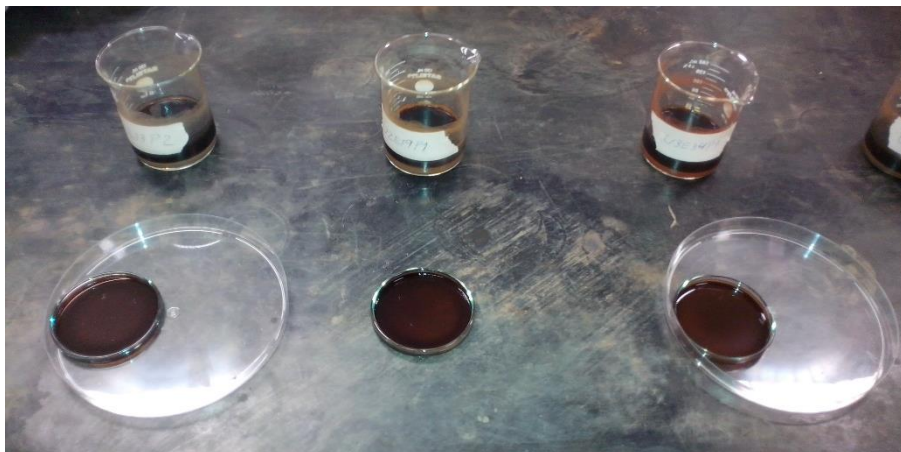


Figura 7. Placas de Petri utilizadas na análise cromatográfica.

Este procedimento foi executado no Laboratório de solos e rochas do Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA.

Para se interpretar o desenho formado no papel de filtro, pela técnica da cromatografia circular plana, deve-se analisar cada zona gerada (Figura 8).



Figura 8. Detalhe do cromatograma circular plana com zonas caracterizadas. Fonte: Santos et al., 2012.

Na zona 1: observa-se a atividade microbiana, quanto maior e mais clara, mais intensa é a atividade microbiana. Zona 2: expressa presença ou ausência de minerais no solo, quanto mais “rajadas” ou listradas o solo estiver, mais disponível estarão os minerais para a nutrição das plantas. Zona 3: detecta-se presença de enzimas e proteínas do solo,

nesta são formados pequenos círculos, conhecidos por “dentes de cavalo”, quanto mais “dentes” observados, mais intensa será a vida no solo.

4.7 Tratamento estatístico dos indicadores de qualidade do solo

O trabalho foi realizado por estimação utilizando técnicas de amostragens por conglomerados, aleatória simples e sistemática. As estimativas dos indicadores: físico, químico e biológico do solo foram desenvolvidos a partir de um nível de significância, \leq 5% ou 10%, a depender do parâmetro a ser estimado, de posse destes intervalos realizou-se a análise comparativa destes indicadores no perfil do solo, bem como ao longo da superfície do solo. Baseado nos limites de coeficiente de variação (CV) propostos por Pimentel-Gomes (2000) para avaliar dispersão de dados, pode-se considerar a variação **baixa**, quando $CV < 10\%$, **média**, quando CV for de 10 a 20%, **alta**, quando CV for de 20 a 30%, e **muito alta**, quando $CV > 30\%$. Modelos matemáticos, bidimensionais e multidimensionais, foram obtidos a partir do ajustamento dos pontos oriundo das correlações das variáveis, com maior coeficiente de explicação e significância. Utilizando-se de processo interativo estimou-se as coordenadas de ponto crítico. Os gráficos para apresentar as relações entre as variáveis foram confeccionados a partir dos softwares: Excel, Surfer, Sigma PLOT, Minitab 17, entre outros.

Os perfis de DGGE obtidos foram analisados e comparados no software *Bionumerics* (Versão 5.1), onde foram alinhados de acordo com os marcadores externos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estimativa do balanço hídrico climatológico para a cultura da soja nas regiões produtivas amostradas

Foi utilizado o método de (Thornthwaite & Mather, 1955 apud ROLIM, 1999) para obtenção do balanço hídrico climatológico para as localidades objeto deste trabalho, para o desenvolvimento deste utilizou-se os parâmetros climáticos mensurados nas estações climáticas convencionais localizadas o mais próximo das áreas de observações, e da estimativa da capacidade de armazenamento d'água no solo, sendo esta em função da classificação textural do solo e da profundidade efetiva das raízes da cultura da soja, que é de 40 cm (MANUAL IRRIGA LP – TIGRE, 2017). Como os solos nas áreas de observação apresentaram textura média, adotou-se uma capacidade de água disponível média para estes solos de 1,2 mm/cm de solo, conforme Bernardo (2006); deste modo, a água disponível total considerada para estes solos foi de 48 mm.

5.1.1 Balanço hídrico para a região produtora de Porto Nacional - TO

Para a área de coleta no município de Porto Nacional - TO, que se encontra entre os municípios de Palmas – TO e Paraíso do Tocantins, foram utilizados os dados da estação climática localizada em Palmas (-10°11'27'', -48°18'6'') por se encontrar mais próximo da área de estudo. Os parâmetros edafoclimáticos, observados e estimados, estão apresentados na Tabela 4, e nas Figuras 9 e 10.

Analisando-se os dados é possível afirmar que a temperatura média neste ambiente favorece o desenvolvimento satisfatório desta cultura; pois, ao longo do ano encontra-se dentro do intervalo de 20 °C a 30 °C constatado por Farias et al. (2007) como adequado para que a soja atinja plena produtividade sem apresentar correlação negativa por esse indicador. Quanto à lâmina de precipitação, esta cultura necessita, em média, de 7 a 8 mm/dia ao longo de seu ciclo de desenvolvimento, conforme Monteiro (2009); deste modo, apesar do período chuvoso nessa região ter início em meados do mês de outubro, não é suficiente, 4,8 mm/dia, para atender a demanda hídrica da cultura, sendo que para atender esta demanda o ideal é que a atividade de semeadura ocorra no mês de novembro, pois nesse mês a média da precipitação é de, aproximadamente, 7,8 mm/dia, Maciel (2010) sugere que esta atividade seja iniciada por volta do dia 15/11 a 24/12.

Tabela 4. Balanço hídrico climatológico para Porto Nacional – TO¹, com CTA de 48,0 mm, pelo método Thornthwaite & Mather.

Meses	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	26,1	293,3	144,9	144,9	0,0	148,4
Fev	26,1	258,7	122,6	122,6	0,0	136,1
Mar	26,1	281,7	142,7	142,7	0,0	139,0
Abr	26,7	172,4	114,8	114,8	0,0	57,6
Mai	26,8	63,2	146,0	102,6	43,3	0,0
Jun	26,3	7,7	138,6	15,7	122,9	0,0
Jul	26,4	1,0	135,1	1,5	133,6	0,0
Ago	27,9	1,4	165,4	1,5	164,0	0,0
Set	29,2	51,4	178,9	51,4	127,5	0,0
Out	28,0	148,2	164,2	148,2	16,1	0,0
Nov	26,9	233,5	149,3	149,3	0,0	36,2
Dez	26,5	266,9	152,0	152,0	0,0	114,9
Ano	26,9	1779,4	1754,5	1147,1	607,3	632,3

T = Temperatura média do ar; P = Precipitação mensal; ETP = Evapotranspiração potencial mensal; ETR = Evapotranspiração real mensal; DEF = Deficiência hídrica mensal e EXC = Excedente hídrico mensal.

¹ Série histórica de dados climatológicos de 1994 a 2016.

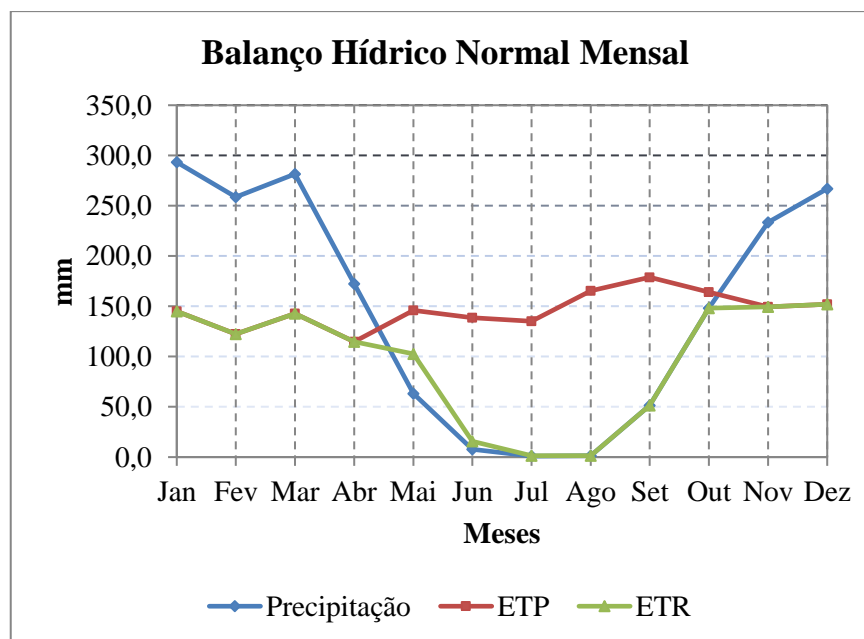


Figura 9. Balanço hídrico climatológico para Porto Nacional – TO, com CTA de 48,0 mm, pelo método Thornthwaite & Mather.

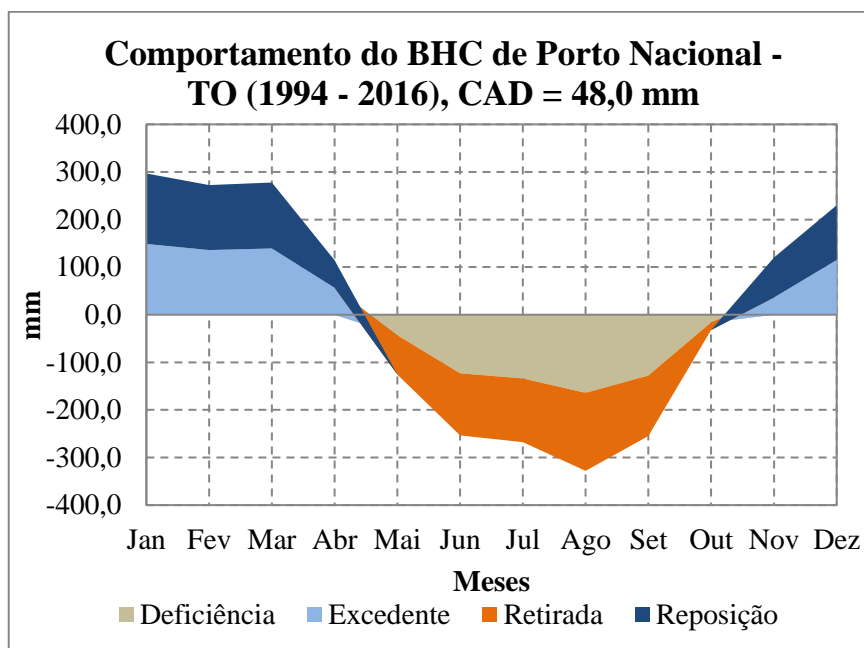


Figura 10. Comportamento da disponibilidade hídrica estimada para a cultura da soja em Porto Nacional – TO.

Pode-se verificar que nesta região a disponibilidade de água, sem déficit hídrico, para a cultura vai de novembro a abril, considerando o início do plantio em 15/nov. tem-se um período de 167 dias. “Os ciclos de maturação das cultivares recomendadas para esta região varia de 107 a 146 dias” (VILELA et al., 2016).

Portanto, se nesta região for plantada cultivares de ciclo longo, não haverá possibilidade de plantio de outra cultura após a colheita; mas, caso ocorra o plantio de cultivares de ciclo curto, será possível durante a colheita ocorrer o plantio de uma segunda cultura; tendo em vista que, restará um período de disponibilidade hídrica de, aproximadamente, 60 dias. Apesar de que, possivelmente, esta venha a sofrer estresse hídrico na terceira fase de desenvolvimento fenológico, floração e enchimento de grãos; desta forma, o recomendável é que seja uma planta de outra espécie, com nível de exigência hídrica menor nesta fase.

5.1.2 Balanço hídrico para a região produtora de Pedro Afonso - TO

Para a área de coleta no município de Pedro Afonso - TO, foram utilizados os dados da estação climática localizada neste município (-8°58'0'', -48°11'0''). Obtendo-se o

balanço hídrico, conforme dados dos parâmetros edafoclimáticos apresentados na Tabela 5, e nas Figuras 11 e 12.

Tabela 5. Balanço hídrico climatológico para Pedro Afonso – TO¹, com CTA de 48,0 mm, pelo método Thornthwaite & Mather.

Meses	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	26,0	298,0	141,4	141,4	0,0	156,6
Fev	26,1	224,7	130,2	130,2	0,0	94,4
Mar	26,2	279,4	141,8	141,8	0,0	137,6
Abr	26,6	182,8	138,9	138,9	0,0	44,0
Mai	26,7	74,6	141,1	110,6	30,5	0,0
Jun	25,9	5,0	126,6	16,0	110,6	0,0
Jul	25,8	4,3	110,4	5,2	105,2	0,0
Ago	27,0	2,6	145,1	2,7	142,4	0,0
Set	28,3	44,3	163,1	44,3	118,8	0,0
Out	27,7	130,8	166,8	130,8	36,0	0,0
Nov	26,8	229,5	148,2	148,2	0,0	33,3
Dez	26,4	230,0	149,6	149,6	0,0	80,3
Ano	26,6	1705,9	1703,1	1159,7	543,5	546,3

T = Temperatura média do ar; P = Precipitação mensal; ETP = Evapotranspiração potencial mensal; ETR = Evapotranspiração real mensal; DEF = Deficiência hídrica mensal e EXC = Excedente hídrico mensal.

¹ Série histórica de dados climatológicos de 1994 a 2016.

Analogamente aos dados dos indicadores edafoclimáticos da região produtora de Porto Nacional – TO, o parâmetro temperatura média da região de Pedro Afonso – TO, também, não é fator limitante à produção da soja, pois varia de 25,8 °C a 28,3 °C. Com relação ao parâmetro lâmina de precipitação, observa-se que o período propício ao plantio desta cultura, sem provocar estresse hídrico, assemelha-se ao da região de Porto Nacional, ou seja, de novembro a abril, com lâmina variando de 6,1 a 9,6 mm/dia; este limite inferior, abaixo do mínimo de 7 mm/dia constatado por Monteiro (2009), ocorre no mês de abril, coincidindo com a última fase do ciclo fenológico da cultura, quando se tratar de cultivares tardia, o que possivelmente não impactará negativamente na produtividade.

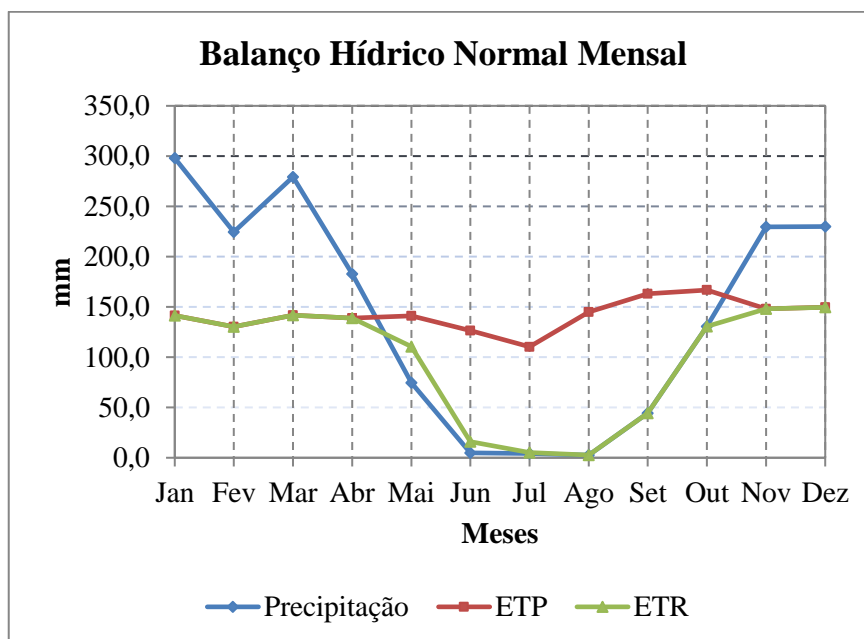


Figura 11. Balço hídrico climatológico para Pedro Afonso – TO, com CTA de 48,0 mm, pelo método Thornthwaite & Mather.

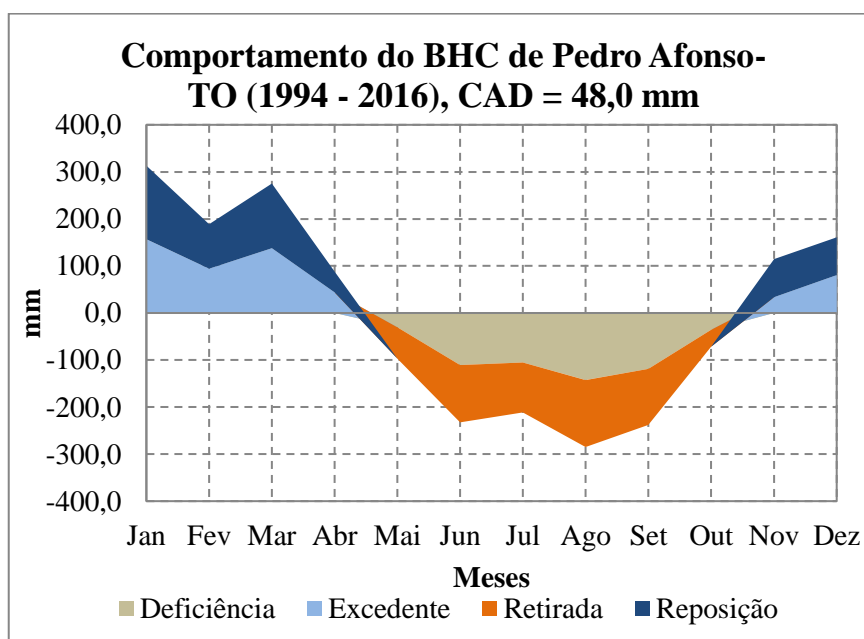


Figura 12. Comportamento da disponibilidade hídrica estimada para a cultura da soja em Pedro Afonso – TO.

Com relação aos ciclos de maturação das cultivares recomendadas para esta região, são os mesmos recomendados para a região produtora de Porto Nacional - TO, ou seja, de 107 (precoce) a 146 (tardia) dias, (VILELA et al., 2016).

5.1.3 Balanço hídrico para a região produtora da Garganta na divisa TO/BA

Para a área de coleta na região produtora da Garganta, localizada na divisa dos estados do Tocantins e da Bahia, entre os municípios de Dianópolis – TO e Formosa do Rio Preto – BA, foram utilizados os dados da estação climática localizada em Taguatinga (-12°24'0'', -46°25'0'') por se encontrar mais próximo da área de estudo. Obtendo-se o balanço hídrico, conforme dados dos parâmetros edafoclimáticos apresentados na Tabela 6, e nas Figuras 13 e 14.

Tabela 6. Balanço hídrico climatológico para divisa TO/BA¹, com CTA de 48,0 mm, pelo método Thornthwaite & Mather.

Meses	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	25,2	271,0	107,8	107,8	0,0	163,2
Fev	25,2	230,0	116,5	116,5	0,0	113,5
Mar	25,2	274,0	115,8	115,8	0,0	158,2
Abr	25,8	166,0	115,7	115,7	0,0	50,3
Mai	25,6	40,0	115,5	78,0	37,5	0,0
Jun	24,9	2,2	110,1	11,1	99,0	0,0
Jul	24,9	0,4	114,9	1,4	113,5	0,0
Ago	26,2	1,5	135,5	1,6	133,9	0,0
Set	28,0	17,7	162,3	17,7	144,6	0,0
Out	27,8	108,7	164,1	108,7	55,4	0,0
Nov	25,9	242,5	138,4	138,4	0,0	56,1
Dez	25,6	256,8	138,1	138,1	0,0	118,7
Ano	25,9	1610,8	1534,7	950,8	583,9	660,0

T = Temperatura média do ar; P = Precipitação mensal; ETP = Evapotranspiração potencial mensal; ETR = Evapotranspiração real mensal; DEF = Deficiência hídrica mensal e EXC = Excedente hídrico mensal.

¹ Série histórica de dados climatológicos de 1996 a 2016.

Assim como as regiões produtoras, de Porto Nacional – TO e de Pedro Afonso – TO, o parâmetro temperatura média da região da Garganta, também, não limitará a produção da soja, apresentando variação de 24,9 °C a 28,0 °C. Verifica-se que nesta região a distribuição da lâmina de precipitação se assemelha as demais regiões discutidas, o que proporcionará período de plantio desta cultura, sem estresse hídrico, análogo, ou seja, de novembro a abril, com lâmina variando de 5,5 a 8,7 mm/dia.

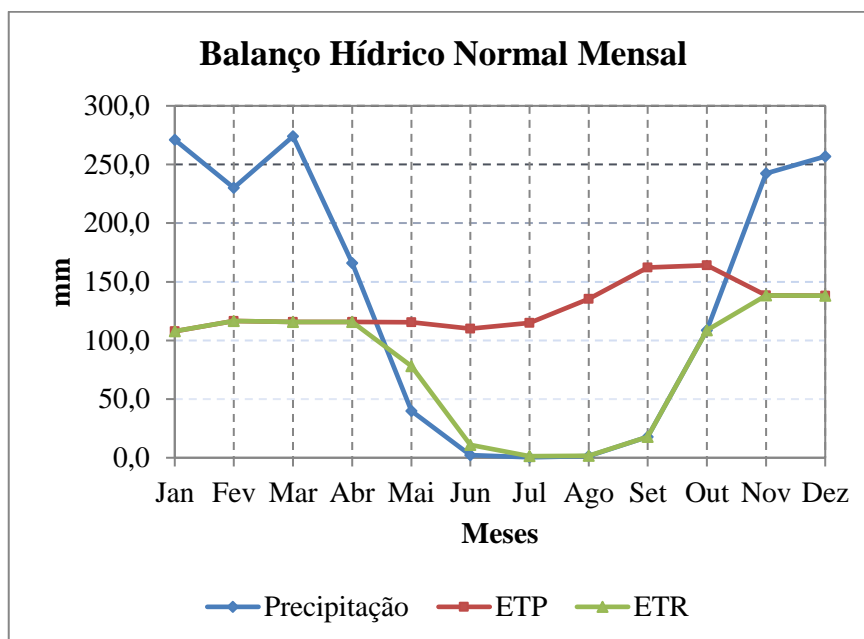


Figura 13. Balço hídrico climatológico para divisa TO/BA, com CTA de 48,0 mm, pelo método Thornthwaite & Mather.

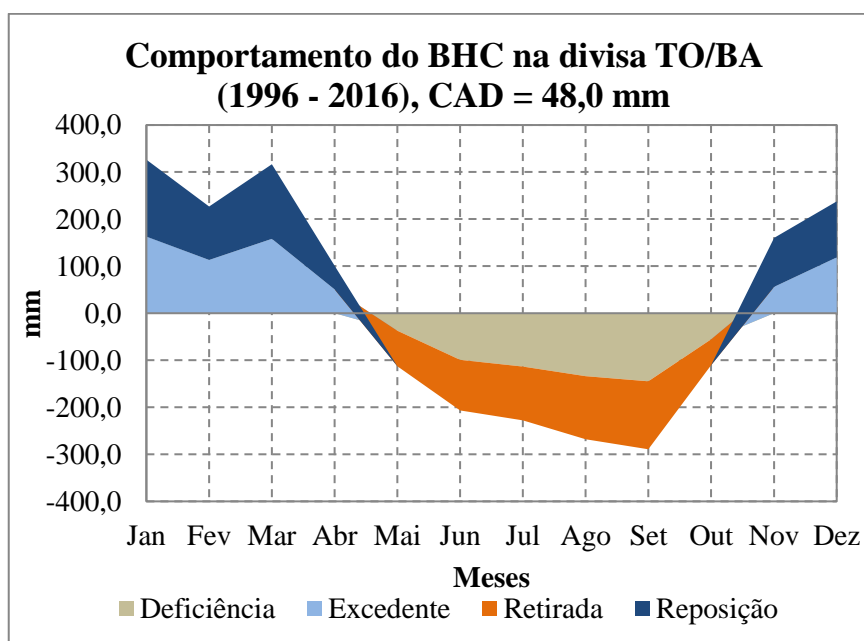


Figura 14. Comportamento da disponibilidade hídrica estimada para a cultura da soja na divisa TO/BA.

A média diária da lâmina de precipitação mínima observada, de 5,5 mm, encontra-se abaixo do mínimo de 7 mm/dia recomendado por Monteiro (2009) como ideal para esta

cultura, mas como esta, também, ocorre no mês de abril, as consequências para a planta são as mesmas que ocorrem nas outras regiões analisadas.

5.2 Características edafovegetativas dos locais nas unidades produtivas amostradas

A partir de percepções e mensurações de características edafovegetativas, das coordenadas terrestres das estações observadas nas unidades produtivas e informações fornecidas pelos gestores destas unidades, foi possível descrever as relações entre as áreas de plantio com as áreas cobertas com matas nativas. Como, indícios de carreamento de materiais das áreas plantadas para as áreas de matas nativas, bem como a falta de faixas de proteção a essas áreas.

Na Figura 15a, a seguir pode-se observar a disposição das estações de coleta (E5 a E8) na área de reserva da Serra Geral, localizada na divisa entre os estados do Tocantins e da Bahia, adjacente a unidade de produção de soja (UP 1), a distância média destas estações de coleta ao limite da área desmatada para plantio é de, aproximadamente, 64,2 metros com desvio padrão de, aproximadamente, 22,2 metros; e também a disposição das estações de coleta (E1 a E4) inseridas na porção da superfície desta área de produção.

Enquanto que na Figura 15b, pode-se visualizar a disposição das estações de coleta (E9 a E12) numa área de reserva ambiental, também adjacente a esta mesma UP 1, localizada, no entanto no município de Formosa do Rio Preto – BA; a distância média destas estações de coleta ao limite da área desmatada para o plantio é de, aproximadamente: 83,8 metros com um desvio padrão de aproximado, 22,5 metros.

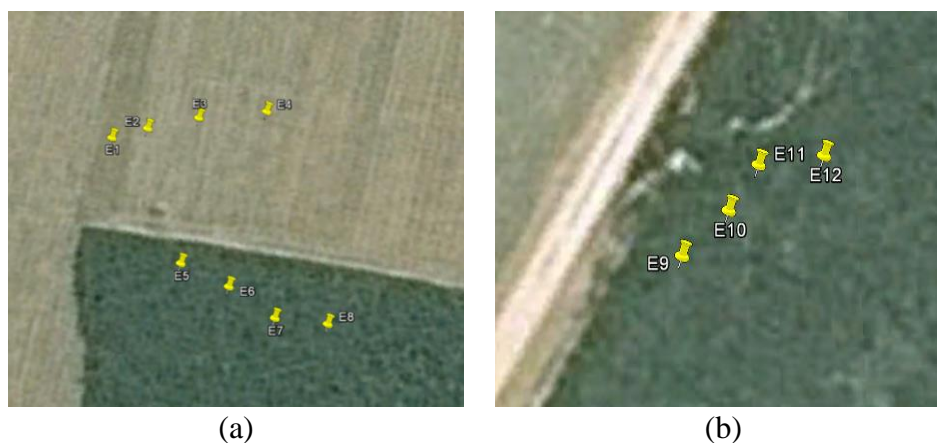


Figura 15. Área de coleta, na unidade de produção (UP 1), localiza na região da Garganta: (a) município de Dianópolis – TO e (b) Formosa do Rio Preto – BA.

Na unidade produtiva 2 (UP 2), Figura 3, as estações de coleta de E13 a E16 foram observadas numa área de produção com pouca cobertura morta, com três anos de plantio, com solo de cor cinza claro predominante, ocorrência de cascalho na superfície e ao longo do perfil do solo, e presença de plantas invasoras.

As estações de coleta de E17 a E20 foram observadas numa área de preservação bastante acidentada e com muito cascalho na superfície e ao longo do perfil do solo, de mata de galeria em um córrego efêmero, circundada por plantio de soja, a distância média destas estações de coleta ao limite da área desmatada para plantio é de, aproximadamente, 12,3 metros com um desvio padrão de, aproximadamente, 2,4 metros.

Já as estações de coleta de E21 a E24 foram observadas numa área de produção de soja, com presença significativa de cobertura morta, também com três anos de plantio, solo de cor vermelho-amarelo em sua predominância.

Nas estações de coleta: E14, E15 e E16, no talhão de plantio 01, não foi possível coletar corpos de prova de solo na profundidade de 90 a 100 cm; pois, nestas estações a profundidade máxima que foi possível penetrar o trado, instrumento de coleta de solo, foram respectivamente de: 51cm, 31cm e 32cm. Na área de preservação, com presença de um córrego efêmero, não foi possível coletar corpos de prova na profundidade de 90 a 100 cm no solo; pois, nesta área o trado somente penetrava na profundidade de até 20 cm no perfil do solo.

Na unidade de produção (UP 3), Figura 4, as estações de coleta de E25 a E28 foram observadas numa área de integração lavoura-pecuária, cultura soja e rebanho bovino de corte, plantio com pouca cobertura morta, solo de cor vermelho-amarelo predominante, ocorrência de cascalho na superfície, e ao longo do perfil do solo, exceto na porção da superfície correspondente às estações E25 e E26, e presença de plantas invasoras.

As estações de coleta de E29 a E32, posicionadas a uma distância média de, aproximadamente: 27,7 metros, com um desvio padrão de aproximadamente: 8,2 m do limite da área de coleta com a estrada vicinal foram observadas numa área de preservação do bioma cerrado, característico da propriedade, com folhagem na superfície, e bastante cascalho e raízes adventícias na superfície e ao longo do perfil do solo, nesta área há presença de uma calha natural de escoamento d'água superficial.

Enquanto que as estações de coleta de E33 a E36 foram observadas numa área de fragmentação antrópica, posicionada no centro de uma das áreas de plantio de soja, solo de cor vermelho escuro, com vegetação arbórea, de 15 a 20 m, predominante, bastante folhagem na superfície e raízes adventícias ao longo do perfil, na estação de coleta (E34) não foi possível coletar o corpo de prova do solo na profundidade de 90 a 100 cm; pois, foi detectado um formigueiro, da espécie cortadeira, e resistência à penetração do instrumento de coleta de solo na profundidade de 52,5 cm.

Nas estações de coleta: E27 e E28, no talhão de produção integrada lavoura-pecuária, não foi possível coletar corpos de prova de solo na profundidade de 90 a 100 cm; pois, nestas estações a profundidade máxima que foi possível penetrar o trado, instrumento de coleta de solo, foram respectivamente de: 32,0cm e 78,5cm. Na área de preservação, com presença de uma calha de drenagem natural, não foi possível coletar corpos de prova na profundidade de 90 a 100 cm no solo; pois, nas estações de coleta E29 a E32, a profundidade máxima que o trado penetrou foi de: 32,0cm, 66,0cm, 46,0cm e 23,5cm, respectivamente.

5.3 Análise dos indicadores de qualidade do solo, por estimação, no bioma Cerrado tocantinense

5.3.1 Estimativa dos indicadores físicos de qualidade do solo

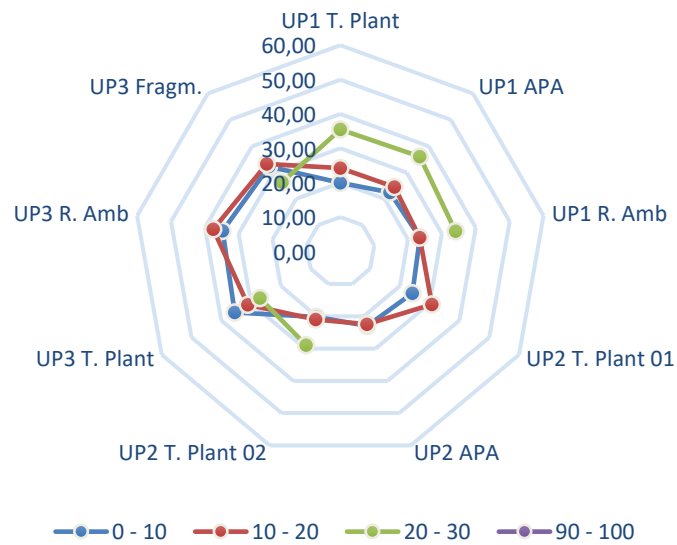
5.3.1.1 Composição granulométrica do solo

As estimativas das frações granulométricas do solo nas unidades produtivas observadas estão apresentadas nas Tabelas de 7 a 9 e nas Figuras de 16 a 18. Na unidade de produção – UP1, verifica-se que o teor médio de argila na área de plantio e de matas nativas (Tabela 7, Figura 16) na profundidade do solo de 0 a 20 cm variou de 20% a 26% com dispersão espacial classificada de baixa a alta; constatou-se, também, uma tendência de movimento vertical descendente de parte das partículas minerais que compõem esta fração granulométrica para camadas de solo mais profundas. Possivelmente, este fenômeno deve-se à combinação do índice de precipitação elevado com alta velocidade de infiltração na camada superficial destes solos proporcionada pelo elevado teor de areia, com variação de 59,5% a 67,50% e apresentando uma dispersão espacial de baixa a média (Tabela 8, Figura 17). Estas variações nas frações de argila e areia, na profundidade de 0 a 20 cm, não

Tabela 7. Comportamento do indicador físico argila (%) em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

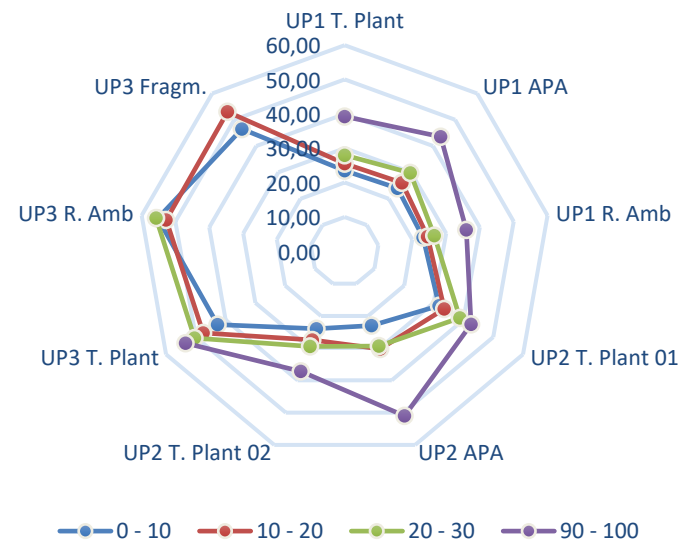
Unidade de produção – UP 1 (divisa Tocantins/Bahia)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				APA – Serra Geral				Reserva ambiental			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	20,00 ± 6,73aA	28,6	23,50 ± 1,18aA	4,3	22,50 ± 3,90aA	14,7	24,00 ± 1,36aA	4,8	23,50 ± 1,18aA	4,3	23,25 ± 2,78aA	8,7
10 – 20	24,25 ± 4,44aA	15,6	25,50 ± 2,25aAB	7,5	24,50 ± 1,18aA	4,1	26,00 ± 3,04aA	9,9	23,50 ± 1,18aA	4,3	24,50 ± 2,25aA	7,8
20 – 30	35,50 ± 2,04bB	4,9	28,00 ± 3,04aB	9,2	36,00 ± 2,88bB	6,8	29,75 ± 4,00abA	11,4	34,00 ± 0,00bB	0,0	26,50 ± 2,25aAB	7,2
90 – 100	-	-	39,25 ± 4,44aC	9,6	-	-	43,50 ± 2,04aB	4,0	-	-	36,00 ± 8,21aB	19,4
Unidade de produção – UP 2 (Pedro Afonso – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio 01				APA – Córrego efêmero				Talhão de plantio 02			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	24,25 ± 10,05abA	35,2	31,75 ± 1,77bA	4,7	23,00 ± 4,99aA	18,5	23,00 ± 5,76aA	21,3	20,25 ± 7,28aA	30,5	24,00 ± 1,36aA	4,8
10 – 20	30,75 ± 2,78aA	7,7	33,50 ± 3,90aAB	9,9	22,50 ± 3,40bA	12,8	30,25 ± 8,88abAB	24,9	21,00 ± 7,86abA	31,8	27,50 ± 3,53abA	10,9
20 – 30	-	-	38,75 ± 4,65aB	10,2	-	-	29,33 ± 9,59abAB	19,4	29,00 ± 1,92bA	5,6	29,50 ± 6,11abAB	17,6
90 – 100	-	-	42,50 ± 7,47aB	14,9	-	-	51,00 ± 17,52aB	20,38	-	-	37,25 ± 2,78aB	6,3
Unidade de produção – UP 3 (Porto Nacional – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				Reserva ambiental				Fragmentação antrópica			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	35,50 ± 6,76aA	16,2	42,75 ± 12,36abA	24,6	34,75 ± 8,17aA	20,0	55,25 ± 4,44bA	6,8	32,25 ± 10,58aA	27,9	46,50 ± 8,62abA	15,8
10 – 20	31,00 ± 6,66aAB	18,3	47,50 ± 9,34bcA	16,7	37,50 ± 8,88abA	20,1	52,75 ± 7,53bcA	12,1	33,25 ± 8,40abA	21,5	53,00 ± 0,00cA	0,0
20 – 30	27,00 ± 0,00aB	0,0	50,50 ± 5,88bA	9,9	-	-	55,75 ± 1,77bA	2,7	26,33 ± 1,95aA	4,4	-	-
90 – 100	-	-	53,50 ± 6,19A	9,8	-	-	-	-	-	-	-	-

CV = Coeficiente de variância, %; os números seguidos pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, para cada área de coleta por unidade de produção, não diferem entre si ao nível de significância ($p < 0,10$).



Profundidade do solo, cm

Período: seco



Profundidade do solo, cm

Período: úmido

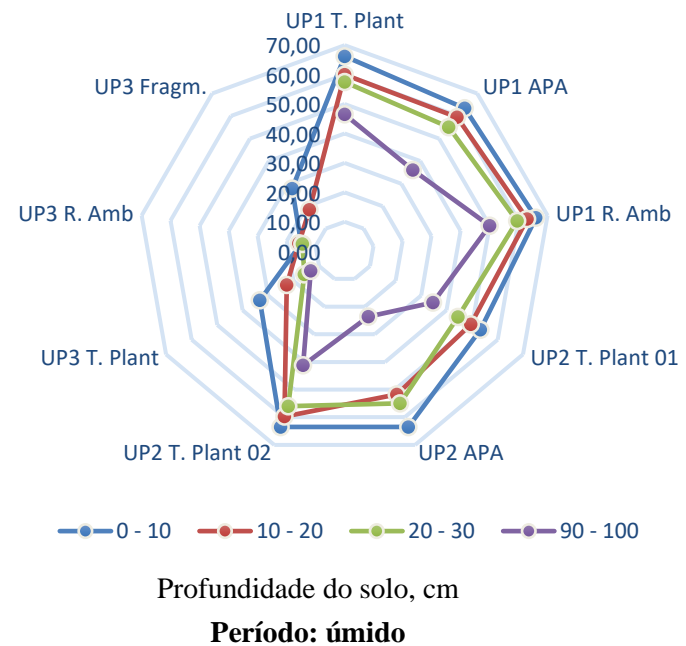
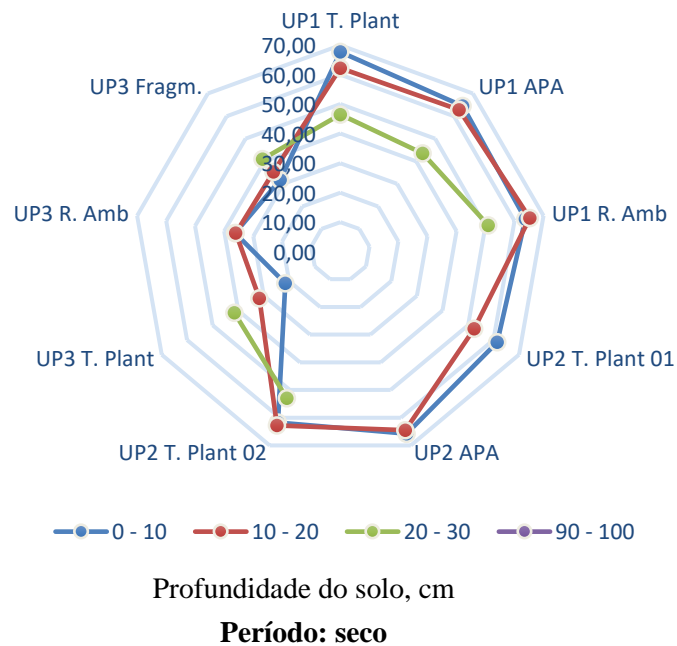
UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura 16. Comportamento do indicador físico argila (%) em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Tabela 8. Comportamento do indicador físico areia (%) em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Unidade de produção – UP 1 (divisa Tocantins/Bahia)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				APA – Serra Geral				Reserva ambiental			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	67,50 ± 8,62aA	10,9	66,25 ± 1,77aA	2,3	64,50 ± 5,64aA	7,4	63,50 ± 4,76aA	6,4	63,75 ± 3,38aA	4,5	66,00 ± 2,88aA	3,7
10 – 20	62,25 ± 6,54aA	8,9	60,00 ± 3,33aB	4,7	62,75 ± 4,00aA	5,4	59,50 ± 4,02aA	5,7	65,25 ± 4,12aA	5,4	63,00 ± 5,52aAB	7,5
20 – 30	46,50 ± 3,90aB	7,1	57,50 ± 2,25cB	3,3	43,50 ± 6,11abB	12,0	55,00 ± 4,19bcA	6,5	51,00 ± 3,33abB	5,6	59,50 ± 4,02cAB	5,7
90 – 100	-	-	46,50 ± 3,90aC	7,1	-	-	36,00 ± 5,43bB	12,8	-	-	50,00 ± 8,15aB	13,9
Unidade de produção – UP 2 (Pedro Afonso – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio 01				APA – Córrego efêmero				Talhão de plantio 02			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	61,50 ± 12,62abA	17,4	53,25 ± 2,43aA	3,9	65,75 ± 7,89bA	10,2	63,50 ± 7,95abA	10,6	61,75 ± 5,63bA	7,8	63,50 ± 4,76bA	6,4
10 – 20	52,50 ± 5,13aA	8,3	49,50 ± 6,11aAB	10,5	64,50 ± 6,11bA	8,1	51,75 ± 16,76abAB	27,5	62,75 ± 4,00bA	5,4	59,75 ± 5,79abA	8,2
20 – 30	-	-	44,50 ± 3,90aB	7,5	-	-	55,00 ± 17,84abAB	19,2	53,00 ± 4,99abB	8,0	56,00 ± 5,52bAB	8,4
90 – 100	-	-	34,75 ± 10,14aB	24,8	-	-	23,67 ± 20,11aB	50,4	-	-	41,25 ± 9,48aB	19,5
Unidade de produção – UP 3 (Porto Nacional – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				Reserva ambiental				Fragmentação antrópica			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	21,50 ± 8,88abA	35,1	33,25 ± 20,79abA	53,1	36,25 ± 10,41aA	24,4	15,00 ± 7,38bA	41,8	31,75 ± 5,95aA	15,9	27,75 ± 8,83abA	27,0
10 – 20	31,75 ± 8,45aA	22,6	22,75 ± 10,14aA	37,9	36,00 ± 16,89abA	39,9	15,75 ± 8,93abA	48,2	35,25 ± 12,80aA	30,9	18,50 ± 2,04bA	9,4
20 – 30	41,50 ± 34,73abA	18,74	15,75 ± 7,94aA	42,9	-	-	14,50 ± 4,85aA	28,4	41,00 ± 13,38bA	19,4	-	-
90 – 100	-	-	13,25 ± 7,65A	49,1	-	-	-	-	-	-	-	-

CV = Coeficiente de variância, %; os números seguidos pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, para cada área de coleta por unidade de produção, não diferem entre si ao nível de significância ($p < 0,10$).



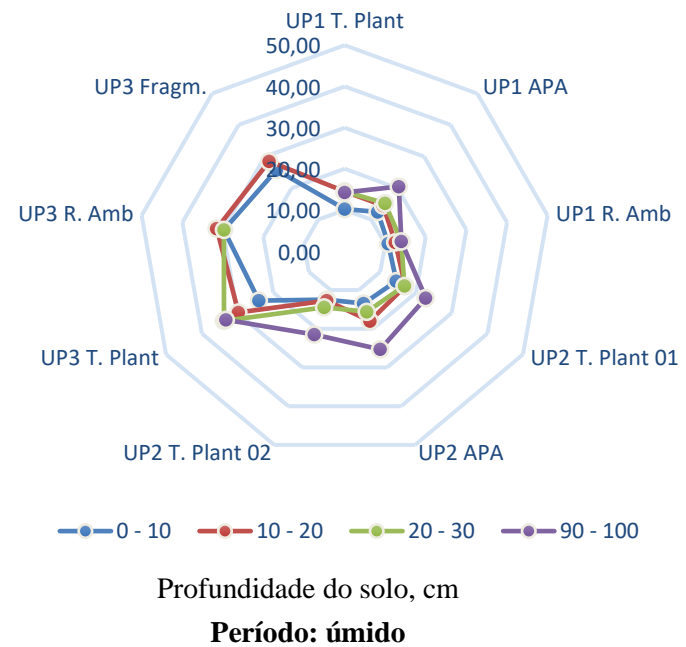
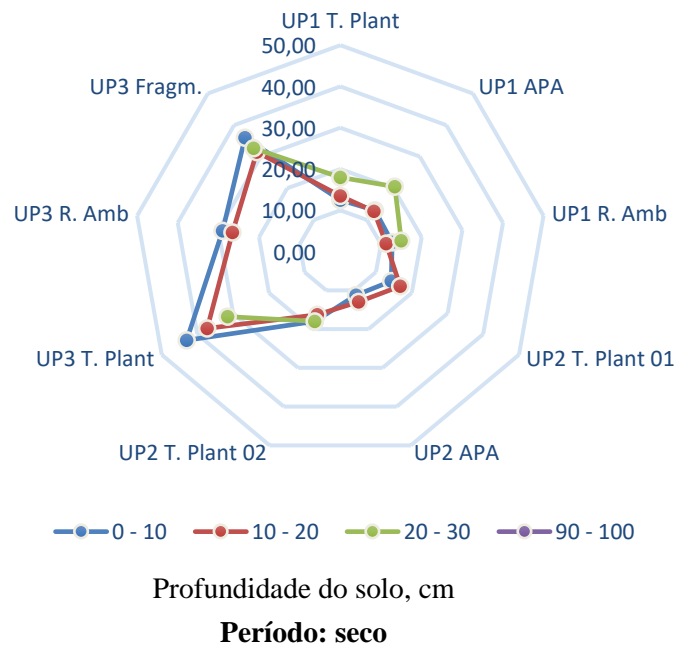
UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura 17. Comportamento do indicador físico areia (%) em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Tabela 9. Comportamento do indicador físico silte (%) em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Unidade de produção – UP 1 (divisa Tocantins/Bahia)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				APA – Serra Geral				Reserva ambiental			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	12,50 ± 2,25abA	15,3	10,25 ± 0,59aA	4,9	13,00 ± 1,92bA	12,6	12,50 ± 3,40abA	23,1	12,75 ± 2,43abA	16,2	10,75 ± 0,59abA	4,7
10 – 20	13,50 ± 2,25aA	14,2	14,50 ± 1,18aB	6,9	12,75 ± 3,09aA	20,6	14,50 ± 1,18aA	6,9	11,25 ± 2,94aA	22,2	12,50 ± 3,40aAB	23,1
20 – 30	18,00 ± 2,35aB	11,1	14,50 ± 1,18bB	6,9	20,50 ± 3,53aB	14,6	15,25 ± 0,59bA	3,3	15,00 ± 3,33abA	18,9	14,00 ± 2,35abB	14,3
90 – 100	-	-	14,25 ± 0,59aB	3,5	-	-	20,50 ± 3,40bB	14,1	-	-	14,00 ± 0,96aB	5,8
Unidade de produção – UP 2 (Pedro Afonso – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio 01				APA – Córrego efêmero				Talhão de plantio 02			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	14,25 ± 2,61aA	15,6	14,50 ± 2,04aA	12,0	11,25 ± 3,09aA	23,4	13,50 ± 3,66aA	23,0	18,00 ± 4,19aA	19,8	12,50 ± 3,40aA	23,1
10 – 20	16,75 ± 2,43aA	12,3	17,00 ± 2,72aAB	13,6	13,00 ± 2,72aA	17,8	18,00 ± 7,98aAB	37,7	16,25 ± 4,00aA	20,9	12,75 ± 2,43aA	16,2
20 – 30	-	-	16,75 ± 2,61aA	13,2	-	-	15,67 ± 8,32aAB	31,5	18,00 ± 3,46aA	16,4	14,50 ± 1,18aA	6,9
90 – 100	-	-	22,75 ± 3,38aB	12,6	-	-	25,33 ± 3,51aB	8,2	-	-	21,50 ± 6,76aA	26,7
Unidade de produção – UP 3 (Porto Nacional – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				Reserva ambiental				Fragmentação antrópica			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	43,00 ± 3,33aA	6,6	24,00 ± 8,91bcA	31,6	29,00 ± 10,95abcA	32,1	29,75 ± 3,09abcA	8,8	36,00 ± 6,45abA	15,2	25,75 ± 1,13cA	3,7
10 – 20	37,25 ± 6,75aA	15,4	29,75 ± 5,30aA	15,1	26,50 ± 8,40aA	27,0	31,50 ± 2,04aA	5,5	31,50 ± 7,09aA	19,1	28,50 ± 2,04aA	6,1
20 – 30	31,50 ± 34,73aA	24,7	33,75 ± 6,68aA	16,8	-	-	29,75 ± 5,03aA	14,4	32,67 ± 12,20aA	22,2	-	-
90 – 100	-	-	33,25 ± 5,55A	14,2	-	-	-	-	-	-	-	-

CV = Coeficiente de variância, %; os números seguidos pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, para cada área de coleta por unidade de produção, não diferem entre si ao nível de significância ($p < 0,10$).



UP1 T. Plant: Unid. de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura 18. Comportamento do indicador físico silte (%) em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

apresentou diferenças significativas ($p < 0,10$) no período seco; no entanto, apresentou tendência de diferença significativa, em profundidade, no período úmido.

Com relação a fração silte mensurada nos solos com cobertura natural e com o plantio da soja na UP1, apresentou um teor médio de 10,25% a 14,5% com dispersão espacial de baixa a alta (Tabela 9, Figura 18); também, não apresentou diferença significativa no plano horizontal, mas com tendência de diferença na vertical ($p < 0,10$).

Na unidade de produção – UP2, o constituinte físico argila apresentou comportamento semelhante ao observado na UP1, com teor médio nas áreas de plantio e de mata nativa (Tabela 7, Figura 16) na profundidade do solo de 0 a 20 cm variou de 20,25% a 33,50% com dispersão espacial classificada de baixa a muito alta; constatou-se, também, uma tendência de movimento vertical descendente de parte das partículas minerais que compõem esta fração granulométrica para camadas de solo mais profundas. Enquanto, o constituinte areia apresentou um teor médio com variação de 49,50% a 65,75% e dispersão espacial de baixa a média (Tabela 8, Figura 17). Estas variações nas frações de argila e areia, na profundidade de 0 a 20 cm, tendem a ser significativas tanto no plano horizontal quanto no plano vertical, especialmente no período úmido ($p < 0,10$). Enquanto que, o constituinte silte mensurado nos solos destas áreas, apresentou um teor médio de 12,50% a 18,00% com dispersão espacial de média a muito alta (Tabela 9, Figura 18); esta fração mineral não apresentou diferença significativa no plano horizontal, no entanto foi constatado uma tendência de diferença no plano vertical ($p < 0,10$).

O comportamento destes constituintes minerais, observados na unidade de produção – UP3, diferiu das unidades produtivas UP1 e UP2; apresentando na profundidade de 0 a 20 cm um teor médio de argila variando de 31,00% a 55,25% com dispersão espacial de baixa a alta (Tabela 7, Figura 16), um teor médio de areia variando de 15,00% a 36,25% com dispersão espacial de baixa a muito alta (Tabela 8, Figura 17), enquanto que o teor médio do silte foi de 25,75% a 43,00% com dispersão espacial semelhante ao observado na fração areia (Tabela 9, Figura 18). De modo geral, estes constituintes não apresentaram diferenças significativas quando comparados nos planos horizontal e vertical ao nível de significância ($p < 0,10$); exceto a argila que apresentou uma discreta tendência de oscilação na sua proporção com relação ao plano horizontal tanto no período seco quanto no período úmido.

5.3.1.2 Resistência mecânica à penetração no solo

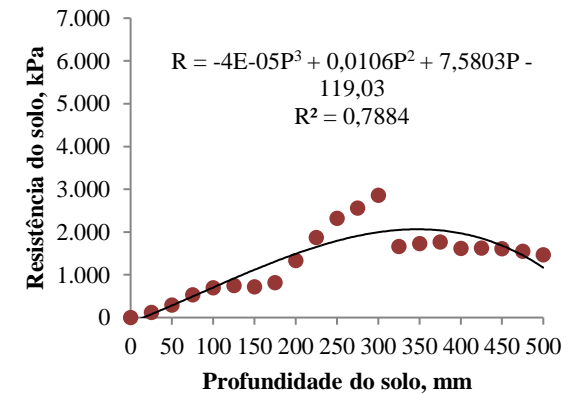
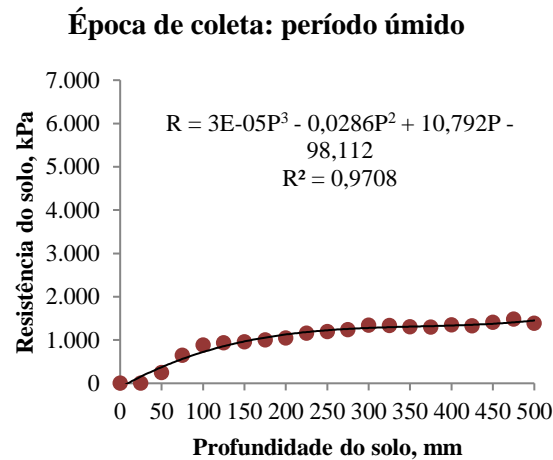
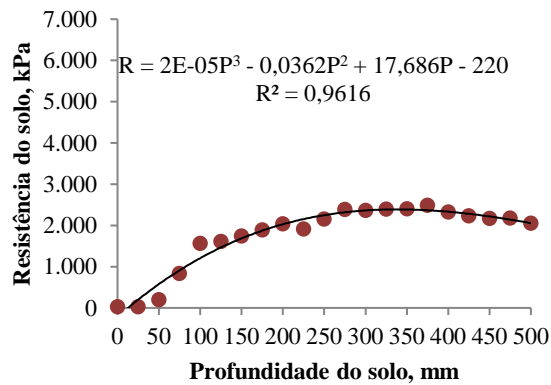
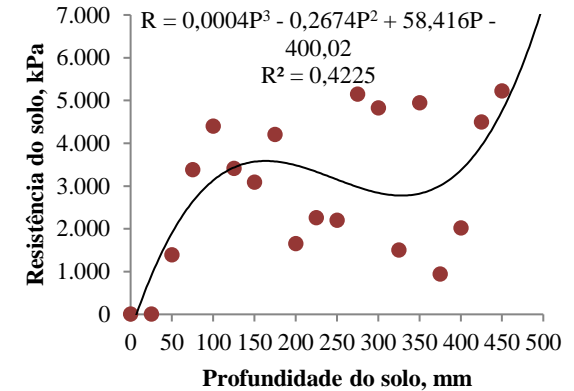
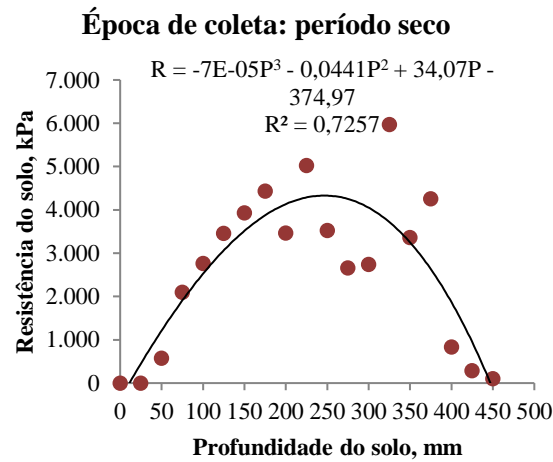
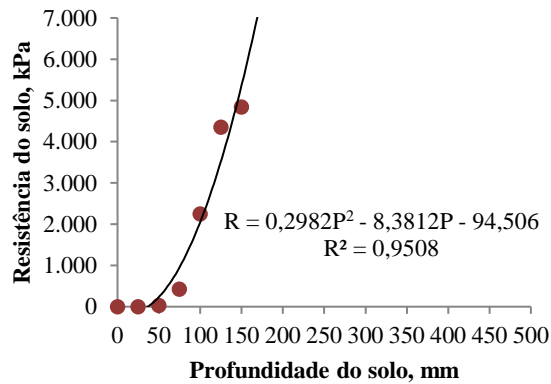
O crescimento das plantas apresenta correlação negativa com a compactação do solo, e um dos indicadores físicos do solo mais utilizados para avaliar esta condição do solo é a resistência à penetração das raízes (BEULTER & CENTURION, 2004).

Nessa pesquisa foi mensurado este indicador, nas três regiões de produção selecionadas, em duas condições de umidade no solo, seco e úmido. A Figura 19 apresenta através de gráficos a relação entre a resistência à penetração das raízes ao longo do perfil solo, até a profundidade de 500 mm; observados na unidade de produção 1 (UP 1), em três locais: dentro de um talhão de plantio, área de preservação permanente (APA – Serra Geral) e área de reserva ambiental.

No período seco, verificou-se que o solo nas áreas de: plantio, APA – Serra Geral e Reserva ambiental observadas apresentaram uma resistência à penetração das raízes de 2 MPa, em geral utilizado como limite crítico ao crescimento radicular, de acordo com Tormena et al. (1998), estimada a partir dos modelos apresentados na Figura 19, a profundidades, respectivas, de 99,03mm, 78,75mm e 52,86mm, ver Tabela 10.

Provavelmente o aprofundamento das raízes na área de plantio deve-se às operações periódicas de aração e gradagem; pois, estas têm como função principal contribuir na redução da resistência do solo à penetração das raízes (RP) através da quebra de sua estrutura, e aumento da porosidade. Mas, com a retirada da cobertura vegetal natural, e associada a homogeneização do solo, a perda de umidade do solo tende a acelerar, tendo como consequência uma tendência a aumento na RP com o aprofundamento na camada correspondente a efetiva da cultura da soja, de 40 cm.

É possível, que a resistência do solo quando seco nesta porção da superfície antes das atividades antrópicas se aproximam da encontrada na APA – Serra Geral; e se difere da encontrada na área de reserva legal devido às variações nas características morfológicas provocadas pelos fatores de intemperização, além do que esta área de reserva encontra-se em um nível abaixo da área de plantio adjacente, o que colabora no recebimento de materiais sedimentares durante a ocorrência de precipitações com velocidade acima da que o solo na área de plantio é capaz de infiltrar, proporcionando um gradiente de volume d'água escoado para fora desta área de plantio. Parte deste material fino que chega a esta



APA – Serra Geral

Reserva Ambiental

Figura 19. Comportamento da resistência mecânica do solo à penetração versus a profundidade do solo na região de produção de soja na divisa entre os estados do Tocantins e Bahia.

área da reserva penetra no perfil do solo, contribuindo para a redução de sua porosidade natural, e conseqüentemente elevando-se a resistência à penetração das raízes, no mesmo.

Pode-se verificar pelos comportamentos das RP ao longo do perfil do solo, Figura 19, e estimativa da profundidade do solo, Tabela 10, correspondente ao limite crítico deste indicador de compactação, que os solos nesta região produtora quando mantidos com cobertura vegetal nativa tendem a permitir o aprofundamento das raízes em, aproximadamente, três vezes maior que o observado em área de plantio com a cultura da soja, proporcionado pela redução na RP, possivelmente pelo aumento da umidade. Esta relação foi observada também por Genro Junior et al. (2004).

Para a unidade de produção 2 (UP 2), a Figura 20 mostra o comportamento da relação entre a resistência à penetração das raízes ao longo do perfil solo, até a profundidade de 500 mm; observados em três locais: talhão de plantio (01), com características de solo neossolo; área de preservação permanente (APA – Córrego efêmero) e talhão de plantio (02), com características de solo latossolo vermelho-amarelo.

A partir dos gráficos, na Figura 20, que expressam a relação entre resistência à penetração das raízes (RP), indicador de compactação do solo, e profundidade do solo pode-se perceber que nesta região de produção os solos atingem o nível crítico (2,0 MPa) para o pleno crescimento da cultura da soja na profundidade de: 88,13 mm na área com cobertura vegetal nativa nas margem de um córrego efêmero; 87,29 mm na área de plantio 01, solo apresentando características de neossolo com cor cinza e presença de cascalho; e 110,48 mm na área de plantio 02, com solo apresentando características de latossolo vermelho amarelo, Tabela 10. A mensuração deste indicador (RP) ocorreu no final do período de menor umidade no solo.

No entanto, para o período de maior umidade no solo, verificou-se que na área de reserva, com cobertura vegetal nativa, o nível crítico ocorreu na profundidade de 128,79 mm; na área de plantio 01 este nível da RP, na profundidade de 203,75 mm; e na área de plantio 02, na profundidade de 486,75 mm. Desse modo, percebe-se que quanto maior o nível de intemperização do solo, menor o risco de compactação. Fazendo-se necessário a utilização de práticas de manejo sustentável, especialmente, nas áreas de plantio em solos jovens.

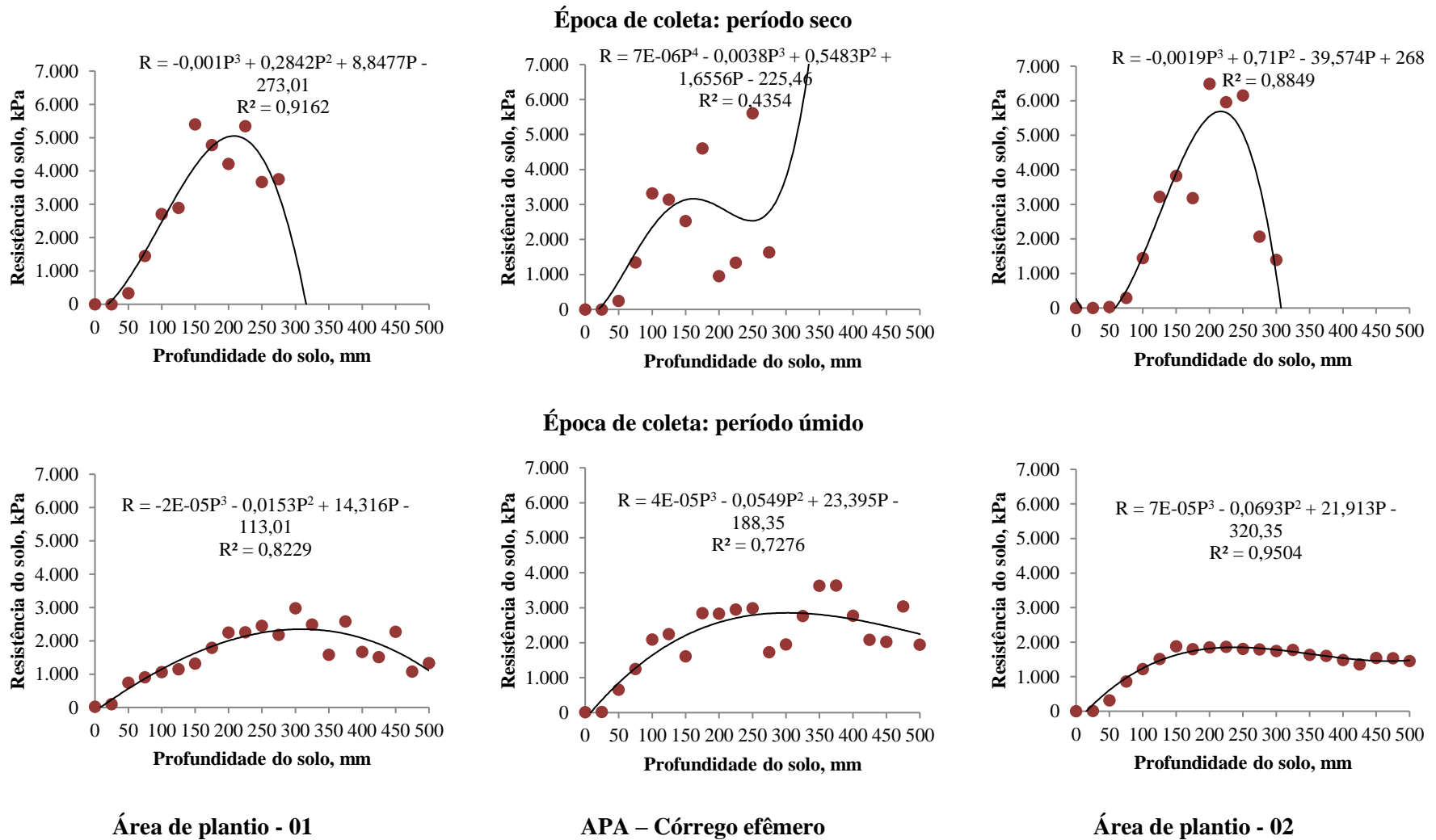


Figura 20. Comportamento da resistência mecânica do solo à penetração versus a profundidade do solo na região de produção de soja no município de Pedro Afonso - TO.

Na área cultivada em latossolo, quando úmido, apresentou a profundidade do solo, correspondente ao nível crítico, 1,4 vezes maior que na área cultivada em neossolo, durante a mensuração deste indicador foi perceptível a diferença no desenvolvimento das plantas; cuja RP menor e conseqüentemente maior crescimento da planta. Borges et al. (1999) relata que o aumento da RP reduz o crescimento das raízes, podendo até cessá-lo ao nível crítico, afetando o desenvolvimento das plantas e sua produção.

Com relação a unidade de produção 3 (UP 3), na Figura 21 pode-se perceber o comportamento da relação entre a resistência à penetração das raízes ao longo do perfil do solo, até a profundidade de 500 mm; mensurados em três locais: área de cultivo lavoura-pecuária, com ocorrência de cascalho na superfície, e ao longo do perfil do solo, e presença de plantas invasoras; área de reserva ambiental, com ocorrência de cascalho e raízes adventícias ao longo do perfil do solo, e presença de calha natural de escoamento d'água superficial; e em uma área de fragmentação antrópica, posicionada no centro do talhão de plantio, com maior elevação, solo de cor vermelho escuro, com presença de vegetação arbórea, folhagem na superfície, raízes adventícias ao longo do perfil do solo.

Analisando-se os gráficos de RP versus profundidade do solo, na região de produção de Porto Nacional – TO, apresentados na Figura 21, e estimativa da profundidade correspondente ao nível crítico da RP, limitante ao desenvolvimento do sistema radicular da cultura da soja, Tabela 10. Pode-se constatar que as porções de solos avaliados com cobertura vegetal natural e com cultivos tendem a apresentar semelhanças nas profundidades do solo que ocorre o limite crítico ao desenvolvimento das plantas da cultura da soja, levando-nos a predizer que a prática de manejo do solo utilizada nesta unidade produtiva pouco afeta o adensamento do solo; pois, o nível de RP crítico, somente, ocorre a uma profundidade superior a profundidade efetiva das raízes da cultura, que é de 400 mm, e nesta área de cultivo no período de plantio, ou seja úmido, é de 611,09 mm.

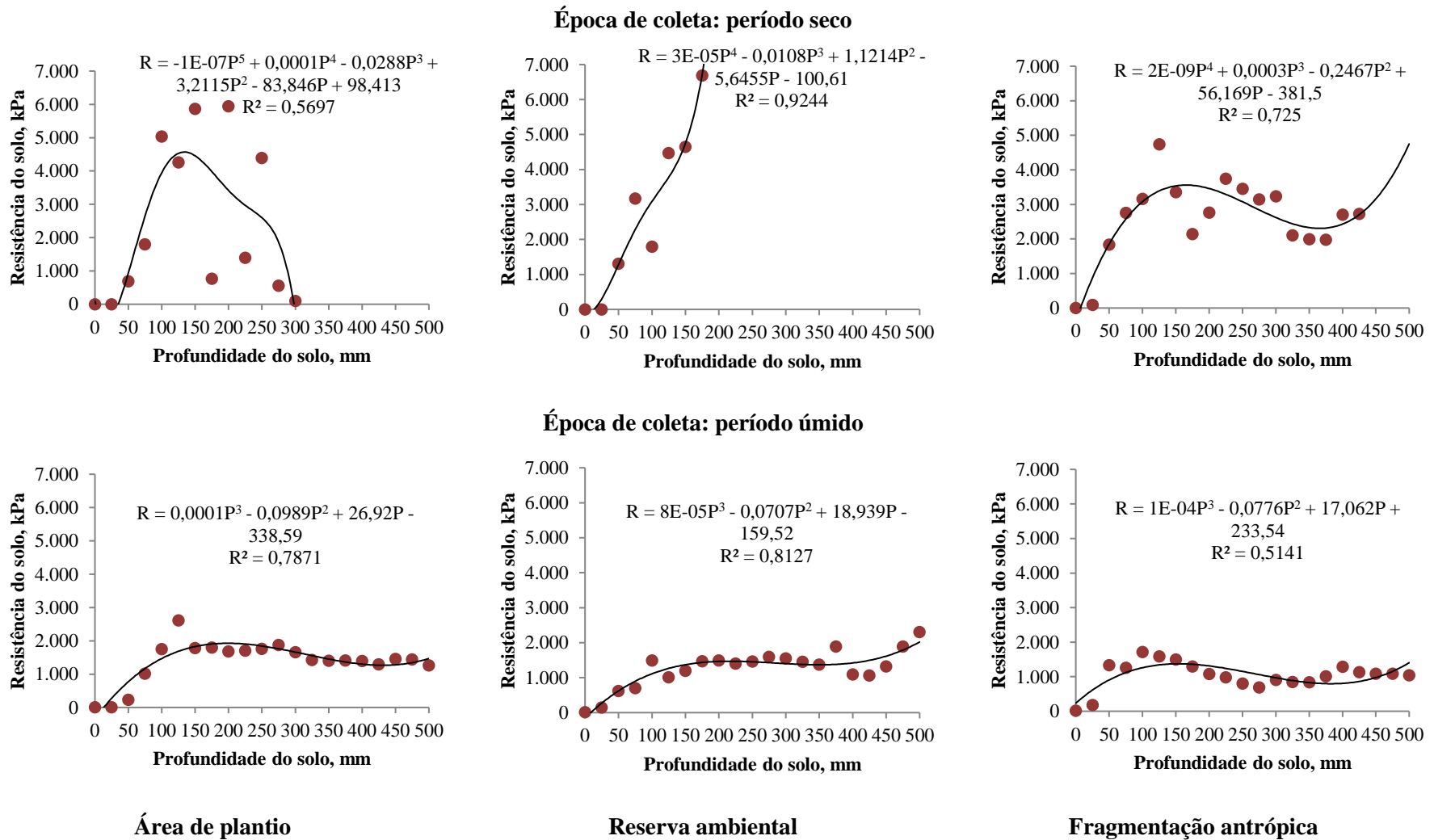


Figura 21. Comportamento da resistência mecânica do solo à penetração versus a profundidade do solo na região de produção de soja no município de Porto Nacional - TO.

Tabela 10. Capacidade de penetração das raízes no solo, em mm, em função de sua resistência, em MPa, sob diferentes condições de umidade.

Localidade	Área de coleta	Resistência do solo, MPa			
		Seco		Úmido	
		1,5	2,0	1,5	2,0
Profundidade do solo, mm					
Dianópolis	Plantio	88,52	99,03	128,74	194,82
	APA-Serra	60,15	78,75	370,17	520,19
	Reserva Ambiental	39,12	52,86	199,79	291,21
Pedro Afonso	Plantio (S. Cinza)	73,06	87,29	135,88	203,75
	Reserva Ambiental	71,80	88,13	89,86	128,79
	Plantio (S. Amarelo)	99,76	110,48	128,48	486,75
Porto Nacional	Plantio	58,20	65,34	103,55	611,09
	Reserva Ambiental	56,05	69,57	481,59	536,03
	Fragmento Antrópico	40,26	54,65	470,61	508,93

De modo geral, os solos com cobertura vegetal nativa, nas regiões produtivas observadas, apresentaram comportamento semelhantes, nos dois períodos de umidade, quanto ao máximo de crescimento das raízes limitada pelo valor crítico da resistência do solo; com exceção da área de reserva ambiental da região produtora de Pedro Afonso – TO que no período úmido apresentou nível crítico de RP bem mais próximo da superfície, a 128,79 mm de profundidade, que as demais áreas de cobertura natural observadas. Isso se deveu, possivelmente, a este apresentar características típicas de solos jovens, com ocorrências de elevada proporção de cascalhos, e declividade bastante acentuada.

Quanto as áreas de plantio observadas, verificou-se que os solos com características típicas de solos jovens, ou com tempo de uso associado à mecanização agrícola pesada, tende a leva-los a formação de camadas compactadas acima do limite da zona radicular efetiva da cultura da soja; como o observado na área de plantio 01, da UP 02 – Pedro Afonso - TO, que se tratava de um neossolo com cultivo praticado somente a três anos. Enquanto na área de plantio, da UP 01 – divisa TO/BA, onde o cultivo na área já ocorria há 10 anos, com utilização de máquinas e implementos pesados.

5.3.2 Estimativa dos indicadores químicos de qualidade do solo

A estimativa do indicador pH nos solos das unidades de produção, com cultivo de soja e com cobertura de matas nativas, encontra-se na Tabela 11 e Figura 22. Pode-se verificar que nos solos cultivados, na profundidade de 0 a 20 cm, o pH apresentou índice média de 4,35 a 5,70 com dispersão espacial de baixa a média; enquanto que, nesta mesma profundidade, nos solos com cobertura de matas nativas este indicador variou de 3,88 a 4,35, acidez elevada: $\text{pH} < 5,0$, Palhano et al. (1984), com dispersão espacial semelhante a observada nas áreas cultivadas. Nesta profundidade, este indicador apresentou diferença significativa entre as áreas cultivadas e as áreas de matas nativas ($p < 0,10$); mas, não apresentou diferenças entre as áreas cultivadas.

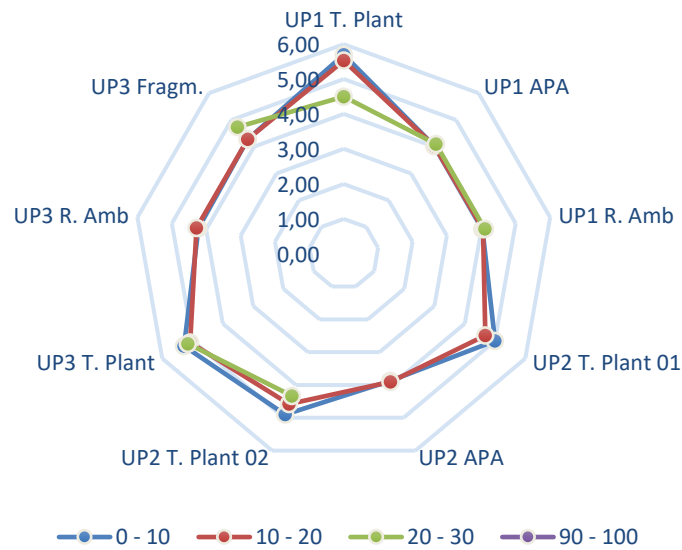
Quando se compara o comportamento deste indicador entre as profundidades de 0 a 20 cm com a profundidade maior que 20 cm percebe uma diferença significativa nas áreas cultivadas, o que não se confirma nas áreas de matas nativas ($p < 0,10$). Este fenômeno deve-se ao uso de corretivos agrícolas, para elevar o pH dos solos deste bioma à faixa ideal para a cultura da soja, $5,5 \leq \text{pH} \leq 6,5$ (PALHANO et al., 1984).

Na unidade de produção – UP2, o solo na APA apresentou índice de pH com comportamento semelhante a área de plantio, isso deve-se possivelmente ao carreamento de corretivos aplicado na área de plantio, provocado por falhas no preparo do solo, como o mal dimensionamento na construção de terraços, ou falta destes. A partir da análise destes dados, pode-se deduzir que a dose do corretivo aplicado nas áreas de plantio não foi suficiente para atingir a faixa de pH ideal, neutralizando em totalidade os elementos no solo que provocam toxicidade à cultura, podendo ter comprometido a solubilização dos nutrientes fundamentais para a planta.

Tabela 11. Comportamento do indicador químico pH (CaCl₂) em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

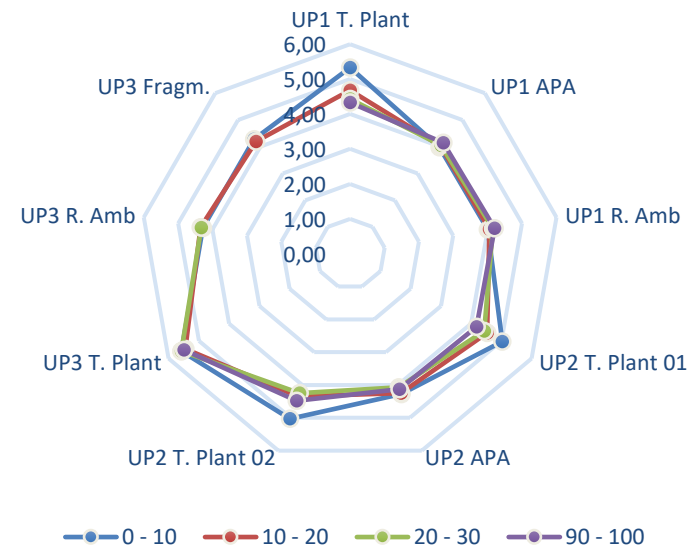
Unidade de produção – UP 1 (divisa Tocantins/Bahia)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				APA – Serra Geral				Reserva ambiental			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	5,70 ± 0,35aA	5,2	5,33 ± 0,15aA	2,4	4,03 ± 0,15bAB	3,1	3,98 ± 0,11bA	2,4	4,03 ± 0,22bA	4,7	4,00 ± 0,41bA	8,7
10 – 20	5,53 ± 0,44aA	6,8	4,68 ± 0,20bB	7,5	4,03 ± 0,06cA	1,2	4,03 ± 0,06cA	1,2	4,05 ± 0,12cA	2,5	4,05 ± 0,20cA	4,3
20 – 30	4,50 ± 0,48aB	9,1	4,43 ± 0,15aB	2,8	4,10 ± 0,00bB	0,0	4,05 ± 0,07bA	1,4	4,10 ± 0,06bA	1,2	4,15 ± 0,20abA	4,2
90 – 100	-	-	4,33 ± 0,15aB	2,9	-	-	4,15 ± 0,07aA	1,4	-	-	4,20 ± 0,10A	1,9
Unidade de produção – UP 2 (Pedro Afonso – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio 01				APA – Córrego efêmero				Talhão de plantio 02			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	5,00 ± 0,46aA	7,8	5,03 ± 0,32aA	5,5	3,88 ± 0,15bA	3,3	4,28 ± 0,53abA	10,5	4,90 ± 0,42aA	7,3	5,03 ± 0,29aA	5,0
10 – 20	4,68 ± 0,54aA	9,8	4,53 ± 0,31aAB	5,8	3,90 ± 0,17bA	3,6	4,25 ± 0,51abA	10,3	4,58 ± 0,34aA	6,3	4,35 ± 0,30aB	5,8
20 – 30	-	-	4,43 ± 0,20aB	3,9	-	-	4,07 ± 0,10bA	1,4	4,33 ± 0,20abA	4,0	4,25 ± 0,07aB	1,4
90 – 100	-	-	4,18 ± 0,06aB	1,2	-	-	4,13 ± 0,10 aA	1,4	-	-	4,48 ± 0,15bAB	2,8
Unidade de produção – UP 3 (Porto Nacional – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				Reserva ambiental				Fragmentação antrópica			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	5,28 ± 0,20aA	3,2	5,58 ± 0,71aA	10,8	4,23 ± 0,24bA	4,9	4,28 ± 0,24bA	4,8	4,28 ± 0,11bA	2,2	4,28 ± 0,18bA	3,5
10 – 20	5,08 ± 0,28aA	4,7	5,45 ± 0,81aA	12,6	4,28 ± 0,29bA	5,9	4,35 ± 0,23bA	4,4	4,28 ± 0,11bA	2,2	4,20 ± 0,10bA	1,9
20 – 30	5,15 ± 0,32aA	1,4	5,58 ± 0,76aA	11,7	-	-	4,33 ± 0,18bA	3,5	4,73 ± 0,19abB	2,4	-	-
90 – 100	-	-	5,50 ± 0,62A	9,6	-	-	-	-	-	-	-	-

CV = Coeficiente de variância, %; os números seguidos pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, para cada área de coleta por unidade de produção, não diferem entre si ao nível de significância ($p < 0,10$).



Profundidade do solo, cm

Período: seco



Profundidade do solo, cm

Período: úmido

UP1 T. Plant: Unid. de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura 22. Comportamento do indicador químico pH (CaCl₂) em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Os indicadores químicos trocáveis cálcio (Tabela 12, Figura 23) e magnésio (Tabela 13, Figura 24) apresentaram comportamento semelhantes nas áreas de plantio no período seco, na profundidade de 0 a 10 cm, com teor médio de cálcio variando de 2,78 a 3,98 cmolc/dm^3 , indicando uma média concentração, EMBRAPA (2013), com dispersão espacial de média a alta; enquanto que o teor médio de magnésio variou de 1,25 a 1,85 cmolc/dm^3 , indicando uma alta concentração, com dispersão espacial de média a muito alta.

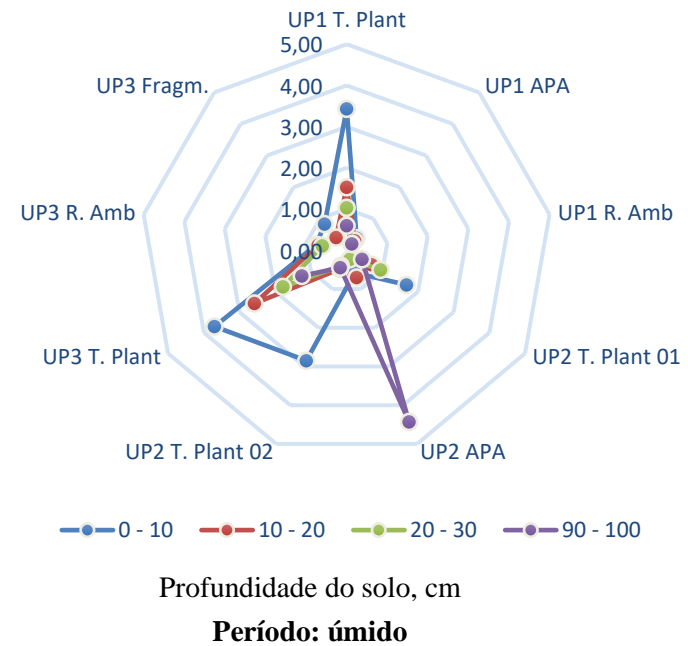
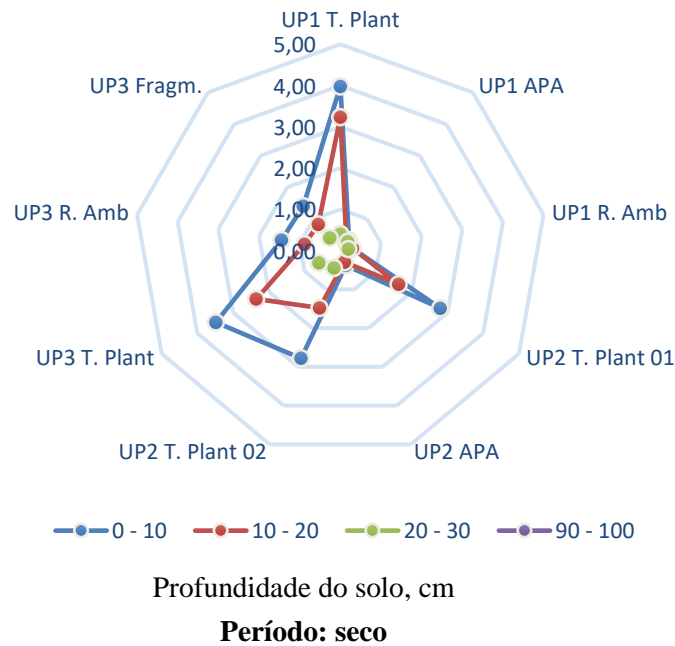
Nesta profundidade, de 0 a 10 cm, estes indicadores não apresentaram diferença significativa ($p < 0,10$) entre as áreas de plantio tanto no período seco quanto no período úmido; mas, estas áreas apresentaram diferenças significativas quando comparadas com as áreas de matas nativas. Já na profundidade de 10 a 20 cm estas diferenças tenderam a não se confirmar; possivelmente deve-se ao carreamento de parte do corretivo aplicado nas áreas de plantio. Este fenômeno pode ser percebido pelo expressivo aumento do teor de cálcio presente na profundidade do solo, 90 a 100 cm, na área de preservação ambiental na UP2 no período úmido (Figura 23), bem como um discreto acréscimo no teor de magnésio na mesma área só que na profundidade do solo, de 10 a 20 cm (Figura 24).

No plano vertical, verificou-se que nas áreas de plantio de modo geral ocorreu diferenciação significativa no teor destes indicadores; enquanto nas áreas de mata nativa a tendência foi de não ocorrer diferenças significativas. Nas áreas de mata nativas, na profundidade de 0 a 20 cm, o teor médio de cálcio presente variou de 0,23 a 1,45 cmolc/dm^3 , indicando uma baixa concentração, e o teor médio de magnésio variou de 0,10 a 0,60 cmolc/dm^3 , indicando uma concentração variando de baixa a média.

Tabela 12. Comportamento do indicador químico cálcio (Ca), cmolc/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Unidade de produção – UP 1 (divisa Tocantins/Bahia)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				APA – Serra Geral				Reserva ambiental			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	3,98 ± 0,78aA	16,6	3,43 ± 0,70aA	17,3	0,33 ± 0,22bA	58,3	0,38 ± 0,24bA	55,0	0,30 ± 0,24bA	66,7	0,58 ± 0,81bA	119,1
10 – 20	3,23 ± 0,99aA	26,0	1,53 ± 0,18bB	9,8	0,23 ± 0,06cA	22,2	0,30 ± 0,17cA	47,1	0,30 ± 0,24cA	66,7	0,35 ± 0,35cA	85,7
20 – 30	0,40 ± 0,32abcB	67,7	1,03 ± 0,51aBC	42,4	0,28 ± 0,06bA	18,2	0,20 ± 0,00cA	0,0	0,20 ± 0,00cA	0,0	0,30 ± 0,24abcA	66,7
90 – 100	-	-	0,60 ± 0,21aC	30,4	-	-	0,20 ± 0,00bA	0,0	-	-	0,20 ± 0,00bA	0,0
Unidade de produção – UP 2 (Pedro Afonso – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio 01				APA – Córrego efêmero				Talhão de plantio 02			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	2,80 ± 0,87aA	26,4	1,68 ± 0,50aA	25,5	0,38 ± 0,26bA	59,1	0,58 ± 0,31bA	45,7	2,78 ± 0,95aA	29,0	2,85 ± 1,27aA	37,8
10 – 20	1,63 ± 1,18abA	61,8	0,70 ± 0,35aB	42,1	0,30 ± 0,10aA	27,2	0,70 ± 0,86abA	105,0	1,48 ± 0,32bB	18,7	0,48 ± 0,39aB	69,6
20 – 30	-	-	0,95 ± 0,48aAB	42,5	-	-	0,23 ± 0,10bA	24,7	0,45 ± 0,12abC	22,2	0,40 ± 0,14abB	28,9
90 – 100	-	-	0,43 ± 0,18aB	35,3	-	-	4,43 ± 12,36aA	165,4	-	-	0,45 ± 0,23aB	42,6
Unidade de produção – UP 3 (Porto Nacional – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				Reserva ambiental				Fragmentação antrópica			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	3,48 ± 0,68aA	16,7	3,70 ± 3,25abA	74,7	1,45 ± 1,16bA	67,9	0,75 ± 0,56bA	63,9	1,40 ± 0,58bA	35,5	0,83 ± 0,24bA	25,0
10 – 20	2,35 ± 1,08aA	38,9	2,58 ± 2,57abA	84,8	0,88 ± 0,65abA	63,6	0,70 ± 0,53bA	64,9	0,83 ± 0,49bAB	50,8	0,40 ± 0,21bA	45,6
20 – 30	0,60 ± 0,00aB	0,0	1,78 ± 1,75abA	83,9	-	-	0,60 ± 0,37abA	52,7	0,40 ± 0,00bB	0,0	-	-
90 – 100	-	-	1,25 ± 1,22A	83,3	-	-	-	-	-	-	-	-

CV = Coeficiente de variância, %; os números seguidos pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, para cada área de coleta por unidade de produção, não diferem entre si ao nível de significância ($p < 0,10$).



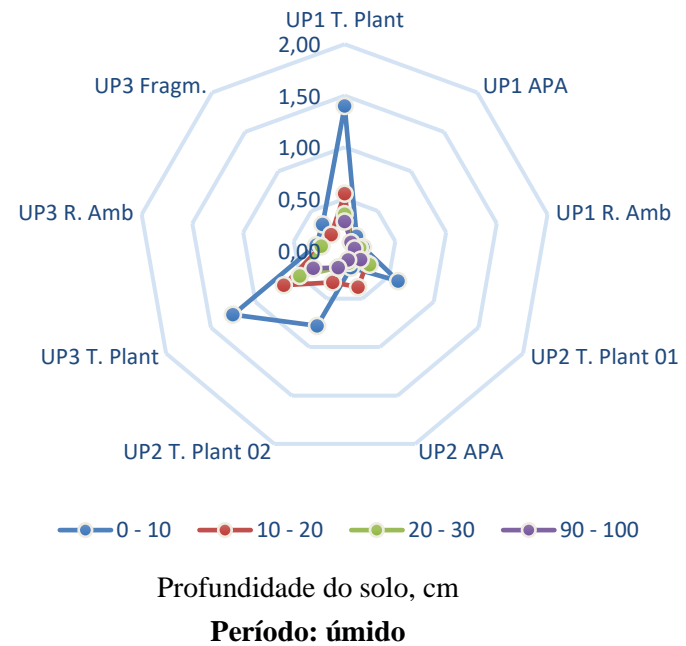
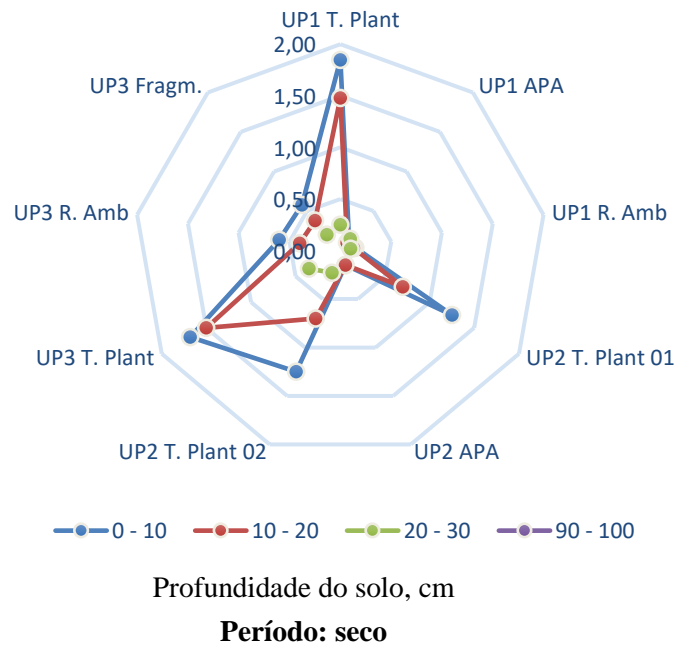
UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura 23. Comportamento do indicador químico cálcio (Ca), cmol/dm^3 , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Tabela 13. Comportamento do indicador químico magnésio (Mg), cmolc/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Unidade de produção – UP 1 (divisa Tocantins/Bahia)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				APA – Serra Geral				Reserva ambiental			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	1,85 ± 0,34aA	15,6	1,40 ± 0,29aA	17,5	0,13 ± 0,06bA	40,0	0,18 ± 0,11bA	54,7	0,15 ± 0,12bA	66,7	0,18 ± 0,18bA	85,7
10 – 20	1,48 ± 0,39aA	22,4	0,55 ± 0,07bB	10,5	0,10 ± 0,00cA	0,0	0,10 ± 0,00cA	0,0	0,13 ± 0,06cA	40,0	0,15 ± 0,12cA	66,7
20 – 30	0,25 ± 0,20abB	69,3	0,35 ± 0,15aBC	36,9	0,15 ± 0,07abA	38,5	0,10 ± 0,00bA	0,0	0,10 ± 0,00bA	0,0	0,15 ± 0,12abA	66,7
90 – 100	-	-	0,28 ± 0,06aC	18,2	-	-	0,10 ± 0,00bA	0,0	-	-	0,10 ± 0,00bA	0,0
Unidade de produção – UP 2 (Pedro Afonso – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio 01				APA – Córrego efêmero				Talhão de plantio 02			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	1,25 ± 0,37aA	24,9	0,60 ± 0,17bA	23,6	0,15 ± 0,07cA	38,5	0,18 ± 0,11cA	54,7	1,25 ± 0,37aA	24,9	0,78 ± 0,48abA	53,1
10 – 20	0,70 ± 0,55abA	67,0	0,25 ± 0,07aB	23,1	0,15 ± 0,07aA	38,5	0,38 ± 0,49abA	111,8	0,70 ± 0,17bB	20,2	0,33 ± 0,22abAB	58,3
20 – 30	-	-	0,28 ± 0,11aB	34,8	-	-	0,13 ± 0,10aA	43,3	0,23 ± 0,06aC	22,2	0,18 ± 0,11aB	54,7
90 – 100	-	-	0,18 ± 0,11aB	54,7	-	-	0,10 ± 0,00aA	0,0	-	-	0,18 ± 0,11aB	54,7
Unidade de produção – UP 3 (Porto Nacional – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				Reserva ambiental				Fragmentação antrópica			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	1,68 ± 1,08aA	55,0	1,25 ± 0,41aA	28,1	0,60 ± 0,46aA	65,3	0,28 ± 0,18bA	54,6	0,58 ± 0,48abA	71,5	0,33 ± 0,11bA	29,5
10 – 20	1,50 ± 1,12aA	63,5	0,68 ± 0,26aAB	32,9	0,40 ± 0,35abA	73,6	0,23 ± 0,11bA	42,6	0,38 ± 0,41abA	93,3	0,20 ± 0,10bA	40,8
20 – 30	0,35 ± 0,32abA	20,2	0,50 ± 0,17aB	28,3	-	-	0,23 ± 0,15abA	55,9	0,20 ± 0,00bA	0,0	-	-
90 – 100	-	-	0,35 ± 0,12B	28,6	-	-	-	-	-	-	-	-

CV = Coeficiente de variância, %; os números seguidos pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, para cada área de coleta por unidade de produção, não diferem entre si ao nível de significância ($p < 0,10$).



UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura 24. Comportamento do indicador químico magnésio (Mg), cmolc/dm^3 , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

O indicador químico alumínio (Tabela 14, Figura 25) nas áreas de plantio na profundidade de solo, 0 a 20 cm, apresentou teor médio variando de 0 a 0,33 cmolc/dm³, caracterizada como de baixa a média de acordo com EMBRAPA (2013), com dispersão espacial muito alta, e nas matas nativas variou de 0,25 a 0,75 cmolc/dm³, classificada como média, com dispersão espacial variando de baixa a muito alta.

Este indicador tendeu a não apresentar diferença significativa ($p < 0,10$) entre as áreas de plantio na profundidade do solo de 0 a 20 cm; no entanto, nesta mesma profundidade, em geral apresentou diferença significativa com o teor presente nos solos com cobertura de matas nativas. Este comportamento nos solos sem atividades antrópicas já era previsto neste bioma, enquanto nos solos cultivados a alteração neste comportamento deve-se ao uso de corretivo de acidez.

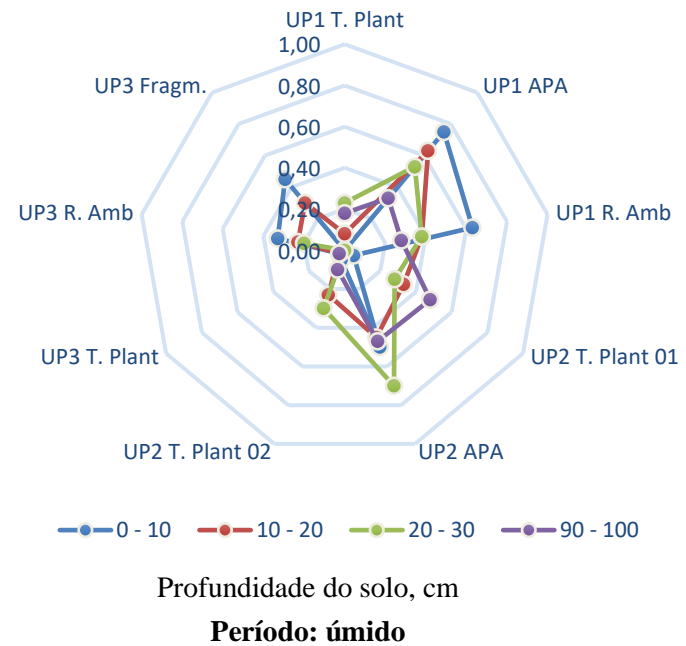
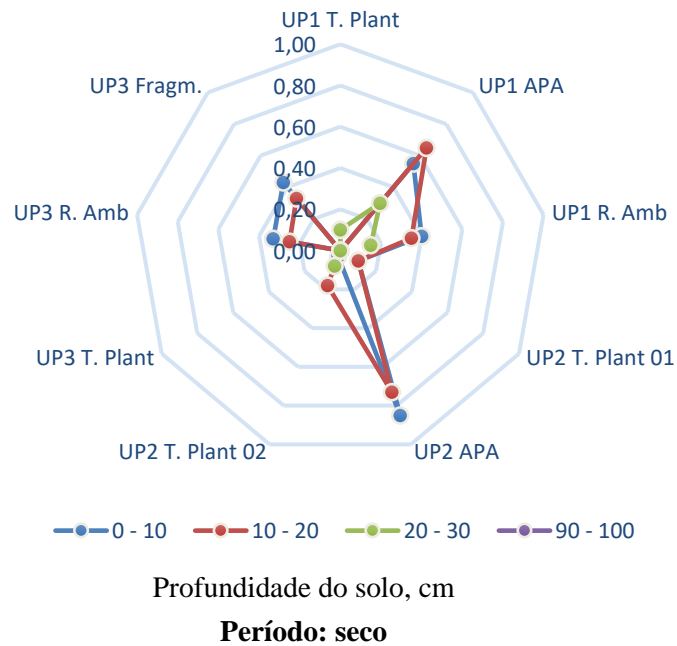
Como os solos das unidades produtivas UP1 e UP2 apresentam alta proporção de areia; logo, estes apresentam baixa capacidade de retenção de nutrientes quando submetidos a percolação de água, o que ocorre durante o período úmido, fazendo com nestes ocorra um aumento no teor de alumínio (Figura 25). Para mitigar esta lixiviação de nutrientes e aumentar a capacidade de retenção de água na camada superficial destes solos, torna-se imprescindível a prática de plantio direto na palha, e de forma continuada; para que ao longo do tempo aumenta-se o teor de húmus, que proporcionará os papéis desempenhados pela argila e ao mesmo tempo propiciará melhores condições para a microbiota do solo.

Analisando o comportamento do montante dos indicadores químicos hidrogênio e alumínio, que expressa o potencial de acidez do solo, nas áreas de plantio e de matas nativas (Tabela 15, Figura 26) nos períodos seco e úmido; verifica-se que nas áreas de plantio, na profundidade do solo de 0 a 20 cm, o teor deste montante variou de 1,68 a 5,35 cmolc/dm³, caracterizado como de baixo a alta concentração (CFSEMG, 1999), com dispersão espacial de média ($10\% < CV < 20\%$) a muito alta ($CV > 30\%$), e nas áreas de matas nativas, nesta mesma faixa de profundidade, variou de 2,48 a 9,03 cmolc/dm³, de baixa a muito alta concentração, com dispersão espacial variando de baixa ($CV < 10\%$) a muito alta.

Tabela 14. Comportamento do indicador químico alumínio (Al), cmolc/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Unidade de produção – UP 1 (divisa Tocantins/Bahia)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				APA – Serra Geral				Reserva ambiental			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	0,00 ± 0,00 aA	-	0,00 ± 0,00 aA	-	0,55 ± 0,24 bA	37,9	0,75 ± 0,20 bA	23,1	0,40 ± 0,25 bA	54,0	0,63 ± 0,50 bA	68,4
10 – 20	0,00 ± 0,00 aA	-	0,08 ± 0,11 aAB	127,7	0,65 ± 0,12 bcA	15,4	0,63 ± 0,06 bA	8,0	0,35 ± 0,20 cA	49,5	0,38 ± 0,18 cA	40,0
20 – 30	0,10 ± 0,00 aB	0,0	0,23 ± 0,06 bB	22,2	0,30 ± 0,00 cB	0,0	0,53 ± 0,11 dAB	18,2	0,15 ± 0,07 abA	38,5	0,38 ± 0,18 bcdA	40,0
90 – 100	-	-	0,18 ± 0,06 aB	28,6	-	-	0,33 ± 0,15 aB	38,7	-	-	0,28 ± 0,11 aA	34,8
Unidade de produção – UP 2 (Pedro Afonso – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio 01				APA – Córrego efêmero				Talhão de plantio 02			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	0,10 ± 0,24 aA	200,0	0,05 ± 0,12 aA	200,0	0,85 ± 0,34 bA	34,0	0,50 ± 0,55 bA	93,8	0,03 ± 0,06 aA	200,0	0,05 ± 0,07 aA	115,5
10 – 20	0,10 ± 0,10 aA	81,7	0,33 ± 0,31 abAB	80,9	0,73 ± 0,28 bB	32,6	0,45 ± 0,31 abA	58,8	0,18 ± 0,18 aA	85,7	0,23 ± 0,11 aAB	42,6
20 – 30	-	-	0,28 ± 0,18 aAB	54,6	-	-	0,70 ± 0,45 aA	37,8	0,08 ± 0,18 aA	200,0	0,30 ± 0,10 aB	27,2
90 – 100	-	-	0,48 ± 0,15 aB	26,5	-	-	0,47 ± 0,26 aA	32,7	-	-	0,10 ± 0,10 bAB	81,7
Unidade de produção – UP 3 (Porto Nacional – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				Reserva ambiental				Fragmentação antrópica			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	0,00 ± 0,00 aA	-	0,03 ± 0,06 abA	200,0	0,33 ± 0,31 bcA	80,9	0,33 ± 0,26 bcA	68,2	0,43 ± 0,11 cA	22,5	0,45 ± 0,12 cA	22,2
10 – 20	0,00 ± 0,00 aA	-	0,03 ± 0,06 abA	200,0	0,25 ± 0,31 abcA	105,8	0,23 ± 0,18 bcA	66,7	0,33 ± 0,15 cA	38,7	0,30 ± 0,15 cA	45,8
20 – 30	0,00 ± 0,00 aA	-	0,00 ± 0,00 aA	-	-	-	0,20 ± 0,10 bA	40,8	0,00 ± 0,00 aB	-	-	-
90 – 100	-	-	0,03 ± 0,06A	200,0	-	-	-	-	-	-	-	-

CV = Coeficiente de variância, %; os números seguidos pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, para cada área de coleta por unidade de produção, não diferem entre si ao nível de significância ($p < 0,10$).



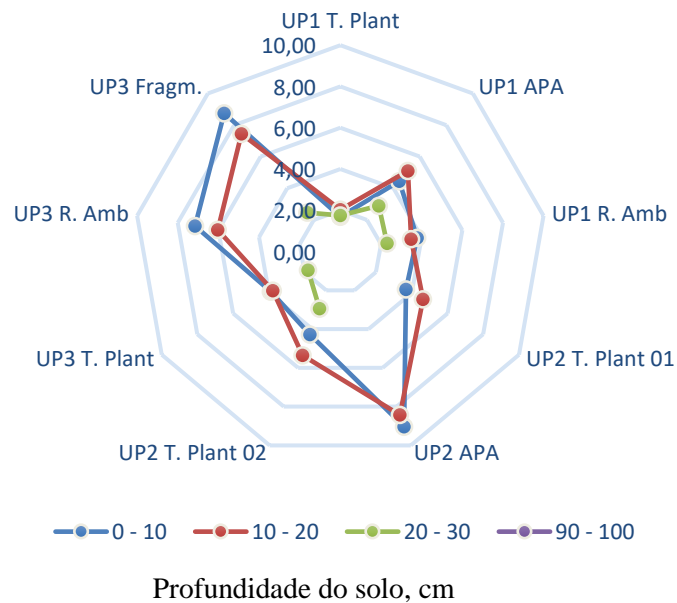
UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura 25. Comportamento do indicador químico alumínio (Al), cmolc/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Tabela 15. Comportamento do montante dos indicadores químicos hidrogênio (H) e alumínio (Al), cmolc/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

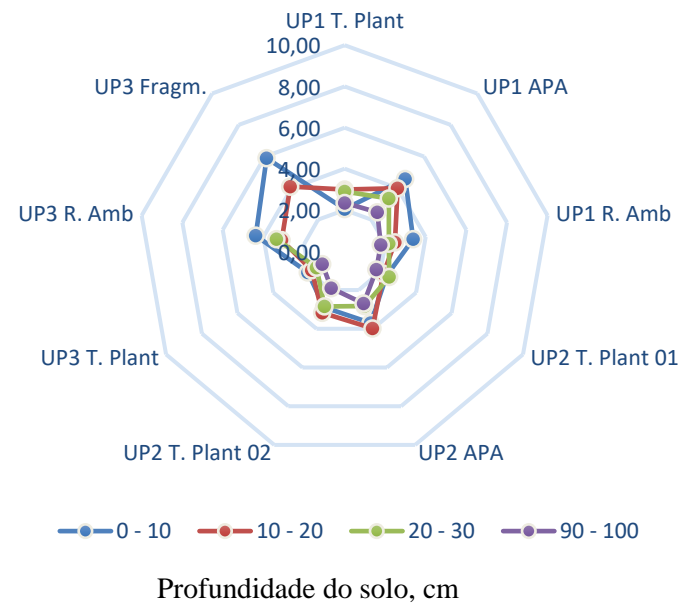
Unidade de produção – UP 1 (divisa Tocantins/Bahia)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				APA – Serra Geral				Reserva ambiental			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	1,68 ± 0,60 aA	30,6	2,05 ± 0,40 aA	16,7	4,45 ± 0,67 bA	12,8	4,58 ± 0,56 bA	10,5	3,78 ± 0,95 bA	21,3	3,38 ± 2,48 abA	62,5
10 – 20	2,03 ± 0,53 aA	22,2	3,00 ± 0,79 aAB	22,3	5,10 ± 0,62 dA	10,3	4,00 ± 0,27 cAB	5,8	3,48 ± 0,98 bcAB	23,9	2,48 ± 0,69 abA	23,7
20 – 30	1,75 ± 0,12 aA	5,71	2,90 ± 0,41 bcB	12,0	2,90 ± 0,56 bcB	16,4	3,35 ± 0,39 cB	9,9	2,30 ± 0,41 bB	15,1	2,18 ± 0,34 bA	13,2
90 – 100	-	-	2,35 ± 0,20 aAB	7,4	-	-	2,48 ± 0,34 aC	11,6	-	-	1,78 ± 0,28 bA	13,3
Unidade de produção – UP 2 (Pedro Afonso – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio 01				APA – Córrego efêmero				Talhão de plantio 02			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	3,68 ± 2,00 aA	46,1	2,35 ± 1,14 aA	41,2	9,03 ± 0,99 bA	9,3	3,70 ± 2,33 aA	53,4	4,28 ± 1,50 aA	29,9	2,90 ± 1,58 aA	46,2
10 – 20	4,63 ± 3,34 abA	61,3	2,18 ± 0,80 aA	31,3	8,43 ± 1,70 cA	17,1	3,98 ± 1,73 abA	37,1	5,35 ± 1,57 bcA	24,9	3,18 ± 1,37 abA	36,8
20 – 30	-	-	2,50 ± 0,42 aA	14,8	-	-	2,83 ± 1,43 aA	30,0	2,95 ± 0,84 aA	24,2	2,85 ± 1,11 aA	33,1
90 – 100	-	-	1,78 ± 0,36 aA	17,4	-	-	2,70 ± 0,58 aA	12,8	-	-	1,90 ± 0,63 aA	28,2
Unidade de produção – UP 3 (Porto Nacional – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				Reserva ambiental				Fragmentação antrópica			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	3,88 ± 0,91 aA	19,9	2,05 ± 1,21 aA	50,0	7,15 ± 1,57 bcA	18,6	4,38 ± 1,68 bA	32,6	8,75 ± 2,18 cA	21,1	5,90 ± 1,00 bA	14,45
10 – 20	3,78 ± 0,81 bA	18,1	1,85 ± 0,92 aA	42,5	6,03 ± 2,44 bcA	34,5	3,10 ± 0,92 bA	25,1	7,45 ± 1,90 cA	21,6	4,10 ± 0,80 bA	16,7
20 – 30	1,80 ± 0,00 aB	0,0	1,58 ± 0,63 abA	34,1	-	-	3,35 ± 0,73 cA	18,5	2,47 ± 0,59 bcB	14,2	-	-
90 – 100	-	-	1,25 ± 0,34A	23,1	-	-	-	-	-	-	-	-

CV = Coeficiente de variância, %; os números seguidos pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, para cada área de coleta por unidade de produção, não diferem entre si ao nível de significância ($p < 0,10$).



Profundidade do solo, cm

Período: seco



Profundidade do solo, cm

Período: úmido

UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura 26. Comportamento do montante dos indicadores químicos hidrogênio (H) e alumínio (Al), cmolc/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Em geral o montante destes indicadores nas áreas de plantio, na faixa de 0 a 20 cm, tendeu apresentar diferença significativa com aqueles encontrados, na mesma faixa (Tabela 15), nas matas nativas ($p < 0,10$). Constatou-se, também, que ao longo do perfil destes solos ocorreu tendência de variação não significativa no potencial de acidez (H + Al).

Ainda com relação ao potencial de acidez (H + Al) observados nestes solos (Figura 26), com e sem interferências diretas de atividades antrópicas, nos períodos seco e úmido, verifica-se uma tendência de redução deste potencial no período úmido quando comparado ao período seco, especialmente nas áreas de matas nativas; possivelmente por estas áreas de matas nativas estarem posicionadas no entorno das áreas de plantio, e em menores altitudes, provavelmente esta redução no potencial de acidez deve-se a neutralização destes íons pelo corretivo advindo das áreas de plantio por carreamento.

O potássio, macronutriente indispensável para formação e o amadurecimento dos grãos, favorecimento do desenvolvimento do sistema radicular e aumento da resistência das plantas às pragas e doenças, este nutriente deverá ser disponibilizado às plantas em equilíbrio com o macronutriente nitrogênio (SILVA et al., 2007).

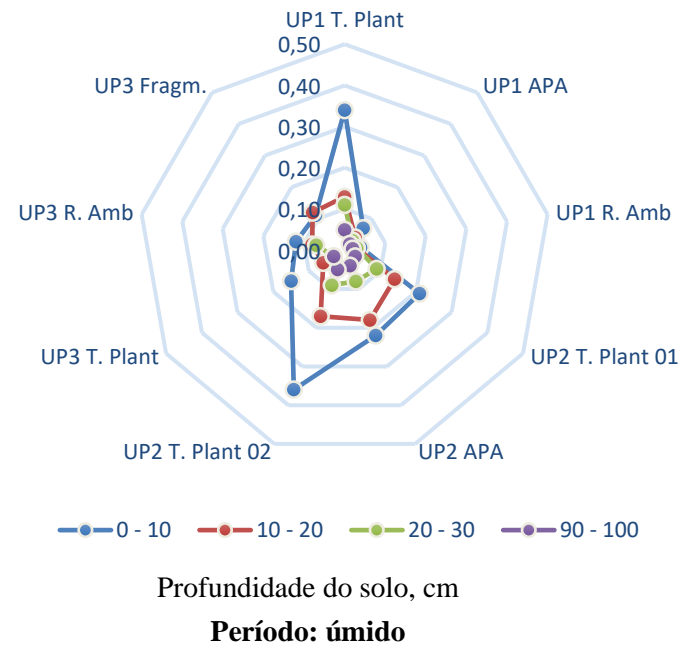
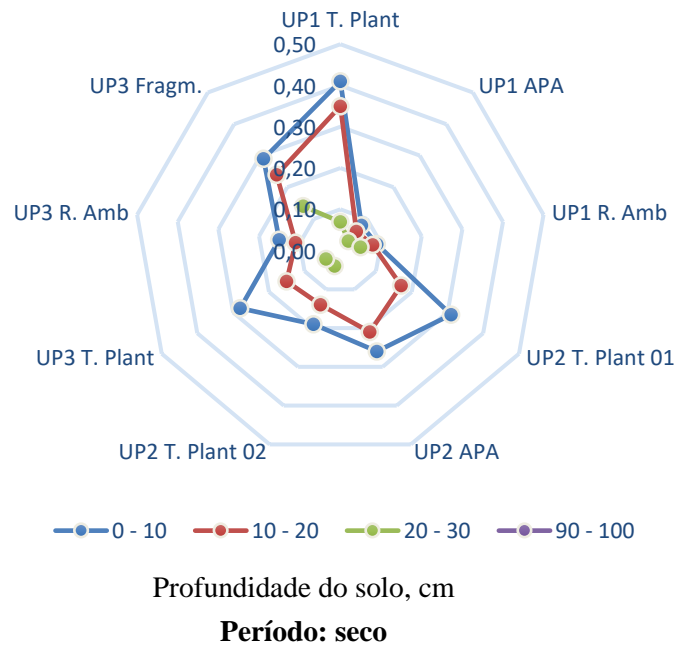
Este indicador químico apresentou nas áreas de plantio, profundidade de 0 a 20 cm, um teor médio variando de 0,06 a 0,41 cmolc/dm³, muito baixo (RAIJ et al., 1996), com dispersão espacial de baixa a muito alta (Tabela 16); enquanto que, nas áreas de matas nativas a variação, na mesma faixa de profundidade, foi de 0,03 a 0,29 cmolc/dm³, muito baixo (RAIJ et al., 1996), apresentando mesmo comportamento de dispersão que as áreas de plantio. Constatou-se que nesta faixa de profundidade, o teor de potássio tendeu a não apresentar diferenças significativas entre as áreas de plantio e áreas de matas nativas, com exceção das áreas observadas na unidade de produção – UP1 ($p < 0,10$). Possivelmente, deve-se a maior eficiência das práticas conservacionistas adotados no manejo do solo nesta unidade, como plantio em curvas de nível. Esta prática contribuir para mitigar o efeito do carreamento de corretivos e fertilizantes, bem como resíduos de pesticidas, para áreas de matas nativas circunscritas às de plantio.

Comparando-se os períodos seco e úmido (Figura 27) é possível observar uma tendência de redução no teor de potássio no período úmido em relação ao mensurado no período seco, com exceção da área de plantio 02 da UP2, provavelmente deve-se a uma aplicação desse durante a etapa de plantio.

Tabela 16. Comportamento do indicador químico potássio (K), cmolc/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Unidade de produção – UP 1 (divisa Tocantins/Bahia)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				APA – Serra Geral				Reserva ambiental			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	0,41 ± 0,02 aA	3,2	0,34 ± 0,06 aA	14,4	0,08 ± 0,02 bA	17,3	0,07 ± 0,02 bA	25,1	0,09 ± 0,05 bA	42,6	0,04 ± 0,03 bA	59,1
10 – 20	0,35 ± 0,07 aA	16,9	0,13 ± 0,08 bB	51,3	0,06 ± 0,01 bcA	19,7	0,04 ± 0,01 cAB	27,0	0,08 ± 0,01 bA	7,5	0,03 ± 0,02 cA	56,4
20 – 30	0,07 ± 0,02 acB	26,2	0,11 ± 0,03 aB	26,02	0,03 ± 0,00 bcB	0,0	0,03 ± 0,01 bcBC	29,4	0,05 ± 0,03 abcA	59,9	0,03 ± 0,02 cA	46,2
90 – 100	-	-	0,05 ± 0,04 aB	68,1	-	-	0,02 ± 0,00 aC	11,2	-	-	0,02 ± 0,01 aA	30,1
Unidade de produção – UP 2 (Pedro Afonso – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio 01				APA – Córrego efêmero				Talhão de plantio 02			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	0,31 ± 0,14 aA	38,2	0,21 ± 0,09 aA	35,1	0,26 ± 0,09 aA	29,0	0,22 ± 0,08 aA	33,2	0,19 ± 0,08 aA	36,5	0,36 ± 0,20 aA	46,4
10 – 20	0,17 ± 0,10 aA	50,2	0,14 ± 0,08 aA	46,9	0,21 ± 0,04 aA	16,2	0,18 ± 0,12 aAB	56,6	0,14 ± 0,04 aA	24,9	0,17 ± 0,09 aAB	43,5
20 – 30	-	-	0,09 ± 0,05 abAB	46,9	-	-	0,08 ± 0,03 abB	19,2	0,04 ± 0,01 aB	16,0	0,09 ± 0,02 bBC	19,9
90 – 100	-	-	0,03 ± 0,01 aB	13,8	-	-	0,04 ± 0,02 aB	26,5	-	-	0,05 ± 0,02 aC	32,7
Unidade de produção – UP 3 (Porto Nacional – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				Reserva ambiental				Fragmentação antrópica			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	0,28 ± 0,09 aA	27,9	0,15 ± 0,10 abA	56,8	0,15 ± 0,06 abA	32,2	0,12 ± 0,08 abA	55,7	0,29 ± 0,12 aA	33,4	0,11 ± 0,04 bA	32,7
10 – 20	0,15 ± 0,09 abcAB	52,3	0,06 ± 0,01 aAB	17,0	0,11 ± 0,02 bA	16,7	0,08 ± 0,03 abA	29,8	0,24 ± 0,09 cA	31,3	0,12 ± 0,06 abcA	45,1
20 – 30	0,04 ± 0,06 abB	34,5	0,03 ± 0,01 aB	24,6	-	-	0,07 ± 0,06 abA	65,5	0,14 ± 0,06 bA	25,9	-	-
90 – 100	-	-	0,03 ± 0,02AB	50,7	-	-	-	-	-	-	-	-

CV = Coeficiente de variância, %; os números seguidos pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, para cada área de coleta por unidade de produção, não diferem entre si ao nível de significância ($p < 0,10$).



UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura 27. Comportamento do indicador químico potássio (K), cmolc/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Ainda com relação ao indicador químico potássio (K), o teor médio deste elemento mensurado na profundidade de 0 a 20 cm, nas áreas de plantio variou de 25,00 a 161,00 mg/dm³ (Tabela A1, em anexo), classificado como de muito baixo a bom (VITTI & TREVISAN, 2000). E nas áreas de mata nativa, este indicador apresentou teor médio variando de 11,00 a 114,50 mg/dm³, apresentando a mesma classificação constatada nas áreas de plantio.

A capacidade de troca de cátions (CTC) nas áreas de plantio, profundidade de 0 a 20 cm, variou de 3,29 a 9,30 cmolc/dm³ (Tabela 17), classificando-se como: média a muito boa (CFSEMG, 1999), apresentando uma variação espacial de baixa (CV < 10%) a muito alta (CV > 30%), e nas áreas com matas nativas, na mesma faixa de profundidade, variou de 1,11 a 11,00 cmolc/dm³, com classificação variando de: baixa a muito alta, a variabilidade espacial nestas áreas foi semelhante as com plantio.

Devido à alta variabilidade constatada neste indicador químico (CTC), não é possível prever tendência de comportamento entre as áreas de plantio e matas nativas no plano horizontal; mas, no plano vertical é perceptível uma tendência de redução no valor absoluto da CTC ao nível de significância ($p < 0,10$).

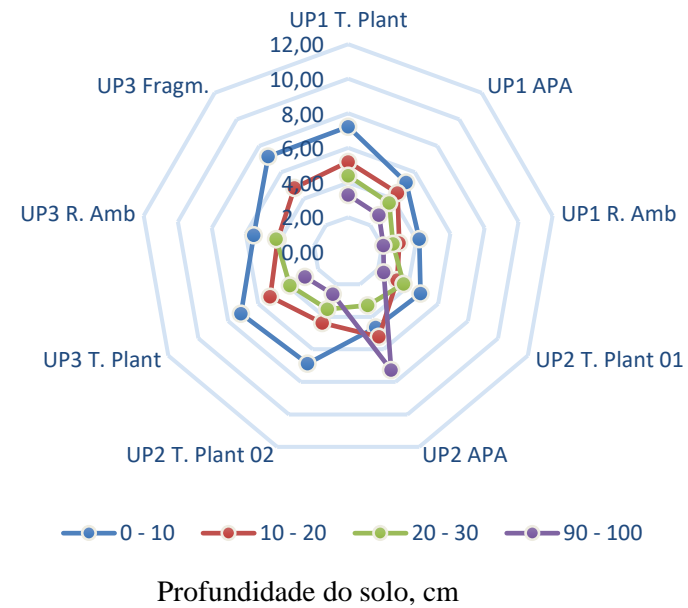
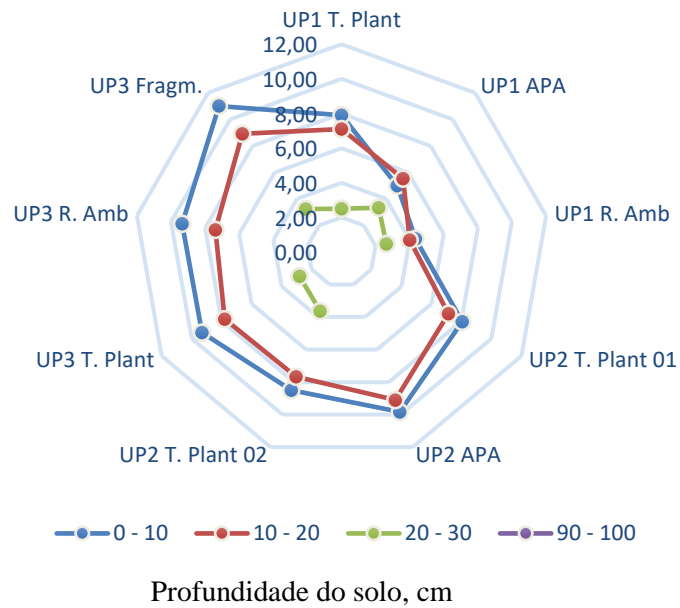
No período seco (Figura 28) verifica-se uma tendência de maior CTC nas unidades de produção UP2 e UP3, na profundidade de 0 a 20 cm. Com relação a UP2, a elevação deste indicador na APA deve-se provavelmente ao incremento de corretivo agrícola advindo da área de plantio 01 que está a montante da mesma. Enquanto na UP3 deve-se aos papéis desempenhados pela a argila, já que nesta unidade produtiva os solos apresentam de 31,00% a 55,25% desse indicador físico, tornando-se estes solos com classificação textural de média a argilosa.

No período úmido (Figura 28), percebe-se uma redução na capacidade de troca de cátions (CTC) nas profundidades mais superficiais com tendência de aumento nas camadas mais profundas. Concordando com Ronquim (2010) este processo pode ser explicado pela elevada capacidade de percolação destes solos nas camadas superficiais, por apresentarem maiores taxas da fração areia, permitindo a lixiviação dos cátions trocáveis para as camadas mais profundas destes solos, propiciada pela intensidade das precipitações pluviométricas características deste bioma.

Tabela 17. Comportamento do indicador químico capacidade de troca de cátions (CTC), cmolc/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Unidade de produção – UP 1 (divisa Tocantins/Bahia)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				APA – Serra Geral				Reserva ambiental			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	7,90 ± 0,75 aA	8,1	7,23 ± 0,95 acA	11,2	5,00 ± 0,69 bA	11,7	5,23 ± 0,53 bA	8,6	4,35 ± 0,80 bA	15,5	4,18 ± 2,57 bcAB	52,3
10 – 20	7,10 ± 0,92 aA	11,0	5,20 ± 0,83 bB	13,6	5,53 ± 0,67 abA	10,3	4,43 ± 0,39 bAB	7,5	4,00 ± 0,85 bcA	18,1	3,00 ± 0,64 cA	18,3
20 – 30	2,50 ± 0,59 aB	20,1	4,40 ± 0,79 bBC	15,2	3,33 ± 0,67 abB	17,1	3,68 ± 0,44 bB	10,3	2,63 ± 0,46 aB	15,0	2,63 ± 0,50 aAB	16,3
90 – 100	-	-	3,28 ± 0,40 aC	10,4	-	-	2,78 ± 0,34 aC	10,4	-	-	2,08 ± 0,28 bB	11,4
Unidade de produção – UP 2 (Pedro Afonso – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio 01				APA – Córrego efêmero				Talhão de plantio 02			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	8,05 ± 1,83 aA	19,3	4,83 ± 1,55 bA	27,3	9,83 ± 1,17 aA	10,1	4,65 ± 2,35 bA	42,9	8,50 ± 1,69 aA	16,9	6,88 ± 2,56 abA	31,7
10 – 20	7,13 ± 3,13 abA	37,4	3,28 ± 1,11 aAB	28,8	9,10 ± 1,62 bA	15,2	5,23 ± 1,47 acA	23,9	7,68 ± 1,53 bcA	16,9	4,38 ± 1,50 aAB	29,2
20 – 30	-	-	3,70 ± 0,71 aA	16,4	-	-	3,30 ± 1,38 aA	24,8	3,63 ± 0,78 aB	18,4	3,53 ± 1,19 aAB	28,8
90 – 100	-	-	2,38 ± 0,57 aB	20,5	-	-	7,27 ± 12,18 aA	99,4	-	-	2,60 ± 0,84 aB	27,4
Unidade de produção – UP 3 (Porto Nacional – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				Reserva ambiental				Fragmentação antrópica			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	9,30 ± 0,21 acA	2,0	7,15 ± 2,34 abcA	27,8	9,35 ± 2,48 abcA	22,5	5,53 ± 1,50 bA	23,1	11,00 ± 2,38 cA	18,4	7,18 ± 1,37 abA	16,3
10 – 20	7,78 ± 2,69 acA	29,5	5,20 ± 2,12 abcAB	34,7	7,40 ± 2,18 acA	25,1	4,13 ± 0,79 bcA	16,3	8,90 ± 1,93 aA	18,5	4,83 ± 1,11 cA	19,6
20 – 30	2,80 ± 0,63 aB	5,1	3,88 ± 1,46 aAB	32,1	-	-	4,23 ± 1,25 aA	25,2	3,23 ± 0,59 aB	10,9	-	-
90 – 100	-	-	2,88 ± 1,12B	33,2	-	-	-	-	-	-	-	-

CV = Coeficiente de variância, %; os números seguidos pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, para cada área de coleta por unidade de produção, não diferem entre si ao nível de significância ($p < 0,10$).



UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; UP1 APA: Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; UP1 R. Amb: Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
 UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; UP2 APA: Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; UP2 T. Plant 02: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
 UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; UP3 R. Amb: Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; UP3 Fragm.: Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura 28. Comportamento do indicador químico capacidade de troca de cátions (CTC), cmolc/dm^3 , em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

O teor da matéria orgânica (MO) presente nos solos cultivados, na profundidade de 0 a 20 cm, variou de 9,25 a 37,00 g/dm³ (Tabela 18), esta concentração é classificada como de baixa a alta (EMBRAPA, 2013), com dispersão espacial de baixa a muito alta. Os solos de matas nativas, na mesma profundidade, apresentaram uma variação de 8,00 a 54,25 g/dm³, expressando a mesma classificação de baixa a alta, e mesmo comportamento de dispersão espacial.

Analisando-se o comportamento da MO nas unidades produtivas, com relação ao plano horizontal (Tabela 18), não foi perceptível diferenças significativas ($p < 0,10$) do teor médio deste indicador quando se compara as áreas de coleta: plantio versus mata nativa, bem como período de coleta: seco e úmido. Provavelmente, esta similaridade deve-se ao processo contínuo de incremento de matéria orgânica proporcionada pela prática conservacionista de manejo do solo – plantio direto. Sendo esta prática o único meio de manter a produtividade destes solos (PRIMAVESI, 2006).

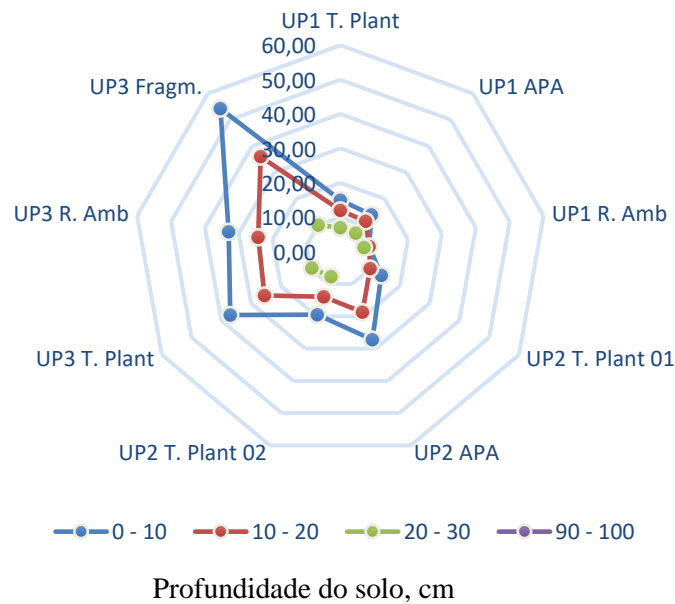
No entanto, quando se analisa a MO no plano vertical constata-se uma tendência significativa de redução no teor deste indicador com o aprofundamento do solo nas unidades de produção, tanto nas áreas de plantio quanto nas áreas de matas nativas nos períodos observados.

Entre os períodos: seco e úmido (Figura 29), constata-se uma tendência do solo na unidade de produção – UP3 apresentar maior teor de MO, na profundidade de 0 a 20 cm, quando comparado com as outras unidades de produção, especialmente a UP1, pela baixa capacidade de percolação proporcionada pelo elevado teor de argila. De modo geral, verifica-se uma redução no teor de MO do período seco para o úmido, explicado pela a aceleração da atividade microbiana do solo favorecida pelo aumento da umidade do solo.

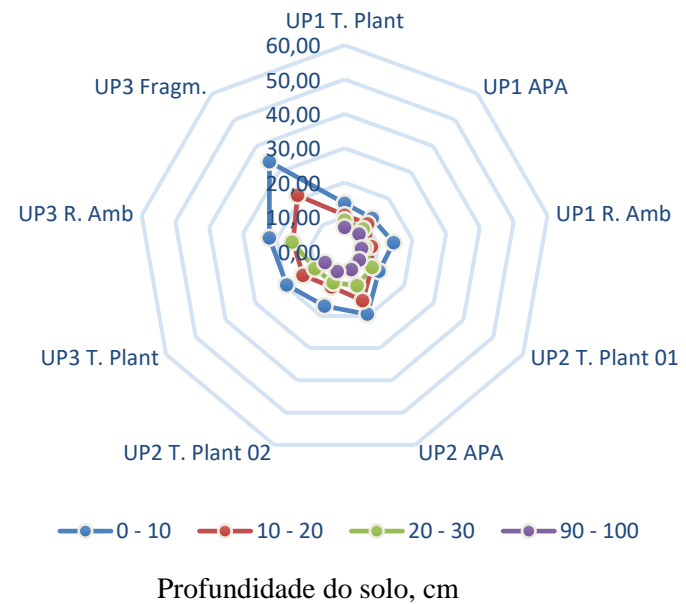
Tabela 18. Comportamento do indicador químico matéria orgânica (MO), g/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Unidade de produção – UP 1 (divisa Tocantins/Bahia)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				APA – Serra Geral				Reserva ambiental			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	15,00 ± 4,51 aA	25,5	14,00 ± 4,71 aA	28,6	14,00 ± 4,71 aA	28,6	12,50 ± 2,96 aA	20,1	8,50 ± 2,04 aA	20,4	14,50 ± 10,19 aAB	59,7
10 – 20	12,00 ± 0,00 aA	0,0	10,50 ± 1,18 bA	9,5	11,50 ± 1,18 abA	8,7	10,50 ± 1,18 bA	9,5	8,50 ± 2,04 bA	20,4	8,00 ± 2,88 bA	30,6
20 – 30	7,00 ± 0,00 aB	0,0	9,00 ± 2,88 aAB	27,2	7,00 ± 0,00 aB	0,0	8,50 ± 2,04 aAB	20,4	7,00 ± 0,00 aA	0,0	6,00 ± 1,36 aAB	19,3
90 – 100	-	-	7,00 ± 0,00 aB	0,0	-	-	6,50 ± 1,18 aB	15,4	-	-	5,00 ± 0,00 bB	0,0
Unidade de produção – UP 2 (Pedro Afonso – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio 01				APA – Córrego efêmero				Talhão de plantio 02			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	13,75 ± 7,34 abA	45,4	11,50 ± 1,18 aA	8,7	27,25 ± 8,17 bA	25,5	19,50 ± 6,11 bA	26,7	19,50 ± 4,76 bA	20,7	17,00 ± 4,51 bA	22,5
10 – 20	10,00 ± 4,99 aA	42,4	9,25 ± 3,51 aA	32,3	18,75 ± 7,53 aA	34,1	15,25 ± 6,75 aAB	37,6	14,00 ± 2,72 aA	16,5	11,00 ± 1,36 aB	10,5
20 – 30	-	-	9,25 ± 1,77 aA	16,2	-	-	10,67 ± 1,95 aB	10,8	7,75 ± 1,77 aB	19,4	9,75 ± 2,43 aBC	21,1
90 – 100	-	-	5,00 ± 0,00 aB	0,0	-	-	5,67 ± 1,95 aC	20,4	-	-	6,25 ± 2,94 aC	40,0
Unidade de produção – UP 3 (Porto Nacional – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				Reserva ambiental				Fragmentação antrópica			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	37,00 ± 2,72 aA	6,2	19,50 ± 6,11 bA	26,7	33,00 ± 11,20 abcA	28,9	22,25 ± 5,38 bA	20,6	54,25 ± 8,83 cA	13,8	34,00 ± 2,35 aA	5,9
10 – 20	25,50 ± 8,40 acAB	28,0	14,00 ± 2,72 bA	16,5	24,25 ± 7,53 abA	26,4	15,25 ± 6,75 abA	37,6	36,00 ± 4,51 cB	10,6	21,25 ± 4,12 aB	16,5
20 – 30	9,50 ± 15,78 abB	37,2	10,00 ± 0,00 aB	0,0	-	-	15,50 ± 4,85 bA	26,6	10,00 ± 0,00 aC	0,0	-	-
90 – 100	-	-	6,50 ± 1,18C	15,4	-	-	-	-	-	-	-	-

CV = Coeficiente de variância, %; os números seguidos pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, para cada área de coleta por unidade de produção, não diferem entre si ao nível de significância ($p < 0,10$).



Período: seco



Período: úmido

UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura 29. Comportamento do indicador químico matéria orgânica (MO), g/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Com relação a saturação por bases trocáveis no solo (SB), verificou-se que nas áreas de plantio, na profundidade de 0 a 20 cm, variou de 28,50% a 78,73% (Tabela 19), classificando-se como de baixa a alta concentração (RAIJ et al., 1996), apresentando uma dispersão espacial de baixa ($CV < 10\%$) a muito alta ($CV > 30\%$). Nas áreas de matas nativas, este indicador (SB), na mesma faixa de profundidade, variou de 7,00% a 24,75%, classificação de muito baixa a baixa, e apresentando comportamento de dispersão espacial semelhante a observada nas áreas de plantio.

Analisando-se o comportamento da saturação por bases trocáveis, com relação ao plano horizontal, foi perceptível uma tendência de diferença significativa ($p < 0,10$) na concentração deste indicador, na profundidade de 0 a 20 cm, entre os valores observados nas áreas de plantio quando comparado com os mensurados nas matas nativas. Isso se deveu à calagem do solo, o que proporcionou a neutralização dos íons, alumínio e hidrogênio, e ao mesmo tempo aumentou-se a disponibilidade de cátions, como: cálcio, magnésio e enxofre. Já com relação ao plano vertical, esta tendência de diferenciação foi mais evidente nas áreas de plantio, o que se explica pela baixa capacidade do calcário, utilizado para correção da acidez, de se movimentar no perfil do solo.

Na transição do período seco para o úmido (Figura 30), com o aumento da infiltração da água no solo, observou-se uma lixiviação das bases trocáveis; em consequência ocorreu uma discreta variação com tendência crescente na concentração da SB com o aprofundamento do solo. Também, na área de plantio 01 da UP2 foi verificado um possível carreamento de parte do material corretivo para a APA no período úmido, o que provocou uma redução na concentração da SB na área de plantio, na profundidade de 0 a 10 cm, e um aumento na concentração deste indicador ao longo de todo o perfil do solo da APA, especialmente na profundidade de 90 a 100 cm.

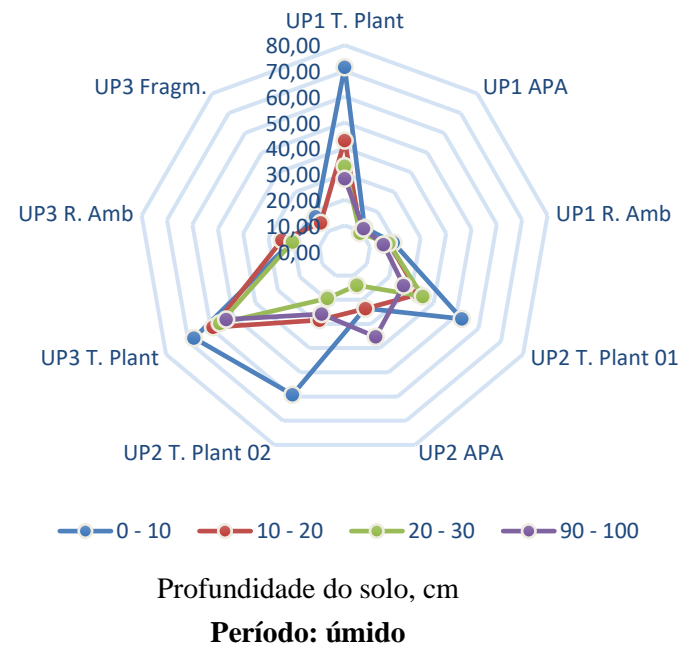
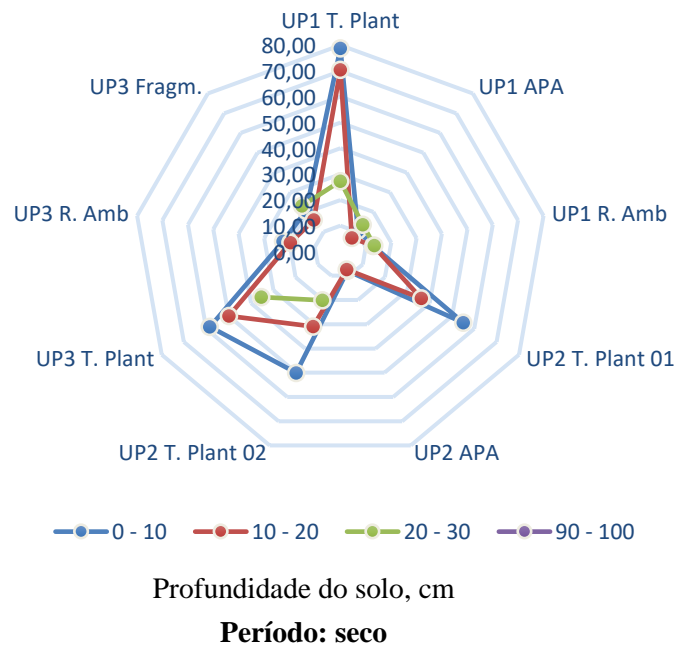
Tabela 19. Comportamento do indicador químico saturação de bases (SB), %, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Unidade de produção – UP 1 (divisa Tocantins/Bahia)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				APA – Serra Geral				Reserva ambiental			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	78,73 ± 8,87 aA	9,6	71,50 ± 6,11 aA	7,3	10,60 ± 5,61 bAB	45,0	12,00 ± 6,59 bA	46,7	12,85 ± 9,79 bA	64,7	19,25 ± 18,29 bA	80,7
10 – 20	70,45 ± 11,35 aA	13,7	43,00 ± 7,44 bB	14,7	7,00 ± 0,62 cA	7,6	9,75 ± 2,78 cA	24,2	13,03 ± 8,50 cA	55,5	17,50 ± 13,36 cA	64,9
20 – 30	27,28 ± 13,32 abB	41,5	33,00 ± 11,65 aBC	30,0	13,63 ± 0,95 bB	5,9	9,25 ± 1,13 cA	10,4	13,38 ± 1,03 bA	6,5	17,50 ± 9,24 abcA	44,9
90 – 100	-	-	28,25 ± 6,33 aC	19,0	-	-	11,50 ± 1,52 bA	11,2	-	-	15,25 ± 2,01 cA	11,2

Unidade de produção – UP 2 (Pedro Afonso – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio 01				APA – Córrego efêmero				Talhão de plantio 02			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	55,08 ± 15,93 abA	24,6	52,50 ± 9,24 aA	15,0	7,98 ± 3,04 bA	32,4	23,50 ± 16,54 bA	59,8	50,03 ± 12,90 abA	21,9	59,25 ± 9,38 aA	13,5
10 – 20	36,23 ± 23,78 abA	55,8	33,25 ± 7,77 aB	19,9	7,45 ± 2,59 bA	29,5	23,75 ± 24,31 abA	87,0	30,93 ± 9,45 aAB	26,0	28,50 ± 13,54 aB	40,4
20 – 30	-	-	35,00 ± 11,29 aAB	27,4	-	-	14,00 ± 8,43 bA	35,7	20,13 ± 6,56 abB	27,7	19,50 ± 7,83 abB	34,2
90 – 100	-	-	26,50 ± 5,56 aB	17,8	-	-	35,33 ± 71,07 aA	119,3	-	-	26,00 ± 8,54 aB	27,9

Unidade de produção – UP 3 (Porto Nacional – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				Reserva ambiental				Fragmentação antrópica			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	58,38 ± 9,00 aA	13,1	67,50 ± 22,54 aA	28,4	22,53 ± 13,97 bA	52,7	21,00 ± 15,87 bA	64,2	20,63 ± 8,23 bA	33,9	17,50 ± 2,04 bA	9,9
10 – 20	49,90 ± 12,06 aAB	20,6	59,00 ± 24,78 abA	35,7	19,63 ± 12,65 bA	54,8	24,75 ± 15,47 abA	53,1	16,05 ± 9,96 bA	52,7	14,50 ± 3,11 bA	18,3
20 – 30	35,35 ± 5,37 aB	3,4	56,00 ± 22,78 aA	34,6	-	-	20,50 ± 6,41 bA	26,6	23,13 ± 4,20 bA	10,8	-	-
90 – 100	-	-	53,00 ± 20,31A	32,6	-	-	-	-	-	-	-	-

CV = Coeficiente de variância, %; os números seguidos pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, para cada área de coleta por unidade de produção, não diferem entre si ao nível de significância ($p < 0,10$).



UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura 30. Comportamento do indicador químico saturação de bases (SB), %, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

O indicador químico fósforo (P), por ser demandado pelas plantas em alta quantidade, classifica-se como macronutriente, devido a sua aplicação ocorrer de forma direta no solo, desta forma é classificado como primário. Nas áreas de plantio observadas, na profundidade de 0 a 20 cm, o teor médio de fósforo mensurado variou de 1,25 a 75,50 mg/dm³ (Tabela 20), classificado como de muito baixo a bom (Souza et al., 1997), com heterogeneidade espacial variando de alta ($20\% < CV < 30\%$) a muito alta ($CV < 30\%$). Já nas áreas de matas nativas, na mesma faixa de profundidade, a variação no teor médio de P foi de 1,00 a 22,25 mg/dm³, apresentando classificação, também, de muito baixo a bom; mas, com heterogeneidade espacial variando de baixa ($CV < 10\%$) a muito alta.

Percebe-se nos solos de áreas plantadas quando comparados com os de áreas de matas nativas, no plano horizontal, um teor maior de fósforo (Tabela 20); no entanto, não é possível afirmar que esta diferença foi significativa ($p < 0,10$), devendo-se a alta heterogeneidade da distribuição deste indicador químico nas áreas observadas. Quando se analisa o comportamento deste indicador no plano vertical, constata-se a ocorrência de uma quase homogeneidade no seu teor médio ao longo do perfil do solo, mostrando-se a capacidade de mobilidade deste elemento.

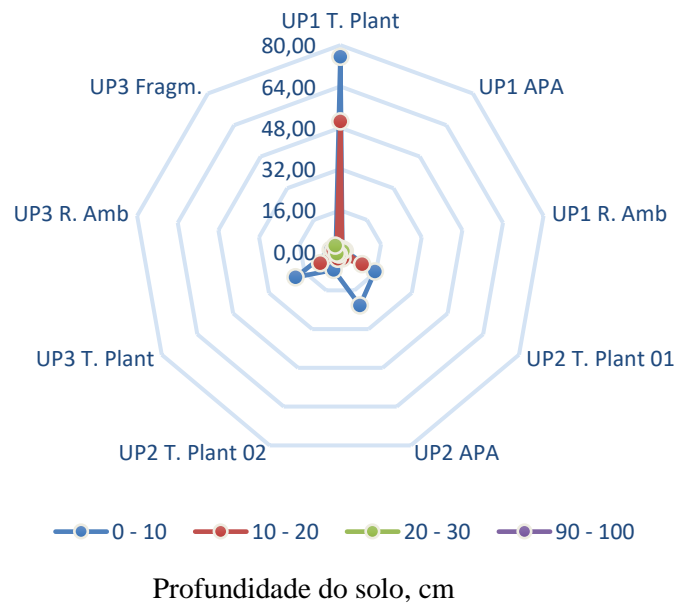
De modo geral os solos do bioma Cerrado, naturalmente, se apresentam como impróprios ao desenvolvimento de atividade agrícolas, devido a acidez potencial elevada e baixa disponibilidade de nutrientes, em especial o fósforo. Fazendo-se necessário a administração desse nutriente para o atendimento da demanda da cultura; mas, precisa-se utilizar técnicas de manejo do solo que propicie a redução da mobilidade deste no perfil do solo. Para que desta forma minimiza-se as perdas financeiras e ambientais.

Comparando-se o comportamento do teor médio do fósforo entre os períodos de coleta: seco e úmido (Figura 31), é possível observar maior presença deste indicador no período seco e nas áreas de plantio; sendo mais marcante na unidade de produção – UP1, no entanto, esta foi onde apresentou maior redução na camada superficial, devendo-se ao comportamento da sua textura, com baixo teor de argila e alto teor de areia.

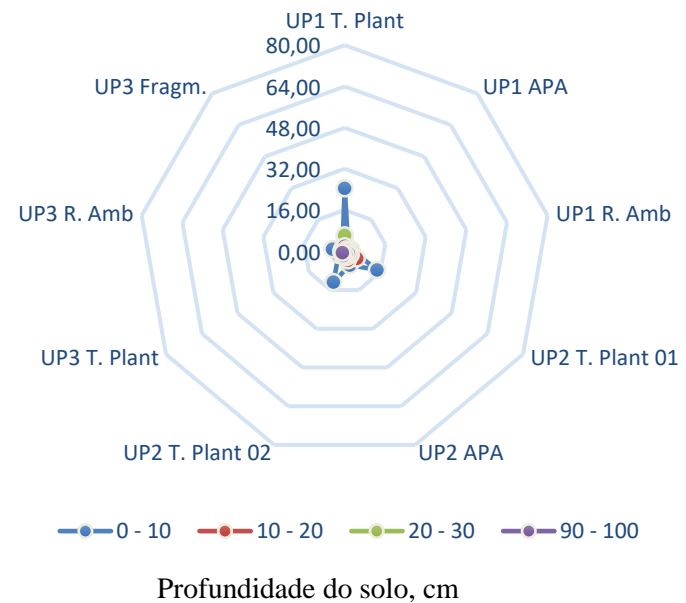
Tabela 20. Comportamento do indicador químico fósforo (P) – Mehlich I, mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Unidade de produção – UP 1 (divisa Tocantins/Bahia)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				APA – Serra Geral				Reserva ambiental			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	75,50 ± 98,15 abA	110,5	24,50 ± 14,07 aA	48,8	1,25 ± 0,59 bA	40,0	2,25 ± 0,59 bA	22,2	1,75 ± 0,59 bA	28,6	2,75 ± 0,59 bA	18,2
10 – 20	50,50 ± 93,79 abA	157,8	5,00 ± 2,15 aB	36,5	1,00 ± 0,00 bA	0,0	1,50 ± 0,68 bAB	38,5	1,25 ± 0,59 bAB	40,0	1,75 ± 0,59 bAB	28,6
20 – 30	1,25 ± 0,59 aA	40,0	6,25 ± 3,09 bB	42,1	1,00 ± 0,00 aA	0,0	1,25 ± 0,59 aAB	40,0	1,00 ± 0,00 aB	0,0	1,25 ± 0,59 aBC	40,0
90 – 100	-	-	2,00 ± 0,00 aC	0,0	-	-	1,00 ± 0,00 bB	0,0	-	-	1,00 ± 0,00 bC	0,0
Unidade de produção – UP 2 (Pedro Afonso – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio 01				APA – Córrego efêmero				Talhão de plantio 02			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	15,50 ± 28,64 aA	157,0	14,50 ± 19,37 aA	113,5	22,25 ± 49,23 aA	188,0	5,75 ± 6,47 aA	95,7	7,50 ± 5,22 aA	59,1	12,75 ± 18,42 aA	122,7
10 – 20	9,75 ± 10,54 aA	91,9	5,50 ± 6,69 aA	103,4	2,75 ± 2,61 aA	80,6	3,75 ± 3,38 aA	76,6	3,00 ± 0,96 aA	27,2	2,00 ± 0,96 aA	40,8
20 – 30	-	-	2,75 ± 0,59 aA	18,2	-	-	2,33 ± 0,97 aA	24,7	1,25 ± 0,59 aB	40,0	1,25 ± 0,59 aAA	40,0
90 – 100	-	-	1,75 ± 1,13 aA	54,7	-	-	1,33 ± 0,97 aA	43,3	-	-	1,75 ± 1,77 aA	85,7
Unidade de produção – UP 3 (Porto Nacional – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				Reserva ambiental				Fragmentação antrópica			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	20,00 ± 29,85 abA	126,8	2,75 ± 1,77 abA	54,6	3,75 ± 3,38 abA	76,6	4,75 ± 8,06 abA	144,2	2,75 ± 0,59 aA	18,2	1,25 ± 0,59 bA	40,0
10 – 20	9,00 ± 17,27 abA	163,1	1,25 ± 0,59 abA	40,0	2,75 ± 2,61 abA	80,6	1,25 ± 0,59 abA	40,0	2,00 ± 0,96 aA	40,8	1,00 ± 0,00 bA	0,0
20 – 30	1,50 ± 3,16 aA	47,1	1,25 ± 0,59 aA	40,0	-	-	1,00 ± 0,00 aA	0,0	3,00 ± 5,84 aA	115,5	-	-
90 – 100	-	-	1,00 ± 0,00 A	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-

CV = Coeficiente de variância, %; os números seguidos pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, para cada área de coleta por unidade de produção, não diferem entre si ao nível de significância ($p < 0,10$).



Período: seco



Período: úmido

UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura 31. Comportamento do indicador químico fósforo (P) – Mehlich I, mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

O indicador químico enxofre (S), é um nutriente de alta demanda pelas plantas por ser um componente de todas as proteínas, como muita das formulações químicas de outros fertilizantes como o supersimples, utilizado como fonte de fósforo, possui este elemento; logo, a sua disponibilidade para as plantas ocorre, geralmente, de forma indireta, sendo desta forma classificado como macronutriente secundário.

Nas áreas de plantio observadas, profundidade de 0 a 20 cm, o teor médio de enxofre mensurado variou de 4,25 a 5,75 mg/dm³ (Tabela 21), classificando-se como de baixo a médio apresentou dispersão espacial variando de baixa (CV < 10%) a alta (20% < CV < 30%) (SFREDO et al., 1999). Enquanto nas áreas de matas nativas, na mesma faixa de profundidade, oscilou entre 4,25 a 6,25 mg/dm³, apresentado classificação e dispersão espacial semelhante a observada nas áreas de plantio.

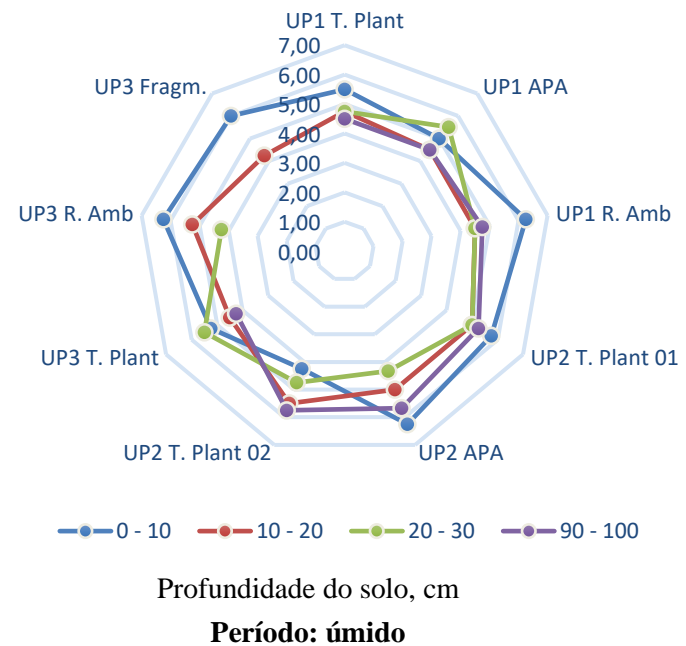
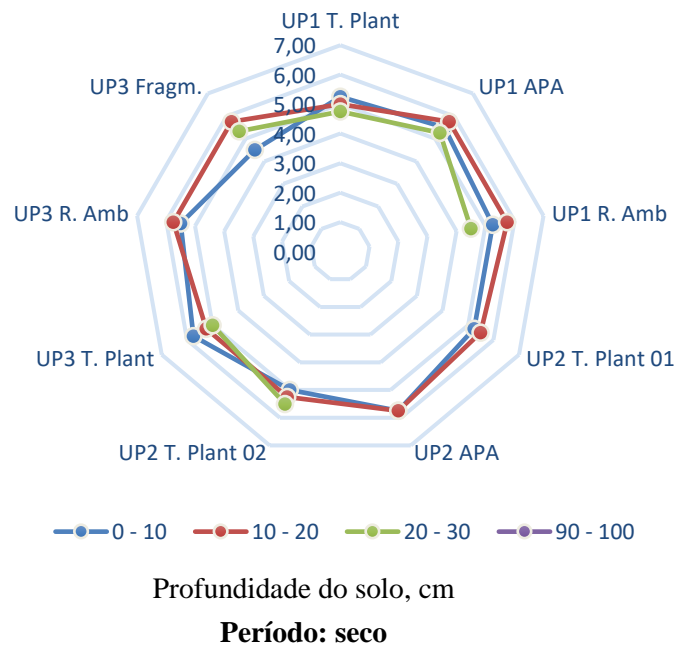
Verificando-se o comportamento do teor de enxofre (Tabela 21) nas áreas de plantio e de matas nativas, nos períodos seco e úmido pode-se afirmar que, de maneira geral, não houve diferença significativa ($p < 0,10$) tanto no plano horizontal quanto no plano vertical.

No período seco percebe-se uma maior semelhança entre os teores de enxofre mensurados nas faixas de profundidade observadas, expressando alta uniformidade no perfil do solo avaliado (Figura 32). Enquanto no período úmido este indicador químico apresentou uma concentração ligeiramente maior na profundidade de 0 a 10 cm, provavelmente por incremento oriundo de fertilizantes que contém em suas formulações este elemento.

Tabela 21. Comportamento do indicador químico enxofre (S), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Unidade de produção – UP 1 (divisa Tocantins/Bahia)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				APA – Serra Geral				Reserva ambiental			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	5,25 ± 0,59 aA	9,5	5,50 ± 1,18 aA	18,2	5,50 ± 0,68 aA	10,5	5,00 ± 0,96 aA	16,3	5,25 ± 0,59 aA	9,5	6,25 ± 0,59 aA	8,0
10 – 20	5,00 ± 0,96 aA	16,3	4,75 ± 0,59 aA	10,5	5,75 ± 0,59 aA	8,7	4,50 ± 0,68 aA	12,8	5,75 ± 0,59 aA	8,7	4,50 ± 0,68 aB	12,8
20 – 30	4,75 ± 0,59 aA	10,5	4,75 ± 1,13 aA	20,2	5,25 ± 0,59 aA	9,5	5,50 ± 0,68 aA	10,5	4,50 ± 0,68 aA	12,8	4,50 ± 1,18 aAB	22,2
90 – 100	-	-	4,50 ± 0,68 aA	12,8	-	-	4,50 ± 1,18 aA	22,2	-	-	4,75 ± 0,59 aB	10,5
Unidade de produção – UP 2 (Pedro Afonso – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio 01				APA – Córrego efêmero				Talhão de plantio 02			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	5,25 ± 0,59 abA	9,5	5,75 ± 0,59 abA	8,7	5,75 ± 0,59 abA	8,7	6,25 ± 1,13 aA	15,3	5,00 ± 0,96 abA	16,3	4,25 ± 0,59 bA	11,8
10 – 20	5,50 ± 0,68 aA	10,5	5,00 ± 1,66 aA	28,3	5,75 ± 1,13 aA	16,7	5,00 ± 0,96 aA	16,3	5,25 ± 1,48 aA	24,0	5,50 ± 1,52 aA	23,5
20 – 30	-	-	5,00 ± 1,66 aA	28,3	-	-	4,33 ± 0,97 aA	13,3	5,50 ± 1,52 aA	23,5	4,75 ± 1,13 aA	20,2
90 – 100	-	-	5,25 ± 1,48 aA	24,0	-	-	5,67 ± 2,58 aA	27,0	-	-	5,75 ± 1,13 aA	16,7
Unidade de produção – UP 3 (Porto Nacional – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				Reserva ambiental				Fragmentação antrópica			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	5,75 ± 1,48 aA	21,9	5,25 ± 1,13 aA	18,2	5,50 ± 1,52 aA	23,5	6,25 ± 1,13 aA	15,3	4,50 ± 0,68 aA	12,8	6,00 ± 0,96 aA	13,6
10 – 20	5,25 ± 0,59 aA	9,5	4,50 ± 1,18 aA	22,2	5,75 ± 1,13 aA	16,7	5,25 ± 1,13 aAB	18,2	5,75 ± 1,48 aA	21,9	4,25 ± 0,59 aB	11,8
20 – 30	5,00 ± 6,31 aA	28,3	5,50 ± 1,52 aA	23,5	-	-	4,25 ± 0,59 aB	11,8	5,33 ± 0,97 aA	10,8	-	-
90 – 100	-	-	4,25 ± 0,59 A	11,8	-	-	-	-	-	-	-	-

CV = Coeficiente de variância, %; os números seguidos pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, para cada área de coleta por unidade de produção, não diferem entre si ao nível de significância ($p < 0,10$).



UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura 32. Comportamento do indicador químico enxofre (S), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Os nutrientes demandados pelas plantas em menores quantidades; mas, não de menor importância, classificados como micronutrientes essenciais, são: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn), e como não essenciais, mas apresentam benefícios para as plantas, são: sódio (Na), silício (Si) e cobalto (Co).

O boro (B) nas áreas de plantio e de matas nativas, na profundidade de 0 a 20 cm, apresentou teor médio variando de 0,15 a 0,33 mg/dm³ e de 0,18 a 0,30 mg/dm³, respectivamente, sendo classificados de muito baixo a baixo (RIBEIRO et al., 1999). Este nutriente tendeu no período seco a se concentrar mais próximo da superfície do solo (Figura A1), no entanto para o período úmido tendeu a lixiviar no solo, tornando-se mais homogêneo ao longo do perfil.

O cobre (Cu) nas áreas de plantio e de matas nativas, na profundidade de 0 a 20 cm, apresentou teor médio variando de 0,33 a 2,50 mg/dm³ e de 0,25 a 1,93 mg/dm³, respectivamente, sendo classificados de muito baixo a alto (RIBEIRO et al., 1999). Este nutriente no período seco apresentou-se em maior concentração mais próximo da superfície do solo, com maior evidência nos solos com maior teor de argila encontrados na UP3 (Figura A2), enquanto no período úmido tendeu apresentar menores teores nas camadas superficiais, quando comparado ao período seco.

O ferro (Fe) nas áreas de plantio e de matas nativas, na profundidade de 0 a 20 cm, apresentou teor médio variando de 25,50 a 156,75 mg/dm³ e de 29,50 a 158,00 mg/dm³, respectivamente (Figura A3), sendo classificados de médio a alto (RIBEIRO et al., 1999). Este nutriente tendeu a apresentar maior concentração nos solos com maior teor de areia, nas UP1 e UP2, tanto no período seco quanto no úmido, e em maior expressividade no período úmido na profundidade de 0 a 30 cm.

O manganês (Mn) nas áreas de plantio e de matas nativas, na profundidade de 0 a 20 cm, apresentou teor médio variando de 2,50 a 22,50 mg/dm³ e de 1,50 a 11,75 mg/dm³, respectivamente (Figura A4), sendo classificado de baixo a alto na área de plantio e de muito baixo a bom na área de mata nativa (RIBEIRO et al., 1999). No período seco este nutriente apresentou maior concentração nos solos com maior teor de argila, UP3, e na profundidade de 0 a 20 cm, é provável que na área de plantio na UP1 tenha sido adicionado para atender a demanda da cultura da soja; já no período úmido houve uma tendência de

lixiviação, especialmente na área de plantio da UP1, esta apresenta alto teor de areia. Esta alta concentração deste nutriente na APA da UP2, está relacionada ao nível de acidez do solo presente nessa área, conforme (MALAVOLTA, 1989).

O molibdênio (Mo) nas áreas de plantio e de matas nativas, na profundidade de 0 a 20 cm, apresentou a mesma amplitude no teor médio que foi de 0,10 a 0,18 mg/dm³. No período seco, este nutriente apresentou mais concentrado na profundidade de 0 a 20 cm (Figura A5); porém no período úmido nos solos com alto teor de areia este lixiviou no perfil, apresentando mais concentrado nas camadas mais profundas, de 90 a 100 cm, e nos solos argilosos foi bem menor a taxa de lixiviação; no entanto, nesses solos este nutriente tende a ficar aprisionado no interior dos cristais de argila, reduzindo a sua disponibilidade para as plantas, para contornar este fenômeno faz-se necessário a correção da acidez (MALAVOLTA, 2006).

O zinco (Zn) nas áreas de plantio e de matas nativas, na profundidade de 0 a 20 cm, apresentou teor médio variando de 0,28 a 6,18 mg/dm³ e de 0,10 a 5,33 mg/dm³, respectivamente (Figura A6), sendo classificados de muito baixo a alto (RIBEIRO et al., 1999). Nos solos amostrados neste bioma é nítida uma baixa concentração deste nutriente no período seco, com uma discreta predominância nas áreas de plantio e nas camadas superficiais do solo; enquanto no período úmido a uma indicação de aumento na disponibilidade deste nutriente, porém apresentando alta variabilidade tanto com relação ao plano horizontal quanto no plano vertical.

O sódio (Na) nas áreas de plantio e de matas nativas, na profundidade de 0 a 20 cm, apresentou teor médio variando de 1,00 a 2,75 mg/dm³ e de 1,00 a 2,50 mg/dm³, respectivamente. Os solos deste bioma apresentam baixo risco de sodicidade devido ao processo de lixiviação, que é um processo natural de lavagem dos sais acumulados para fora da zona do sistema radicular das culturas, que ocorre nesse ambiente, em concordância (AMORIM, 2010). Este fenômeno é comprovado pelo comportamento deste elemento quando se compara o teor observado entre os períodos seco e úmido (Figura A7), no período seco tendeu a apresentar maior concentração na camada mais superficial do solo, em especial os de maior teor de argila; enquanto que, no período úmido tendeu a se apresentar distribuição mais uniforme ao longo do perfil, especialmente nos solos com granulometria mais arenosa.

O cobalto (Co) nas áreas de plantio e de matas nativas, na profundidade de 0 a 20 cm, apresentaram a mesma amplitude no seu teor médio que foi de 0,10 a 0,20 mg/dm³. O nível crítico deste micronutriente para deficiências em leguminosas está na faixa de 0,02-0,3 mg/kg. A disponibilidade é menor em pH baixo, havendo maior solubilização e lixiviação (MALAVOLTA, 1994) citado por (GRUBERGER, 2016). Essa explicação se confirma com o comportamento da disponibilidade desse elemento nos solos observados neste estudo (Figura A8); no período seco se concentrou mais nas camadas superficiais, e com ligeira predominância nos solos argilosos – UP3, enquanto no período úmido tendeu a lixiviar no perfil, especialmente nos solos arenosos – UP1.

5.3.3 Estimativa dos indicadores biológicos de qualidade do solo

5.3.3.1 Contagem de microrganismos viáveis

Independente da unidade de produção, do local de coleta, da profundidade e do período de amostragem, a contagem de células viáveis de bactérias totais foi superior à de actinomicetos e fungos (Tabelas 22 a 24). Esses resultados são similares aqueles obtidos por Silva (2016) em amostra também coletada em área do cerrado. Além disso, em todas as unidades foi observada uma quantidade alta de células viáveis de actinomicetos. Esses micro-organismos são os principais responsáveis pela fixação do nitrogênio e sua preservação na área de plantio, pode reduzir a necessidade de adubação nitrogenada (Faleiro, 2011, Moreira & Siqueira, 2006). Da Silva (2012) identificou uma predominância de gene *nifH* em actinomicetos, quando comparado com os grupos bacterianos em solo do cerrado.

Nos dois períodos de coleta, seco e chuvoso, as áreas estudadas apresentaram diferença no perfil de DGGE para os genes de BFNs e FMAs (Figuras 33 a 35). A diversidade de gene *nifH* em solo do cerrado utilizando DGGE também foi alterada em diferentes condições ambientais (Da Silva, 2012). O perfil de bandas do gene 18S rDNA com amplificação dos fragmentos pelos *primers* NS1 e FR1-GC também apresentaram alterações no perfil de bandas de DGGE em função do tempo de cultivo (Gomes et al., 2003). O *primer* NS1 foi também utilizada neste estudo para avaliar a diversidade de FMAs na unidade de produção do cerrado do estado do Tocantins (Figuras 33 a 35). Assim, as unidades de produção têm diversidade microbiana diferentes e mostra a

necessidade da preservação. Nessas unidades de produção, a diversidade bacteriana foi maior que a de fungos e confirmam os resultados da contagem de células viáveis (Tabelas de 22 a 24). Esse predomínio da comunidade bacteriana em relação à de fungos também foi observada no solo sob vegetação nativa e solo do cerrado (Rech et al., 2013, Silva, 2016). A contagem de células microbianas do solo pode variar em função da técnica, da profundidade e do meio de cultura (Silva, 2016, Faleiro, 2011).

Na unidade de produção (UP 01), divisa dos estados do Tocantins e da Bahia, foi observado uma contagem microbiana viável menor na área de plantio, seguida da serra geral e da área de proteção ambiental (Tabela 22). Esse resultado mostra a influência da ação agrícola sobre o número de células microbianas o que pode afetar a diversidade desses seres vivos no ambiente. Nota-se também que a diversidade microbiana da Serra Geral foi intermediária entre área de plantio e preservação ambiental. Na Serra Geral a presença do homem é maior que na área de preservação ambiental o que pode ter influenciado na contagem de células viáveis. A abundância relativa de micro-organismos no solo de cerrado após substituição da mata nativa por atividades antrópicas ainda tem sido pouco estudada (Monteiro et al., 2004). Segundo esses autores, há alterações da população bacteriana em função da atividade humana que se caracteriza pela remoção da cobertura vegetal nativa para o plantio de eucalipto e pinus.

A profundidade e a umidade do solo tiveram influência distinta na contagem de células viáveis (Tabela 22). A contagem foi inversamente proporcional a profundidade. Resultado similar foi também observado no solo de cerrado em que a população microbiana foi menor em 40-80 cm em relação as profundidades menores (Monteiro et al., 2004). Na maior profundidade do solo, 20-30 cm, não foi observado a presença de fungos (Tabela 22). No período úmido foi observado uma maior contagem células em relação ao período seco que mostra a influência da disponibilidade de água para o crescimento microbiana. Esse aumento pode ser devido a germinação de esporos ou crescimento em tamanho celular e na quantidade de células. A água é um dos parâmetros que mais influência no metabolismo microbiana (Madigan et al., 2010 Tortora et al., 2014).

Diferente das outras áreas, na reserva ambiental no período úmido, foi observado a presença de células fúngicas em todas as profundidades (Tabela 22).

Tabela 22. Contagem de células microbianas viáveis, períodos: seco e úmido, das amostras coletadas na unidade de produção UP 1.

Local de coleta	Código das amostras	Período seco			Período úmido		
		Actinomicetos	Bactérias	Fungos	Actinomicetos	Bactérias	Fungos
Log (UFC g ⁻¹)							
Área de plantio	E1P1	7,73 ± 0,22	12,7 ± 0,89	6,27 ± 0,25	9,52 ± 0,49	13,29 ± 0,40	7,88 ± 0,71
	E1P2	6,22 ± 0,10	9,90 ± 0,98	5,08 ± 0,20	7,62 ± 0,50	10,85 ± 0,38	6,89 ± 0,72
	E1P3	5,31 ± 0,11	7,80 ± 0,90		6,47 ± 0,51	9,19 ± 0,27	
	E2P1	9,39 ± 0,11	12,8 ± 0,61	7,76 ± 0,24	11,36 ± 0,45	13,10 ± 0,47	8,69 ± 0,73
	E2P2	8,31 ± 0,11	9,21 ± 0,61	5,62 ± 0,20	9,20 ± 0,58	10,20 ± 0,41	6,26 ± 0,73
	E2P3	6,11 ± 0,11	7,21 ± 0,70		7,30 ± 0,59	9,56 ± 0,30	
	E3P1	10,48 ± 0,10	13,1 ± 0,65	8,41 ± 0,24	12,44 ± 0,54	13,13 ± 0,46	8,82 ± 0,74
	E3P2	7,54 ± 0,10	10,2 ± 0,23	6,54 ± 0,26	8,90 ± 0,59	10,82 ± 0,37	4,96 ± 0,75
	E3P3	5,76 ± 0,10	8,71 ± 0,27		6,75 ± 0,55	9,83 ± 0,28	
	E4P1	10,82 ± 0,10	12,32 ± 0,36	8,35 ± 0,22	12,62 ± 0,44	13,89 ± 0,39	9,28 ± 0,75
	E4P2	9,51 ± 0,11	10,63 ± 0,39	7,36 ± 0,22	10,03 ± 0,10	10,92 ± 0,33	6,79 ± 0,76
	E4P3	7,89 ± 0,11	8,92 ± 0,70		9,09 ± 0,29	9,87 ± 0,27	
	APA - Serra Geral	E5P1	10,38 ± 0,10	12,50 ± 0,66	8,71 ± 0,24	11,90 ± 0,30	13,06 ± 0,44
E5P2		8,64 ± 0,11	10,10 ± 0,28	7,68 ± 0,22	9,84 ± 0,30	10,25 ± 0,34	7,58 ± 0,77
E5P3		5,91 ± 0,11	7,20 ± 0,74		6,69 ± 0,31	9,06 ± 0,28	
E6P1		11,98 ± 0,10	13,0 ± 0,55	9,05 ± 0,22	12,49 ± 0,32	13,13 ± 0,38	9,81 ± 0,78
E6P2		9,68 ± 0,11	10,20 ± 0,49	7,94 ± 0,25	9,84 ± 0,32	10,24 ± 0,36	8,64 ± 0,79
E6P3		7,25 ± 0,10	8,70 ± 0,32		8,07 ± 0,47	9,42 ± 0,28	
E7P1		11,61 ± 0,11	13,20 ± 0,98	8,50 ± 0,22	11,85 ± 0,45	13,16 ± 0,41	9,26 ± 0,79
E7P2		8,99 ± 0,11	10,10 ± 0,70	6,43 ± 0,24	9,90 ± 0,46	10,90 ± 0,34	8,17 ± 0,80
E7P3		6,43 ± 0,11	7,61 ± 0,66		7,92 ± 0,47	9,48 ± 0,29	
E8P1		11,79 ± 0,11	13,41 ± 0,43	8,22 ± 0,20	12,44 ± 0,49	13,64 ± 0,42	9,62 ± 0,73
Reserva Ambiental	E8P2	10,57 ± 0,11	10,81 ± 0,44	5,95 ± 0,24	10,87 ± 0,50	11,72 ± 0,34	8,69 ± 0,74
	E8P3	7,88 ± 0,10	8,32 ± 0,37		9,54 ± 0,46	9,94 ± 0,27	
	E9P1	11,83 ± 0,11	13,72 ± 0,95	8,38 ± 0,25	14,22 ± 0,49	14,67 ± 0,42	9,84 ± 0,75
	E9P2	10,49 ± 0,10	11,12 ± 0,47	5,96 ± 0,22	11,53 ± 0,45	11,89 ± 0,37	6,78 ± 0,75
	E9P3	8,24 ± 0,11	8,43 ± 0,96		8,79 ± 0,29	8,97 ± 0,29	2,54 ± 0,44
	E10P1	12,03 ± 0,11	13,51 ± 0,63	8,66 ± 0,24	13,20 ± 0,30	14,22 ± 0,40	9,51 ± 0,76
	E10P2	10,26 ± 0,11	10,93 ± 0,56	7,35 ± 0,22	11,04 ± 0,31	11,32 ± 0,30	8,75 ± 0,76
	E10P3	5,55 ± 0,11	8,20 ± 0,47		6,98 ± 0,31	9,22 ± 0,47	2,68 ± 0,34
	E11P1	12,49 ± 0,11	13,92 ± 0,70	8,58 ± 0,25	14,48 ± 0,54	14,51 ± 0,70	10,77 ± 0,25
	E11P2	9,20 ± 0,11	10,93 ± 0,70	8,14 ± 0,22	10,91 ± 0,55	11,16 ± 0,70	9,72 ± 0,22
	E11P3	6,46 ± 0,11	8,51 ± 0,66		7,41 ± 0,56	9,45 ± 0,66	2,57 ± 0,31
	E12P1	12,45 ± 0,11	13,40 ± 0,28	8,76 ± 0,24	14,21 ± 0,11	14,40 ± 0,28	10,92 ± 0,24
E12P2	9,62 ± 0,11	10,40 ± 0,74	8,70 ± 0,22	10,01 ± 0,49	11,44 ± 0,74	9,37 ± 0,22	
E12P3	6,81 ± 0,10	8,72 ± 0,55		7,90 ± 0,32	9,30 ± 0,55	2,64 ± 0,32	

E- Pontos de coleta. P –Profundidade (0 – 10, 10-20, 20-30 cm)

Essas células podem ser devido a germinação de esporos ou células lixiviadas pela ação da água. Segundo, Gomes et al. (2013) os fungos estão em maior quantidade na região da rizosfera e podem formar hifas em maiores profundidades do solo.

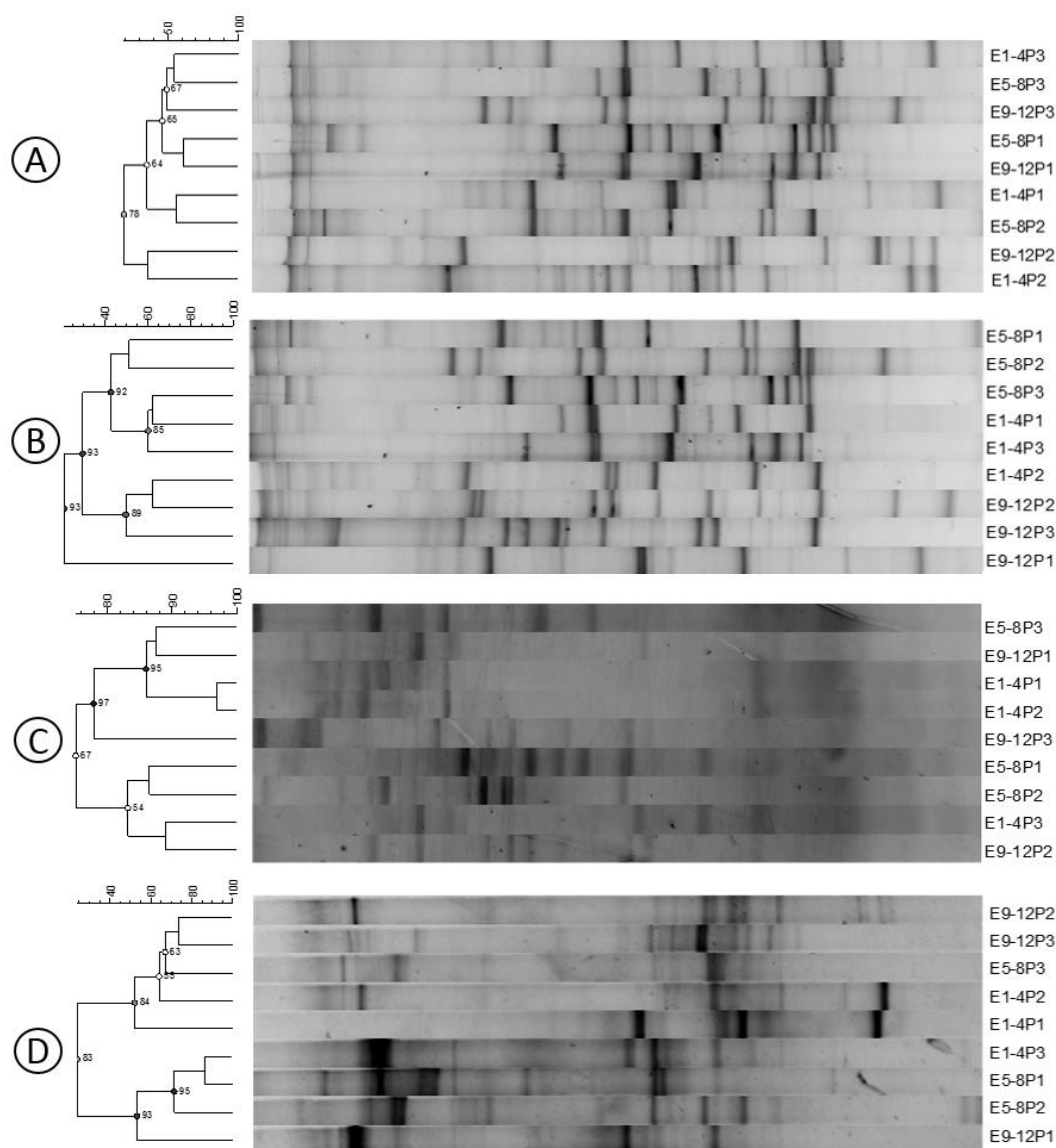


Figura 33. Perfil de DGGE do gene 16S rDNA e *nifH* (A e B) e 18S rDNA e da associação micorrízica arbuscular (C e D) das amostras do solo coletadas no período de seca (A e C) e no período úmido (B e D) em três diferentes pontos (E1-4 = área de plantio, E5-8 = APA da Serra Geral e E9-12 = área de reserva ambiental) e em três profundidades (P1- 0-10 cm, P2= 10-20 cm e P3 = 20-30 cm) dentro da unidade de produção (UP 1) localizada na divisa do território do estado de Tocantins e da Bahia.

Nessa unidade de produção foi observado diferença no perfil de bandas do período seco e do chuvoso para o gene *16S-nifH*. No período seco houve a formação de agrupamento de bandas em função da profundidade (Figura 33A) que mostra diversidade bacteriana semelhante em cada camada do solo. Na superfície, profundidade de 0-10 cm (P1) apresenta 65% de probabilidade de similaridade da comunidade bacteriana da área de plantio (E1-4), APA da Serra Geral (E5-8) e reserva ambiental (E9-12). Na profundidade de 10-20 cm (P2) e de 20-30 cm (P3) essa probabilidade são, respectivamente, 64 e 67%. Nota-se também que a comunidade bacteriana da reserva ambiental está também presente nas outras áreas que mostra a capacidade de resiliência ou as alterações antrópicas ainda não afetaram o grupo bacteriana presente nos três locais de cultivo.

Diferente do período seco, durante a estação chuvosa há formação de grupamento no perfil de bandas em função do local de coleta, independente da profundidade (Figura 33B). Na reserva ambiente e na APA da Serra Geral formam, respectivamente, um grupamento com 89 e 85 % de similaridade nas três profundidades. Esses resultados mostram a influência da infiltração da água sobre a comunidade bacteriana.

A comunidade de fungos apresentou distribuição similar em todas as áreas investigadas independente da ação antrópica e da profundidade (Figura 33 C e D). Na estação chuvosa foi observado um aumento na intensidade das bandas (Figura 33D). Esse aumento tem uma relação direta com quantidade de células fungos viáveis que aumenta durante essa estação devido a maior disponibilidade de água e nutriente. De acordo com Barbosa (2014), há um aumento no número de bandas de DGGE e da quantidade de células fúngicas no período chuvoso.

Na unidade de produção de Pedro Afonso/TO (UP 2) a contagem de células microbianas viáveis foi menor nos talhões de plantio que APA do córrego efêmero que demonstra mais uma vez a influência da alteração da vegetação nativa sobre a comunidade microbiana do solo (Tabela 23).

Em relação ao efeito da umidade do solo e da profundidade, os resultados são semelhantes aqueles obtidos na unidade U1 (Tabela 23). A contagem foi reduzida em função do aumento da profundidade do solo e a maior quantidade de células foi observado no período úmido. Além disso, também não foi observado a presença de células viáveis fúngicas na profundidade de 20-30 cm.

Tabela 23. Contagem de células microbianas viáveis, nos períodos: seco e úmido, das amostras coletadas na unidade de produção UP 2.

Local de coleta	Código das amostras	Período seco			Período úmido		
		Actinomicetos	Bactérias	Fungos	Actinomicetos	Bactérias	Fungos
Log (UFC g ⁻¹)							
Talhão de plantio - 01	E13P1	7,47 ± 0,45	10,00 ± 0,29	6,18 ± 0,32	9,12 ± 0,89	12,20 ± 0,42	7,55 ± 0,39
	E13P2	5,73 ± 0,47	8,20 ± 0,31	5,18 ± 0,29	6,95 ± 0,95	9,90 ± 0,36	6,29 ± 0,33
	E13P3	4,01 ± 0,48	6,10 ± 0,31		6,04 ± 0,48	7,30 ± 0,52	
	E14P1	9,02 ± 0,50	10,90 ± 0,32	6,90 ± 0,46	10,82 ± 0,61	13,10 ± 0,21	8,28 ± 0,31
	E14P2	8,54 ± 0,45	9,30 ± 0,32	6,29 ± 0,49	10,18 ± 0,61	11,10 ± 0,45	7,51 ± 0,37
	E14P3	4,98 ± 0,46	7,50 ± 0,32		7,09 ± 0,70	8,90 ± 0,41	
	E15P1	10,10 ± 0,46	11,40 ± 0,29	6,83 ± 0,30	11,90 ± 0,65	13,40 ± 0,58	8,04 ± 0,31
	E15P2	7,32 ± 0,48	9,20 ± 0,30	5,38 ± 0,31	8,57 ± 0,23	10,80 ± 0,34	6,30 ± 0,33
	E15P3	4,79 ± 0,49	7,40 ± 0,31		6,74 ± 0,27	8,70 ± 0,31	
	E16P1	8,18 ± 0,45	9,90 ± 0,31	6,74 ± 0,57	11,78 ± 0,36	11,50 ± 0,53	7,79 ± 0,11
	E16P2	6,96 ± 0,47	8,60 ± 0,32	5,98 ± 0,59	10,31 ± 0,39	9,90 ± 0,59	6,88 ± 0,12
	E16P3	4,89 ± 0,49	7,70 ± 0,32		9,02 ± 0,70	8,80 ± 0,27	2,77 ± 0,80
	APA - Córrego efêmero	E17P1	11,36 ± 0,47	12,60 ± 0,30	6,69 ± 0,56	13,63 ± 0,47	14,10 ± 0,58
E17P2		9,80 ± 0,48	10,30 ± 0,31	6,23 ± 0,56	11,69 ± 0,96	12,20 ± 0,45	7,42 ± 0,60
E17P3		5,51 ± 0,49	8,20 ± 0,31		10,08 ± 0,62	9,70 ± 0,50	
E18P1		11,48 ± 0,46	11,70 ± 0,32	6,99 ± 0,30	13,52 ± 0,56	13,80 ± 0,48	8,24 ± 0,26
E18P2		7,55 ± 0,46	8,60 ± 0,32	5,83 ± 0,48	11,19 ± 0,47	10,10 ± 0,47	6,82 ± 0,30
E18P3		5,60 ± 0,49	8,00 ± 0,30		10,01 ± 0,70	9,30 ± 0,52	
E19P1		10,99 ± 0,50	11,70 ± 0,31	7,10 ± 0,49	13,88 ± 0,63	13,60 ± 0,47	8,22 ± 0,17
E19P2		10,31 ± 0,50	10,50 ± 0,49	6,46 ± 0,32	11,80 ± 0,39	12,00 ± 1,67	7,43 ± 0,09
E19P3		5,00 ± 0,45	9,50 ± 0,51		6,90 ± 0,47	10,90 ± 0,94	
E20P1		11,91 ± 0,46	12,30 ± 0,46	7,34 ± 0,31	13,50 ± 0,74	14,00 ± 0,40	8,34 ± 0,23
E20P2		7,70 ± 0,47	9,00 ± 0,48	6,99 ± 0,46	10,90 ± 0,59	10,10 ± 0,47	7,90 ± 0,19
E20P3		5,61 ± 0,48	8,30 ± 0,32		9,60 ± 0,81	9,30 ± 0,70	
Talhão de plantio - 02		E21P1	9,72 ± 0,50	11,80 ± 0,29	7,11 ± 0,48	11,05 ± 0,66	13,50 ± 0,35
	E21P2	7,94 ± 0,45	9,00 ± 0,31	6,19 ± 0,49	8,97 ± 0,74	10,10 ± 0,40	7,00 ± 0,15
	E21P3	4,69 ± 0,46	7,80 ± 0,31		6,40 ± 0,55	8,80 ± 0,45	
	E22P1	9,27 ± 0,48	10,80 ± 0,32	7,56 ± 0,58	12,59 ± 0,49	12,10 ± 0,72	8,44 ± 0,15
	E22P2	9,35 ± 0,49	10,50 ± 0,29	6,85 ± 0,56	10,38 ± 0,32	11,70 ± 0,66	7,61 ± 0,95
	E22P3	4,50 ± 0,46	8,20 ± 0,30		9,40 ± 0,98	9,00 ± 0,90	
	E23P1	10,93 ± 0,49	12,00 ± 0,31	7,23 ± 0,60	12,01 ± 0,70	13,20 ± 0,63	7,95 ± 0,17
	E23P2	8,63 ± 0,50	10,50 ± 0,31	5,60 ± 0,54	9,42 ± 0,66	11,50 ± 0,39	6,12 ± 0,09
	E23P3	4,77 ± 0,51	8,20 ± 0,32		7,36 ± 0,43	8,90 ± 0,47	
	E24P1	10,77 ± 0,45	10,80 ± 0,32	6,13 ± 0,54	13,16 ± 0,44	13,20 ± 0,74	7,50 ± 0,23
	E24P2	8,13 ± 0,46	9,30 ± 0,29	4,68 ± 0,57	12,30 ± 0,37	11,30 ± 0,59	5,68 ± 0,19
	E24P3	5,92 ± 0,46	7,20 ± 0,29		10,76 ± 0,95	8,70 ± 0,81	

E- Pontos de coleta. P – Profundidade (0 – 10, 10-20, 20-30 cm)

Os fungos são seres aeróbios ou anaeróbios facultativos a limitação de oxigênio limita a presença de fungos em locais anóxicos (Madigan et al., 2010 Tortora et al., 2014).

Comparando as três áreas de coleta da unidade de produção UP 02 em relação a contagem de células microbianas viáveis, o talhão de produção 02 está mais próximo da APA que do outro talhão (Tabela 23). Esse resultado pode ser devido ao tempo de utilização da área para o plantio.

Na unidade de produção de Pedro Afonso/TO foi também observado uma diferença entre os perfis de bandas durante a estação seca e chuvoso dos genes de BFNs e FMAs (Figura 34).

Semelhante ao observado na área da divisa TO/BA durante o período seco houve a formação de grupamento do gene 16S-*nifH* em função da profundidade (Figura 34A). Esse resultado mostra que na mesma profundidade não existe diferença na diversidade entre o talhão de plantio (E13-16), APA do córrego efêmero (E17-20) e talhão de plantio (E21-24). Isso pode ser devido aos poucos grupos microbianos que conseguem crescer em ambiente com baixa disponibilidade de água. Além disso, Silva (2016) também mostra a formação de grupamentos do gene *nifH* e 18S rDNA em função da profundidade do solo do cerrado.

Durante o período chuvoso houve um aumento na intensidade das bandas de 16S-*nifH* e as mesmas ficaram mais concentradas na parte superior do gel (Figura 34B). Assim, houve um aumento da quantidade de células no solo, mas não houve um aumento na diversidade bacteriana. Além disso, apenas na superfície houve a formação de grupamento entre as áreas que pode ser devido a influência da água sobre a comunidade microbiana.

Nessa unidade de produção também foi observado que a comunidade bacteriana presente na área de preservação do córrego efêmero encontra-se também nas áreas de plantio (Figuras 34 A e B). A resiliência e o pouco tempo de manipulação antrópica podem ter contribuído para esse resultado.

A comunidade de fungo estava completamente distribuída nas áreas da unidade de produção Pedro Afonso, mas com maior intensidade no período chuvoso (Figuras 34 C e D). Durante a seca apenas na profundidade 20-30 cm (P3) não foi observado diferença no perfil de bandas (Figura 34C). Nessa profundidade, a limitação de oxigênio e outros nutrientes provoca uma baixa sobrevivência de micro-organismos aeróbios. Os fungos

estão em maior concentração na região de rizosfera. Nota-se que no período chuvoso houve um aumento da intensidade das bandas (Figura 34D).

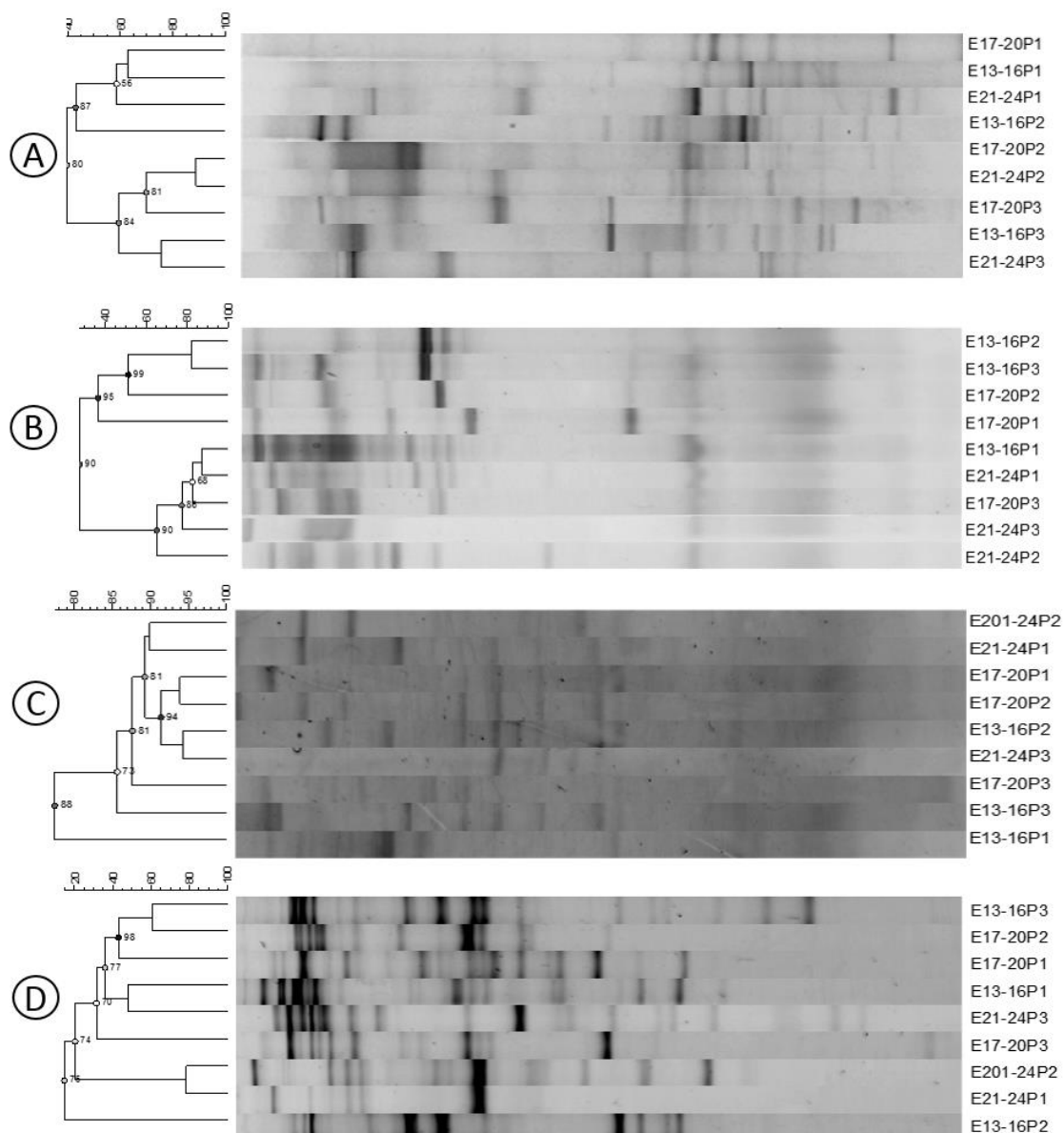


Figura 34. Perfil de DGGE do gene 16S rDNA e *nifH* (A e B) e 18S rDNA e da associação micorrízica arbuscular (C e D) das amostras do solo coletadas no período de seca (A e C) e no período úmido (B e D) em três diferentes pontos (E13-16 = talhão de plantio, E17-20 = APA do Córrego efêmero e E21-24 = talhão de plantio 02) e em três profundidades (P1- 0-10 cm, P2= 10-20 cm e P3 = 20-30 cm) dentro da unidade de produção (UP 2) localizada no município de Pedro Afonso/TO

Isso mostra maior concentração de células fúngicas nesse período do ano devido a disponibilidade de água que contribuem para germinação de esporos. Assim, a análise do perfil de bandas de DGGE do gene 18S-FMAs tem potencial para ser utilizado para analisar diferenças na comunidade de fungos antes e após alterações ambientais. Vainio e Hantula (2000) também utilizando a amplificação dos genes 18S rDNA e *primers* NS1 para o estudo da comunidade fúngica por DGGE mostraram que essa amplificação ter alta resolução de bandas. Esses autores concluem que ela é adequada para detecção de grupos fúngicos em diferentes condições de cultivos e amostragens.

Na unidade de produção de Porto Nacional/TO (UP 3) permitiu-se a comparação entre área de plantio, reserva ambiental e área de utilidade humana ou fragmentação antrópica (Tabela 24). Dessa forma, a contagem de células microbianas viáveis foi superior na reserva ambiental, seguida da área de plantio e da fragmentação antrópica. Nessa última a contagem foi menor devido a compactação do solo e ao descarte de alimentos e outros utensílios humano. A fragmentação antrópica é o local onde os trabalhadores rurais realizam a alimentação, descanso e higienização corporal. O resíduo de alimentos pode ter influenciado na presença de células viáveis fúngicas na profundidade de 20-30 cm em um ponto da fragmentação antrópica nos dois períodos de amostragem.

A presença de fungos na profundidade de 20-30 cm também foi observada na área de preservação ambiental semelhante ao visto na unidade de produção UP 01 (Tabelas 22 e 24). Esses resultados mostram a importância de delimitação de uma área de preservação ambiental dentro das unidades de produção para manutenção da comunidade microbiana indígena.

O efeito da profundidade, umidade do solo, quantidade de células microbianas por grupos fisiológicos foi semelhante ao observado nas outras unidades de produção (Tabelas 22 a 24). Além disso, em relação a contagem de células microbianas viáveis no intervalo entre as amostras para estabelecer o período de seca e úmido foi adequado para verificar as alterações sobre a comunidade microbianas de cada unidade.

Comparando as três unidades de produção, a de Porto Nacional/TO (UP 3) apresenta maior taxa de endemismo com padrão de bandas dos genes de BFNs e FMAs diferente das outras unidades (Figuras 33 a 35).

Tabela 24. Contagem de células microbianas viáveis, nos períodos: seco e úmido, das amostras coletadas na Unidade de produção UP 3.

Local coleta	Código das amostras	Período seco			Período Úmido		
		Actinomicetos	Bactérias	Fungos	Actinomicetos	Bactérias	Fungos
Log (UFC g ⁻¹)							
Talhão de plantio - 01	E25P1	6,59 ± 0,29	10,80 ± 0,42	5,45 ± 0,17	8,06 ± 0,23	13,17 ± 0,45	6,66 ± 0,85
	E25P2	4,90 ± 0,28	8,50 ± 0,40	4,43 ± 0,17	5,95 ± 0,08	10,31 ± 0,36	5,38 ± 0,69
	E25P3	3,95 ± 0,26	5,80 ± 0,37		4,76 ± 0,27	6,96 ± 0,78	
	E26P1	8,01 ± 0,29	11,70 ± 0,42	6,13 ± 0,17	9,61 ± 0,56	13,99 ± 0,51	7,35 ± 0,95
	E26P2	7,30 ± 0,28	9,50 ± 0,40	5,38 ± 0,17	8,70 ± 0,73	11,34 ± 0,45	6,42 ± 0,83
	E26P3	4,71 ± 0,26	7,00 ± 0,37		5,58 ± 0,31	8,30 ± 0,69	
	E27P1	8,92 ± 0,29	11,90 ± 0,42	6,03 ± 0,17	10,50 ± 0,85	13,99 ± 0,51	7,10 ± 0,93
	E27P2	6,26 ± 0,28	9,30 ± 0,40	4,60 ± 0,17	7,33 ± 0,43	10,84 ± 0,39	5,39 ± 0,71
	E27P3	4,56 ± 0,26	6,80 ± 0,37		5,31 ± 0,30	7,94 ± 0,54	
	E28P1	9,04 ± 0,29	10,20 ± 0,42	5,98 ± 0,17	10,46 ± 0,49	11,82 ± 0,52	6,92 ± 0,93
	E28P2	7,66 ± 0,28	8,50 ± 0,40	5,11 ± 0,17	8,82 ± 0,44	9,78 ± 0,44	5,88 ± 0,79
	E28P3	6,22 ± 0,26	6,90 ± 0,37	1,57 ± 0,15	7,11 ± 0,84	7,92 ± 0,14	1,79 ± 0,24
Reserva ambiental	E29P1	9,55 ± 0,32	13,20 ± 0,46	6,99 ± 0,19	10,86 ± 0,84	15,05 ± 0,61	7,95 ± 0,88
	E29P2	7,58 ± 0,31	9,70 ± 0,45	5,92 ± 0,19	8,57 ± 0,81	10,95 ± 0,52	6,69 ± 0,92
	E29P3	5,05 ± 0,29	7,80 ± 0,42	1,58 ± 0,17	5,68 ± 0,31	8,76 ± 0,14	1,78 ± 0,25
	E30P1	11,25 ± 0,33	12,10 ± 0,47	7,55 ± 0,20	12,58 ± 0,92	13,51 ± 0,68	8,43 ± 0,80
	E30P2	7,99 ± 0,28	10,00 ± 0,40	5,85 ± 0,17	8,88 ± 0,89	11,12 ± 0,53	6,51 ± 0,91
	E30P3	6,70 ± 0,26	7,10 ± 0,37	1,82 ± 0,15	7,41 ± 0,97	7,86 ± 0,16	2,01 ± 0,28
	E31P1	10,74 ± 0,32	13,00 ± 0,46	7,11 ± 0,19	11,81 ± 0,81	14,28 ± 0,65	7,81 ± 1,10
	E31P2	7,55 ± 0,29	10,10 ± 0,41	4,90 ± 0,17	8,25 ± 0,74	11,02 ± 0,45	5,36 ± 0,76
	E31P3	5,34 ± 0,26	7,00 ± 0,37	1,73 ± 0,15	5,80 ± 0,54	7,65 ± 0,16	1,88 ± 0,27
	E32P1	10,53 ± 0,32	12,90 ± 0,46	6,00 ± 0,19	12,87 ± 0,88	15,74 ± 0,49	7,33 ± 0,93
	E32P2	8,66 ± 0,28	9,7 ± 0,40	4,00 ± 0,17	10,52 ± 0,66	11,73 ± 0,33	4,86 ± 0,62
	E32P3	7,03 ± 0,26	6,80 ± 0,37	1,87 ± 0,15	5,48 ± 0,66	8,24 ± 0,15	2,26 ± 0,29
Fragmentação antrópica	E33P1	4,35 ± 0,13	5,40 ± 0,18	2,56 ± 0,07	5,22 ± 0,48	6,48 ± 0,21	3,07 ± 0,40
	E33P2	2,50 ± 0,08	3,10 ± 0,12	1,59 ± 0,05	2,98 ± 0,27	3,73 ± 0,13	1,90 ± 0,25
	E33P3	6,70 ± 0,26	7,70 ± 0,37	1,95 ± 0,15	7,94 ± 0,86	9,09 ± 0,16	2,32 ± 0,30
	E34P1	4,46 ± 0,13	5,40 ± 0,18	2,72 ± 0,08	5,25 ± 0,53	6,32 ± 0,23	3,20 ± 0,42
	E34P2	2,23 ± 0,08	2,40 ± 0,11	1,36 ± 0,05	2,61 ± 0,32	2,76 ± 0,12	1,59 ± 0,21
	E34P3	6,78 ± 0,26	7,30 ± 0,37		7,89 ± 0,95	8,55 ± 0,14	
	E35P1	4,39 ± 0,12	5,00 ± 0,17	2,60 ± 0,07	5,08 ± 0,58	5,75 ± 0,22	3,01 ± 0,40
	E35P2	2,50 ± 0,08	2,90 ± 0,12	1,58 ± 0,05	2,90 ± 0,31	3,39 ± 0,14	1,82 ± 0,24
	E35P3	3,20 ± 0,17	5,80 ± 0,25		3,70 ± 0,04	6,59 ± 0,16	
	E36P1	3,70 ± 0,10	4,40 ± 0,15	2,28 ± 0,06	4,20 ± 0,46	4,95 ± 0,20	2,60 ± 0,35
	E36P2	2,00 ± 0,07	2,10 ± 0,10	1,47 ± 0,04	2,30 ± 0,30	2,41 ± 0,13	1,66 ± 0,23
	E36P3	5,80 ± 0,22	6,30 ± 0,32		6,60 ± 0,82	7,11 ± 0,55	

E- Pontos de coleta. P – Profundidade (0 – 10, 10-20, 20-30 cm)

Além disso, algumas bandas, principalmente no gene 16S-*nifH* no período seco, presentes no talhão de plantio não estão observadas na reserva ambiental e na fragmentação antrópica (Figura 35A). Esses resultados reforça a necessidade de política de preservação ambiental dessa unidade de produção.

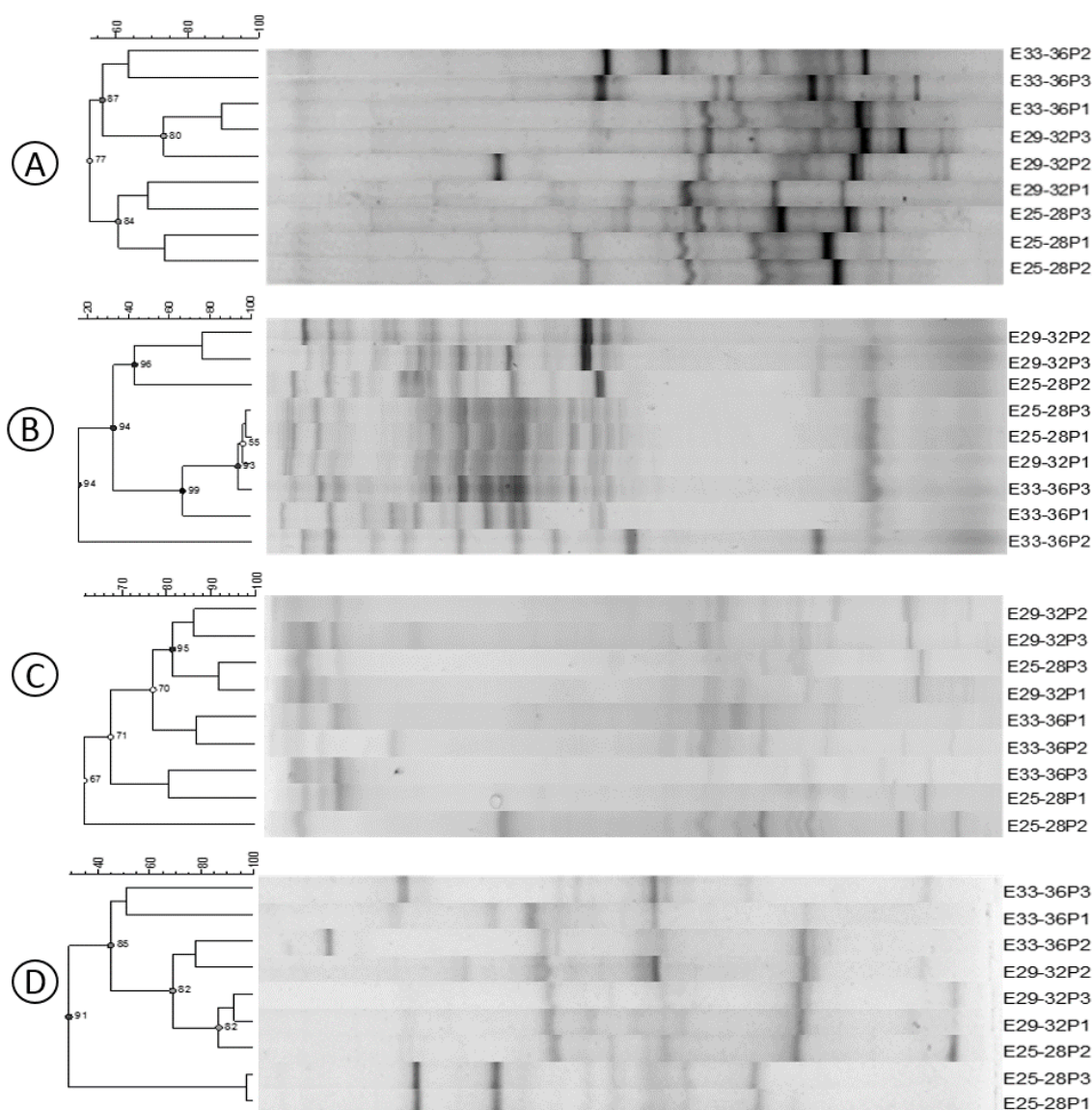


Figura 35. Perfil de DGGE dos genes 16S rDNA e *nifH* (A e B) e 18S rDNA e da associação micorrízica arbuscular (C e D) das amostras do solo coletadas no período de seca (A e C) e no período úmido (B e D) em três diferentes pontos (E25-28 = talhão de plantio, E29-32 = Reserva ambiental e E23-36 = fragmentação antrópica) e em três profundidades (P1- 0-10 cm, P2= 10-20 cm e P3 = 20-30 cm) dentro da unidade de produção (UP 2) localizada no município de Porto Nacional/TO

Nessa unidade de produção foi observado também um aumento do número de bandas do gene *16S-nifH* no período chuvoso (Figura 35B). Durante a estiagem há formação de grupamentos em função da profundidade e da do local de coleta e no durante a chuva os grupamentos são exclusivamente em função do ponto de coleta (Figuras 35A e B).

A comunidade fúngica de Porto Nacional também apresenta um perfil de bandas do gene *18S-FMAs* diferentes daqueles observado nas outras unidades de produção (Figuras 33 a 35). No período de seca, o perfil de bandas da fragmentação antrópica está mais próximo do perfil do talhão de plantio que da reserva ambiental (Figura 35C). Entretanto, no período de mais umidade, ocorre uma inversão (Figura 35D). Isso demonstra que a ação antrópica é mais evidente no período de escassez de água.

O avanço da área de produção agrícola sobre o solo do Cerrado, em especial em Porto Nacional/TO é preocupante devido a taxa de microrganismos endêmicos observados nesse estudo. Para controlar o problema, sugere-se aumentar a área de preservação ambiente nessa unidade de produção.

5.3.3.2 Análise da atividade microbiana em solos do Cerrado com e sem atividades antrópicas

Utilizando a técnica de Pfeiffer, mais conhecida por cromatografia circular plana, foi possível observar o comportamento da atividade dos microrganismos do solo no Cerrado, em períodos distintos seco e úmido, em áreas com plantio de soja e em áreas com cobertura de matas nativas (Figuras de A9a a A11c).

Os resultados mostraram a existência de uma correlação diretamente proporcional da atividade microbiana com a umidade do solo e do teor da matéria orgânica, e uma ligeira inversão com o pH do solo. Pode se perceber, também, que a atividade microbiota é inversa ao aprofundamento do solo, esta relação possivelmente se explica melhor por escala logarítmica inversa. Mostrando que o uso excessivo de corretivos agrícolas comprometerá o desempenho dos papéis biológicos da biomassa.

Deste modo, para mitigar o efeito negativo da retirada da cobertura de matas nativas dos solos para incorpora-las aos sistemas de produção agrícola, neste bioma, faz-se

necessário a adoção de práticas de manejo conservacionista, como plantio em terraços e com cobertura morta; pois, proporcionará, especialmente nos solos arenosos, melhoria nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, em concordância (CARNEIRO et al., 2009).

6. CONCLUSÕES

- A temperatura média mensal das regiões não é fator limitante a produção de soja; no entanto, a precipitação nestas regiões limita o cultivo desta cultura ao período de novembro a abril, se semeada cultivar de ciclo curto no início da segunda quinzena de novembro, ocorrerá ao final do ciclo uma disponibilidade hídrica correspondente a um período de 60 dias.
- Os solos com textura mais grossa, ou seja, com maior teor de areia são mais susceptíveis a movimentação da argila e de lixiviação de nutrientes, quando se retira a cobertura vegetal natural para introdução da soja.
- Os solos com cobertura vegetal nativa apresentaram comportamento semelhantes, nos períodos: seco e úmido, quanto ao máximo de crescimento das raízes limitada pelo valor crítico da resistência do solo; com exceção da área de reserva ambiental da região produtora de Pedro Afonso – TO.
- Os solos com características típicas de solos jovens, ou com tempo de uso associado à mecanização agrícola pesada, tende a levá-los a formação de camadas compactadas acima do limite da zona radicular efetiva da cultura da soja.
- As áreas de reservas ambientais por se posicionar, normalmente, a jusante das áreas de plantio são constantemente impactadas por frações de corretivos, fertilizantes e pesticidas, especialmente quando mal manejados e/ou quando as práticas de manejo do solo utilizadas não são as mais adequadas.
- A remoção da vegetação nativa para plantio tem influência sobre a quantidade de células viáveis e diversidade microbianas em solo do cerrado.
- Há diferença na comunidade microbiana, entre os períodos: seco e úmido, sendo mais afetada pela ação antrópica no período de escassez hídrica.
- A redução da quantidade e diversidade microbiana mostram a importância da manutenção de área de reserva ambiental dentro das unidades de produção agrícola.

- A atividade microbiana do solo apresenta relação direta proporcional com a umidade e matéria orgânica, e inversa com o pH e a profundidade do solo. Para mitigar o impacto negativo da substituição da cobertura vegetal nativa por plantio agrícola, faz-se necessário a adoção de práticas conservacionistas, como: plantio em terraços e direto na palha.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, R. & Lavado, R.S. Climate, organic matter and clay content relationship in the Pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma*, 83:127-141, 1998
- Amorim, J. R. A. Espacialização da porcentagem de sódio trocável do solo no Perímetro Irrigado Califórnia, em Canindé de São Francisco, Sergipe. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010.
- Andreote, F.D. Estrutura e função do microbioma de solos brasileiros. Monografia. Esalq/USP. Piracicaba, SP. 2014.
- ATLAS DO TOCANTINS: Subsídios ao planejamento da gestão territorial. 6. ed. rev. atu. Palmas: Seplan, 2012.
- Barbosa, M.A. Caracterização molecular da microbiota em solos de restingaedunas com atividade de mineração no município de Mataraca, Paraíba, Brasil. Universidade Federal de Pernambuco, 98p. 2014.
- Bayer, C.; Mielniczuk, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 21, n. 1, p. 105-112, 1997.
- Balbino, L.C.; Bruand, A.; Cousin, I.; Brossard, M.; Quéting, P.; Grimaldi, M. Change in the hydraulic properties of a Brazilian clay Ferralsol on clearing for pasture. *Geoderma*, v.120, p.297-307, 2004.
- Bernardo, S; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p
- Bernoux, M.; Cerri, C. C.; Cerri, C. E. P.; Siqueira Neto, M.; Metay, A.; Perrin, A.; Scopel, E.; Blavet, D.; Piccolo, M. C. Influence du semis direct avec couverture végétale sur la séquestration du carbone et l'érosion au Brésil. *Bulletin du Réseau Erosion*, v. 23, p. 323-337, 2004.
- Beulter, A.N.; Centurion, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.6, p.581-588, jun. 2004.
- Borges, E.N.; Lombardi Neto, F.; Corrêia, G.F. & Borges, E.V.S. Alterações físicas introduzidas por diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34:1663-1667, 1999.
- Brossard, M.; Barcellos, A. de O. Conversão do cerrado em pastagens cultivadas e funcionamento de Latossolos. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 22, n. 1, p. 153-168, jan/abr. 2005.
- Cardoso, E.L.; Silva, M.L.N.; Moreira, F.M.S.; Curi, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagens cultivada e nativa no Pantanal. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.44, n.6, p.631-637, jun. 2009.
- Carneiro, M. A. C.; Souza, E. D. de; Reis, E. F. dos; Pereira, H. S.; Azevedo, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, nº 33, p. 147 – 157, 2009.
- Carvalho, R.; Goedert, W.J.; Armando, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.11, p.1153-1155, nov. 2004.

- Chaer, G.M.; Tótola, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1381-1396, 2007.
- Cornejo, P; Azcon-Aguilar, C; Barea, J.M; Ferrol, N. Temporal Temperature Gradient Gel Electrophoresis (TTGE) as a tool for the characterization of arbuscular mycorrhizal fungi. *FEMS Microbiology Letters* 241: 265-270. 2004.
- Costa, E.A.; Goedert, W.J.; De Sousa, D.M.G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.41, n.7, p.1185-1191, jul. 2006.
- Da Luz, J.M.R; Paes, S.A.; Bazzolli, D.M.S.; Totola, M.R.; Demuner, A.J.; Kasuya, M.C.M. Abiotic and biotic degradation of oxo-biodegradable plastic bags. *Plos one* 9(11): e107437. 2014.
- Da Silva, M.R.S.S. Diversidade de comunidades bacterianas de solo de Cerrado em resposta a diferentes alterações dos ecossistemas. Tese, Universidade de Brasília, 140p. 2012.
- DERAL/SEAB-PR. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2017/Soja_2016_17.pdf Acesso em: 18 dezembro 2017.
- Dias-Filho, M.B. Diagnóstico das Pastagens no Brasil. Documento 402. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). (2014).
- Direito, I.C.N.; Teixeira, K.R.S. Simulação e comportamento de migração de produtos da amplificação parcial do gene nifH quando submetidos ao DGGE. *Revista Universidade Rural, Série Ciências da vida* 22: 123-129. 2002.
- Doorenbos, J.; Kassam, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Tradução de Gheyi, H.R. et al. Campina Grande, UFPB, 1994.
- Doran, J.W. & Parkin, T.B. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdocek, D.F. & Stewart, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-35. (Publication, 35)
- EMBRAPA. Tecnologias de Produção de Soja – Região Central do Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 268p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, n. 16).
- EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil, 2008. LondrinaPR (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, n.12), 280p., 2008.
- Fageria, N.K.; Gheyi, H.R. *Efficient crop production*. Campina Grande: UFPB, 1999.
- Faleiro, F.G. Aplicações de marcadores moleculares como ferramenta auxiliar em programas de conservação, caracterização e uso de germoplasma e melhoramento genético vegetal. In: Faleiro FG, de Andrade SRM. *Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária*. Embrapa Cerrados, 730 p. 2011.
- Farias, J.R.B.; Nepumucno, A.L. e Neumaier, N. *Ecofisiologia da soja*. Londrina-PR: Embrapa Soja, 2007. 9p. (Circular técnica, 48).
- Gama-Rodrigues, E.F. da; Gama-Rodrigues, A.C. da. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: Santos, G. de A.; Silva, L.S. da; Canellas, L.P.; Camargo, F.A. de O.

- (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.159-170.
- Genro Junior, S.A.; Reinert, D.J.; Reichert, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 2004.
- Gomes, N.C.M.; Fagbola, O.; Costa, R.; Rumjanek, N.G.; Buchner, A.; Mendona-Hagler, L.; Smalla, K. Dynamics of Fungal Communities in Bulk and Maize Rhizosphere Soil in the Tropics. *Applied and Environmental Microbiology*, 69:3758–3766. 2003.
- Gonzalez, J.A.Z.; Costa, M.D.; Silva, I.R.; Neves, J.C.L.; Barros, N.F.; Boreges, A.C. Acúmulo de ácido oxálico e cristais de cálcio em ectomicorrizas de eucalipto. I – Produção de ácido oxálico e concentração de nutrientes em raízes laterais finas colonizadas por fungos ectomicorrízicos. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, v.33, p.541- 553, 2009.
- Gruberger, G. A. C. Enriquecimento de sementes de soja com cobalto e molibdênio. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 75p. 2016.
- Imhoff, S.; Silva, A.P.; Tormena, C.A. Applications of the resistance curve in the control of the physical quality of soils under grass. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.1493-1500, 2000.
- Klar, A. E. Irrigação: Frequência e quantidade de aplicação – São Paulo: Nobel, 2008.
- Klink, C.A.; Machado, R.B. A conservação do cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, Belo Horizonte, v. 1, p. 147-155, 2005.
- Kowalchuk, G.A; De Souza, F.A; Van Veen, J.A. Community Analysis of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with *Ammophila arenaria* in Dutch Coastal Sand Dunes. *Mol. Ecol.* 11: 571-581. 2002.
- Leão, T.P.; Silva, A.P.; Macedo, M.C.M.; Imhoff, S.; Euclides, V.P.B. Least limiting water range: a potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. *Soil & Tillage Research*, v.88, p.279-285, 2006.
- Lima, J.E.F.W.; Silva, E.M. da. Estimativa da contribuição hídrica superficial do cerrado para as grandes regiões hidrográficas brasileiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais**. CD_ROM, 2007.
- Lupatini, M.; Suleiman, A.K.A.; Jacques, R.J.S.; Antonioli, Z.I.; Kuramae, E.E. Soil-borne bacterial structure and diversity does not reflect community activity in Pampa biome. *PLoS One*, 8(10): e76465, 2013.
- Maciel, G.F. Impactos econômico-financeiros das variações climáticas sobre os cultivos de arroz e soja no estado do Tocantins. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB. 2010.
- Madigan, M.T. ... [et al.]. *Microbiologia de Brock* [recurso eletrônico]; tradução: Maranhão, A. Q. ... [et al.]. – 12. ed. – Porto Alegre: Artmed, 2010.
- Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2006.
- Malavolta, E. ABC da adubação. 5ª ed. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1989.

- Manual IRRIGA LP – TIGRE. CNPH/EMBRAPA. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/disciplinas/Folegatti/leb1571/Tabelas%20completas.pdf>> Acesso em: 20 julho 2017.
- Marchão, R.L.; Balbino, L.C.; Da Silva, E.M.; Dos Santos Jr, J.D.G.; De Sá, M.A.C.; Vilela, L.; Becquer, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.42, n.6, p.873-882, jun. 2007.
- Mendes, I.C.; Reis-Jr, F.B.; Hungria, M.; Fernandes, M.F.; Chaer, G.M.; Mercante, F.M.; Zilli, J.E. *Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária*. Embrapa Cerrados, Cap. 8, 219-244p. 2011.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT - MEA. Ecosystems and human well-being: general synthesis report. Washington: Island Press, 2005. Disponível em: <http://www.millenniumassessment.org/en/Synthesis.aspx>. Acessado em 17/01/2018.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Projeções do Agronegócio – Brasil 2016/17 a 2026/27. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2017-a-2027-versao-preliminar-25-07-17.pdf>. Acesso: 13/01/2018.
- Monteiro, G.G.; Utida, M.K.; Oliveira, C.A.; Novotny, E.H.; Alvarenga, R.C.; Oliveira, A.C.; Marriel, I.E. Composição de Comunidades Microbianas de Seis Agroecossistemas em um Solo de Cerrado. *Anais do XXV Congresso Nacional de Milho e Sorgo*. 2004.
- Monteiro, J. E. B. A. (Org.). *Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola*. Brasília, DF: INMET, 2009.
- Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA, 2006.
- Nóbrega, R.S.A.; Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O.; Lima, A.S. Caracterização fenotípica e diversidade de bactérias diazotróficas associativas isoladas de solos em reabilitação após a mineração de bauxita. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, v.28, p.269- 279, 2004.
- Neves, C.M.N. das; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Cardoso, E.L.; Macedo, R.L.G.; Ferreira, M.M.; Souza, F.S. de. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do Estado de Minas Gerais. *Scientia Forestalis*, n.74, p.45-53, 2007.
- Oehl, F.; Sieverding, E.; Palenzuela, J.; Ineichen, K.; Silva, G.A. *Advances in Glomeromycota taxonomy and classification*. IMA Fungus, 2:191-199. 2011.
- Olimpio, J.A.; Monteiro, L. M. do S. Impacto ambiental da produção de grãos no cerrado piauiense. 01/12/2008. Disponível em: <http://www.emater.pi.gov.br/artigo.php?id=390>. Acesso: 10/01/2018.
- Oliveira, G.C.; Dias Junior, M.S.; Resck, D.V.S.; Curi, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.327-336, 2004.
- Palhano, J. B; Sfredo, G. J.; Campo, R. J.; Lantmann, A. F.; Borkert, C. M. *Calagem para soja – recomendação para o estado do Paraná*. Londrina – PR: Embrapa-CNPS, 1984. (Comunicado técnico, 28).

- Parfitt, R. L.; Theng, B.K.G.; Whitton, J.S. & Sherpherd, T.G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. *Geoderma*, 75:1-12, 1997
- Pimentel-Gomes, F. Curso de estatística experimental. Piracicaba: Esalq-USP, ed. 14, 2000.
- Pinheiro S. Cartilha da saúde do solo (Cromatografia de Pfeiffer) Ed. Salles Editora Rio Grande do Sul, 2011. Il.120 p. Copyright SATYAGRAHA, J. C.
- Primavesi, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. 18. ed. São Paulo: Nobel, 2006. 549 p.
- Raij B, Andrade J. C, Cantarella H, Quaggio J. A. Análise química da fertilidade dos solos tropicais. Campinas: IAC, 2001, 285p.
- Raij, B. van; Silva, N. M. da; Bataglia, O. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. (eds.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100 - 2ª edição).
- Rech, M.; Pansera, M.R.; Sartori, V.C.; Ribeiro, R.T.S. Soil microbiota in agroecological and conventional vineyards and native vegetation in Caxias do Sul, RS. *Rev. Bras. de Agroecologia*. 8(3): 141-151. 2013.
- Reicosky, D.C. & Forcella, F. Cover crop and soil quality interactions in agroecosystems. *J. Soil Water Conserv.*, 53:224-229, 1998.
- Resck, D.V.S. Parâmetros conservacionistas dos solos sob vegetação de Cerrado. Brasília: Embrapa-CPAC, 1981. 42p. (Circular técnica, 6).
- REVISTA EXAME. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/economia/banco-mundial-eleva-previsao-do-pib-mundial-para-31-em-2018/>> Acesso em: 9 janeiro 2018.
- Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V, V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. CFSEMG, 5ª aproximação – Viçosa – 1999. 176p.
- Rodrigues, J.L.M.; Pellizari, V.H.; Mueller, R.; Baek, K.; Jesus, E.D. Conversion of the Amazon rainforest to agriculture results in biotic homogenization of soil bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Science of United States of America*, 110: 988-93, 2013.
- Rodrigues, O.D. Influência da comunidade microbiana do solo no estabelecimento de saúveiros iniciais de *Atta sexdens* rubropilosa Forel, 1908 (*Hymenoptera: Formicidae*). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Dissertação, 64p. 2007.
- Rolim, G.S, and Sentelhas, P.C. "Balanço hídrico normal por Thornthwaite & Mather (1955) V5. 0." *Departamento de Física e Meteorologia-ESALQ/USP, Piracicaba* (1999).
- Ronquim, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.
- Santana, D.P.; Bahia Filho, A.F.C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16. 1998, Montpellier. Montpellier: ISSS, 1998. CD-ROM.

- Santos, D. J. dos; Santos, M. S.; Barros Jr., G. Análise cromatográfica dos solos de duas unidades agroflorestais na Bacia do Pajeú – PE. II Seminário piauiense de agroecologia. Esperantina – PI. 2012.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA DO ESTADO DO TOCANTINS
<http://seagro.to.gov.br/agricultura/> (acesso: 04/09/2014).
- Seguy, L.; Kluthcouski, J.; Silva, J.G.; Blumenschein, F.N.; Dall'Acqua, F.M. Técnicas de preparo do solo: efeitos na fertilidade e na conservação do solo, nas ervas daninhas e na conservação de água. Goiânia: Embrapa-CNPAC, 1984. 26p.
- Sfredo, G.J.; Borkert, C.M.; Oliveira, M.C.N.; Wobeto, C. & Almeida, J. Determinação da relação ótima entre Ca, Mg e K para a cultura da soja em solos do Paraná: Estudo a campo. In: EMBRAPA SOJA. Resultados de pesquisa de soja 1991/92. Londrina, 1999. pt.1, p.327-355. (Embrapa Soja. Documentos, 138).
- Silva, J.G.D. Biotecnologia do uso de água residuária doméstica em solo do cerrado no cultivo do capim *Brachiaria brizantha* cv Marandu. Universidade Federal do Tocantins, 100 f. 2016.
- Silva, J. S. O.; Silva Filho, J. B. da; Resende, P. L. Aplicação econômica de adubos. Viçosa-MG, CPT, 292p, 2007.
- Silva, M.B. da; Kliemann, H.J.; Silveira, P.M.; Lanna, A.C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, p.1755-1761, 2007.
- Silveira, P. M.; Zimmermann, F. J. P.; Silva, S. C.; Cunha, A. A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 35, n. 10, p. 2057-2064, 2000.
- Simon, L; Lalonde, M; Bruns, T.D. Specific amplification of 18S fungal ribosomal genes from vesicular-arbuscular endomycorrhizal fungi colonizing roots. Applied and Environmental Microbiology 58: 291-295. 1992.
- Siqueira Neto, M.; Piccolo, M. C.; Scopel, E.; Costa Jr, C. da; Cerri, C.C.; Bernoux, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. Acta Scientiarum. Agronomy. Maringá, v. 31, n. 4, p. 709-719, 2009.
- Sivakumar, M.V.K.; Gomes, R.; Baier, W. Agrometeorology and sustainable agriculture. Agricultural and Forest Meteorology, 2000.
- Souza, D.M.G.; Miranda, L.N.; Lobato, E. Interpretação de análise de terra e recomendação de adubos fosfatados para as culturas anuais nos cerrados. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. 7p. (EMBRAPA-CPAC. Comunicado técnico, 51)
- Tormena, C.A.; Silva, A.P.; Libardi, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.22, p.573-581, 1998.
- Tortora G.J.; Funke, B.R.; Case, C.L. Microbiologia. 10º Ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 934p. 2014.
- Trannin, I.C. de B.; Siqueira, J.O.; Moreira, F.M. de S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biofertilizante industrial e cultivo de milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.1173-1184, 2007

- Ueda, T.; Suga, Y.; Yahiro, N.; Matsuguchi, T. Remarkable N₂-fixing bacterial diversity detected in rice roots by molecular evolutionary analysis of *nifH* gene sequences. *Journal Bacteriology* 177: 1414-1417. 1995.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017). World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP/248.
- Vainio, E.J.; Hantula, J. Direct analysis of wood-inhabiting fungi using denaturing gradient gel electrophoresis of amplified ribosomal DNA. *Mycol. Res.* 104 (8): 927±936. 2000.
- Vilela, G.F.; Pereira, M.J.Z.; Klepker, D.; Moreira, J.U.V.; Vieira, P.F.M.; Rabelo, C.F.S.; Bezerra, J.W.T.; Pereira, A.F.; Silva Neto, S.P. da. Cultivares de soja: macrorregiões 4 e 5 norte e nordeste do Brasil. Embrapa Soja, Londrina/PR, 2016.
- Vitousek, P.M.; Hättenschwiler, S.; Olander, L.; Allison, S. Nitrogen and Nature. *Ambio: A Journal of the Human Environment*, 31:97-101. 2002.
- Vitti, G. C.; Trevisan, W. Manejo de macro e micronutrients para alta produtividade da soja. Encarte técnico – POTAFOS, 2000. (Informações agronômicas, nº 90)
- Wartiainen, I.; Eriksson, T.; Zheng, W.; Rasmussen, U. Variation in the active diazotrophic community in rice Paddy *nif H* PCR-DGGE analysis of rhizosphere and bulk soil. *Applied Soil Ecology*, 39:65-75. 2008.
- Zehr, J.P.; Jenkins, B.D.; Short, S.M.; Steward, G.F. Nitrogenase gene diversity and microbial community structure: a cross-system comparison. *Environmental Microbiology*, 5:539-554. 2003.

8. ANEXOS

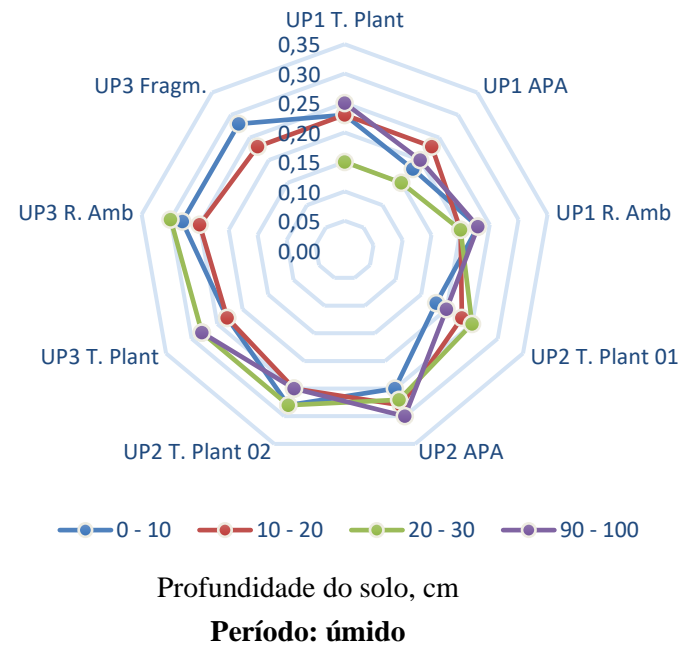
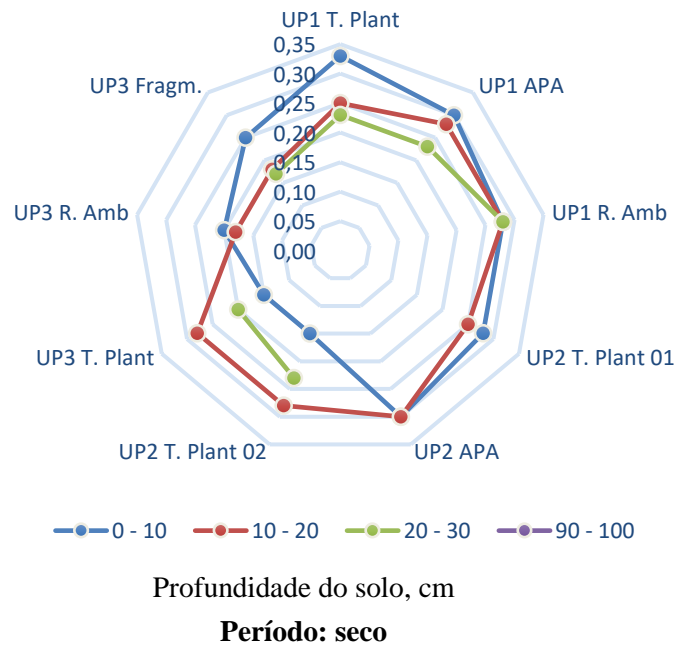
8.1 Tabelas adicionais

Tabela A1. Comportamento do indicador químico potássio (K), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.

Unidade de produção – UP 1 (divisa Tocantins/Bahia)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				APA – Serra Geral				Reserva ambiental			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	161,00 ± 5,92	3,1	134,00 ± 22,57	14,3	32,00 ± 6,66	17,7	26,50 ± 7,78	24,9	37,00 ± 18,58	42,7	16,00 ± 11,04	58,6
10 – 20	138,25 ± 27,49	16,9	51,50 ± 31,18	51,5	24,00 ± 5,43	19,3	15,00 ± 4,90	27,8	30,00 ± 2,72	7,7	11,00 ± 7,32	56,5
20 – 30	29,00 ± 8,91	26,1	43,50 ± 13,36	26,1	12,00 ± 0,00	0,0	12,50 ± 4,45	30,3	19,00 ± 13,52	60,5	11,00 ± 5,92	45,8
90 – 100	-	-	20,00 ± 16,19	68,8	-	-	8,50 ± 1,18	11,8	-	-	7,00 ± 2,35	28,6
Unidade de produção – UP 2 (Pedro Afonso – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio 01				APA – Córrego efêmero				Talhão de plantio 02			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	122,00 ± 54,69	38,1	82,50 ± 34,02	35,0	103,00 ± 35,09	29,0	84,00 ± 32,84	33,2	76,00 ± 32,61	36,5	141,00 ± 77,50	46,7
10 – 20	65,50 ± 38,78	50,3	54,50 ± 30,10	46,9	82,00 ± 15,61	16,2	68,50 ± 45,57	56,5	53,00 ± 15,55	24,9	65,00 ± 33,31	43,6
20 – 30	-	-	37,00 ± 20,47	47,0	-	-	32,67 ± 10,84	19,7	14,00 ± 2,72	16,5	37,00 ± 8,70	20,0
90 – 100	-	-	13,50 ± 2,25	14,2	-	-	15,33 ± 7,02	27,2	-	-	20,00 ± 7,69	32,7
Unidade de produção – UP 3 (Porto Nacional – TO)												
Prof. do solo, cm	Talhão de plantio				Reserva ambiental				Fragmentação antrópica			
	Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido		Período seco		Período úmido	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
0 – 10	108,00 ± 35,43	27,9	60,00 ± 40,12	56,8	57,00 ± 21,53	32,1	45,00 ± 29,55	55,8	114,50 ± 44,96	33,4	44,00 ± 17,08	33,3
10 – 20	58,00 ± 35,74	52,4	25,00 ± 4,90	16,7	41,00 ± 8,04	16,7	30,50 ± 10,76	30,0	92,00 ± 33,72	31,2	47,50 ± 25,23	45,1
20 – 30	16,00 ± 25,26	35,4	13,50 ± 4,02	25,3	-	-	29,00 ± 22,45	65,8	56,00 ± 24,31	25,8	-	-
90 – 100	-	-	13,50 ± 8,01	50,4	-	-	-	-	-	-	-	-

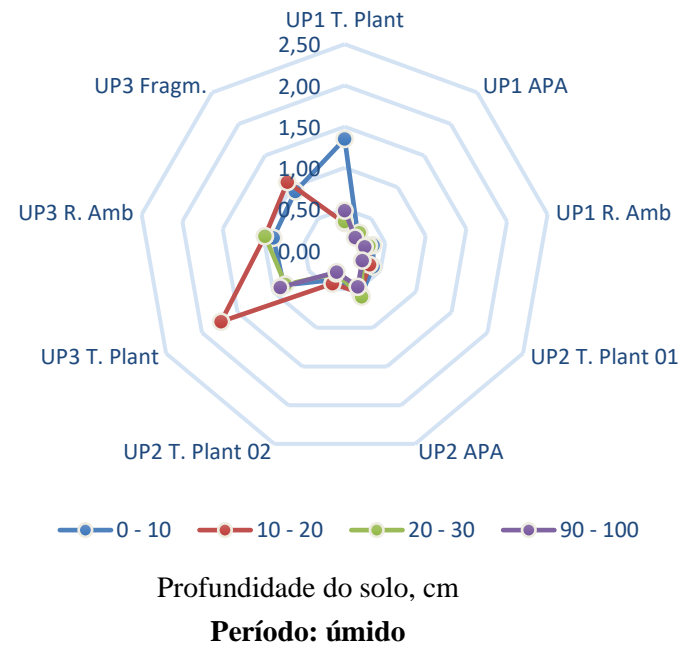
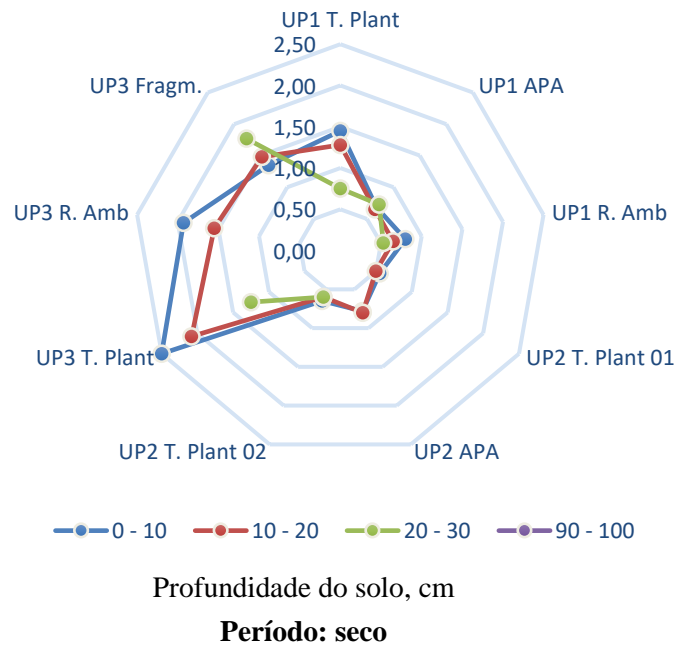
CV = Coeficiente de variância, %; os números seguidos pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, para cada área de coleta por unidade de produção, não diferem entre si ao nível de significância ($p < 0,10$).

8.2 Figuras adicionais



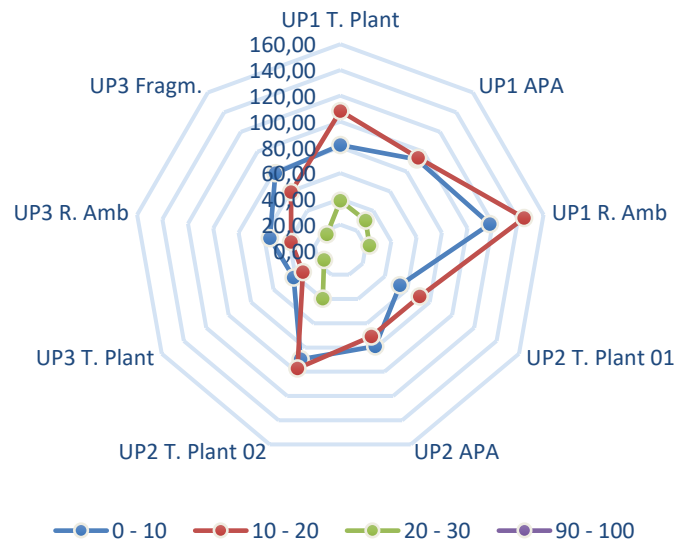
UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura A1. Comportamento do indicador químico boro (B), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.



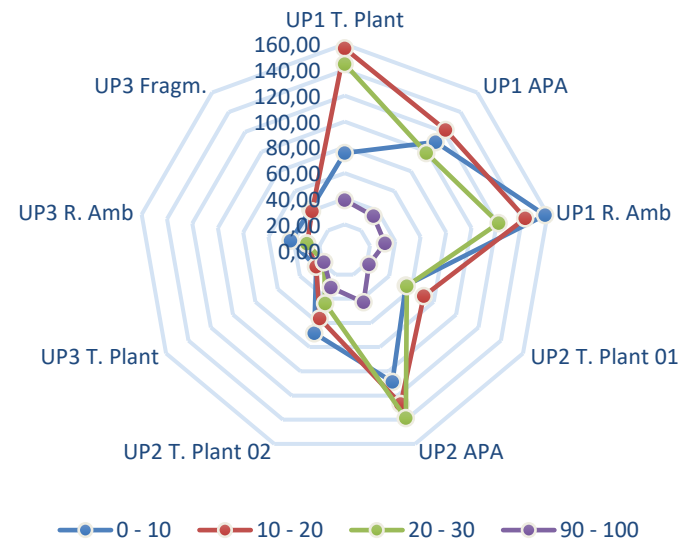
UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura A2. Comportamento do indicador químico cobre (Cu), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.



Profundidade do solo, cm

Período: seco

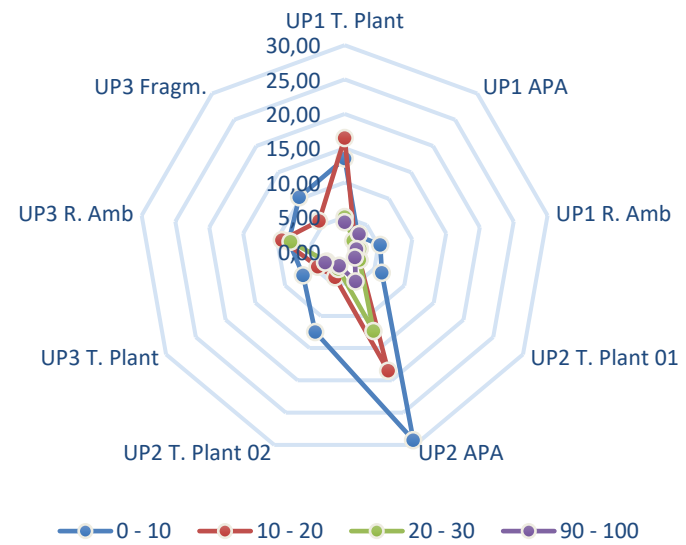
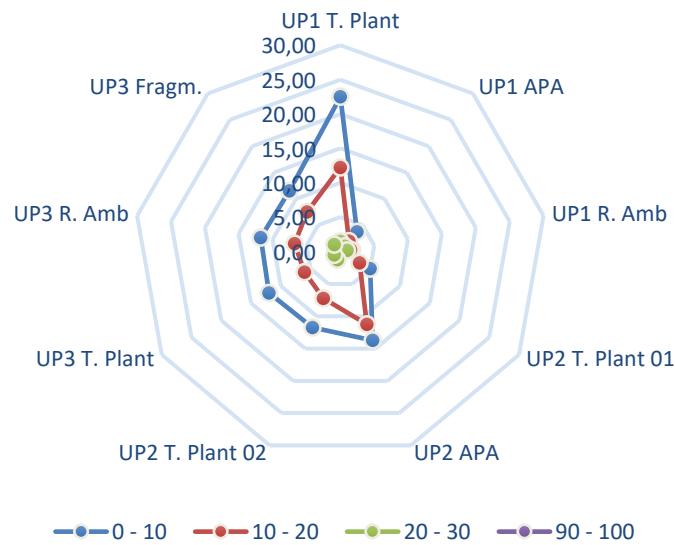


Profundidade do solo, cm

Período: úmido

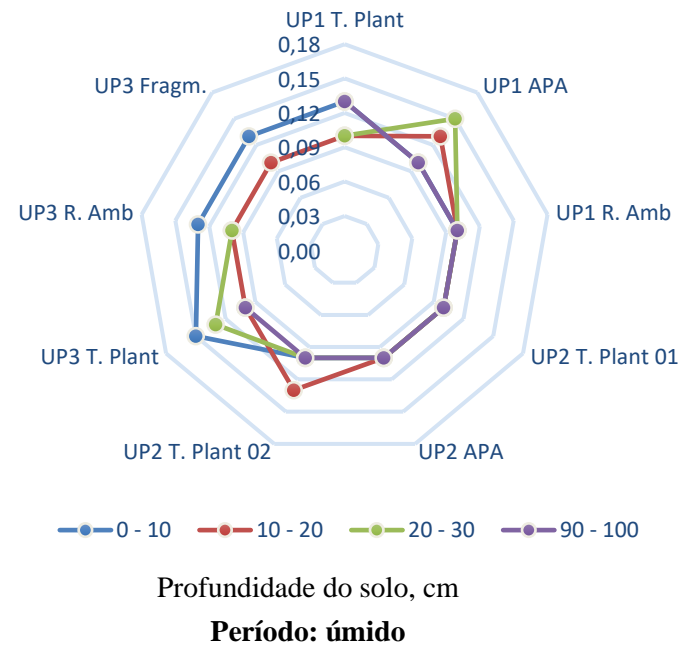
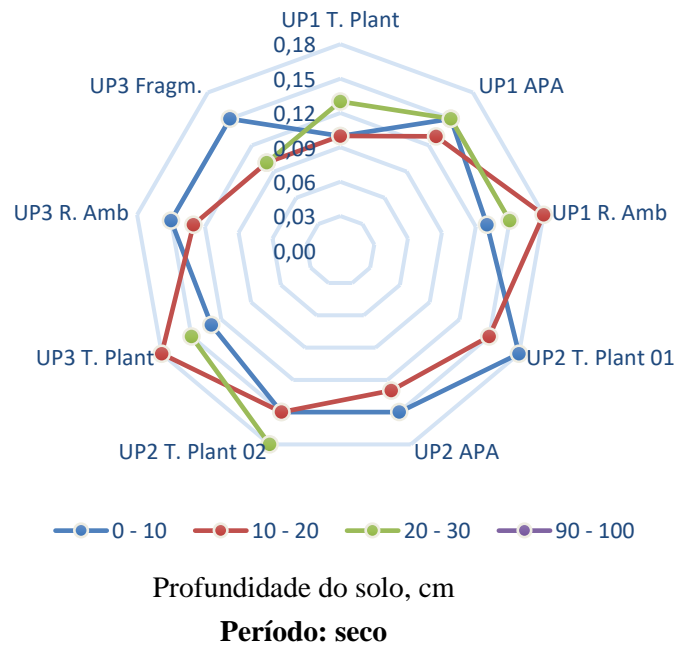
UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura A3. Comportamento do indicador químico ferro (Fe), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.



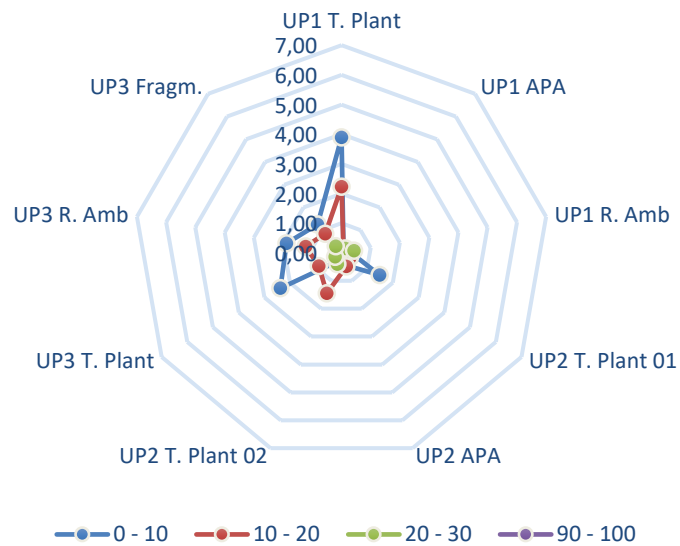
UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura A4. Comportamento do indicador químico manganês (Mn), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.



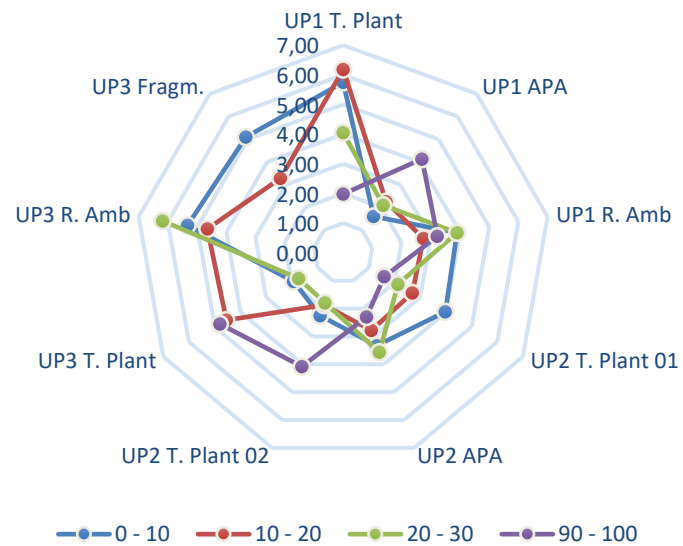
UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura A5. Comportamento do indicador químico molibdênio (Mo), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.



Profundidade do solo, cm

Período: seco

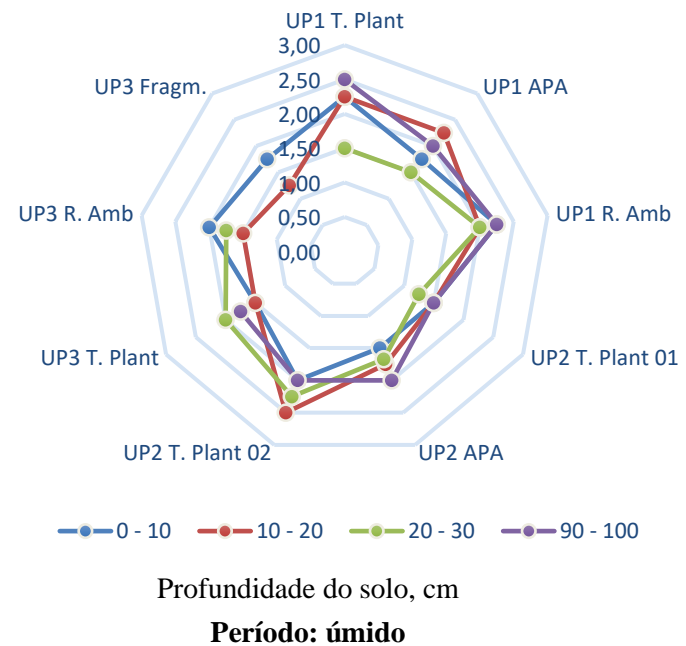
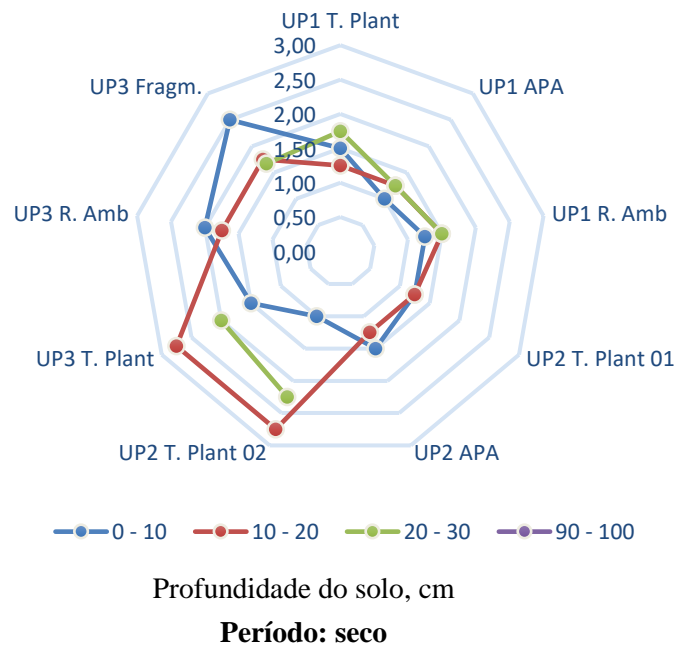


Profundidade do solo, cm

Período: úmido

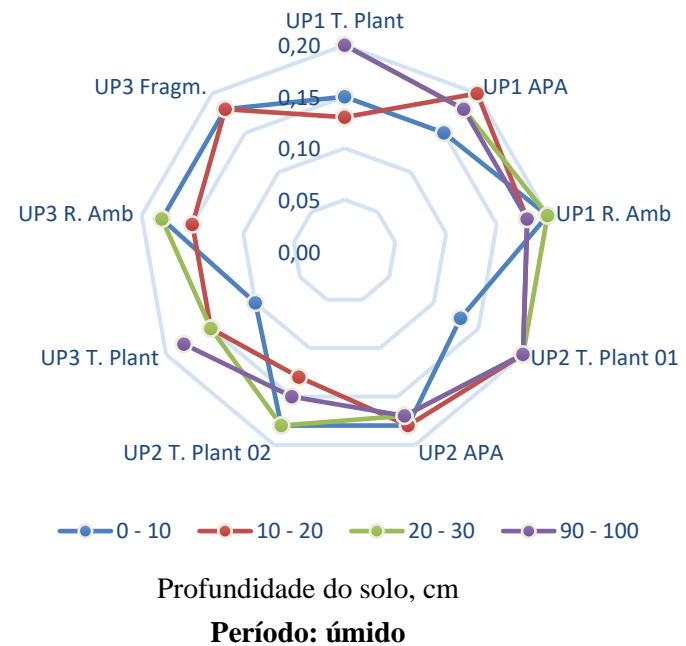
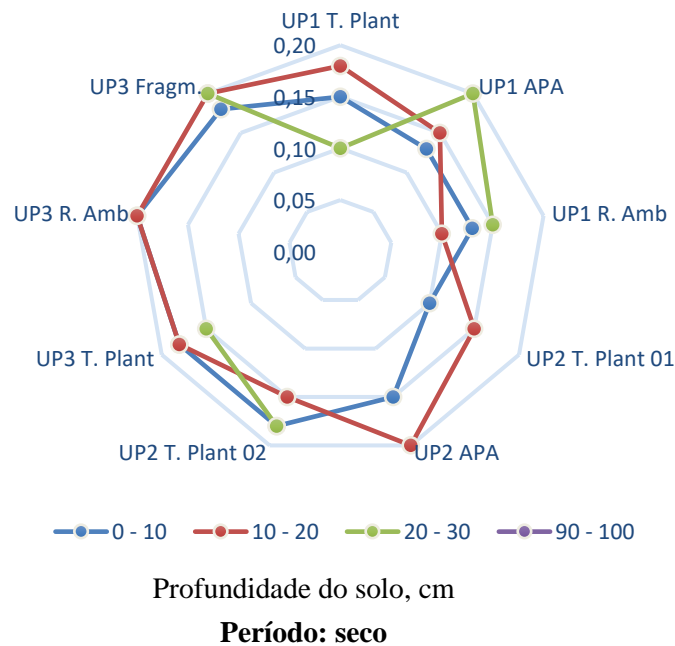
UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura A6. Comportamento do indicador químico zinco (Zn), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.



UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura A7. Comportamento do indicador químico sódio (Na), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.



UP1 T. Plant: Unidade de produção 1 – Talhão de plantio; **UP1 APA:** Unid. de produção 1 – APA Serra Geral; **UP1 R. Amb:** Unid. de produção 1 – Reserva ambiental;
UP2 T. Plant 01: Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 01; **UP2 APA:** Unid. de produção 2 – APA Córrego efêmero; **UP2 T. Plant 02:** Unid. de produção 2 – Talhão de plantio 02;
UP3 T. Plant: Unid. de produção 3 – Talhão de plantio; **UP3 R. Amb:** Unid. de produção 3 – Reserva ambiental; **UP3 Fragm.:** Unid. de produção 3 – Fragmento antrópico.

Figura A8. Comportamento do indicador químico cobalto (Co), mg/dm³, em solos do Cerrado com e sem interferências antrópicas.


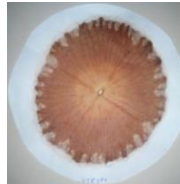
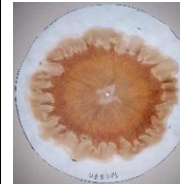
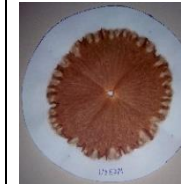
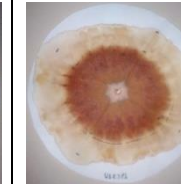

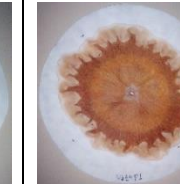
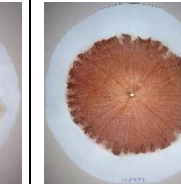

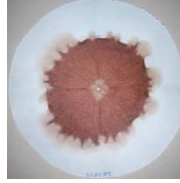
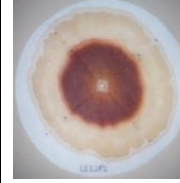


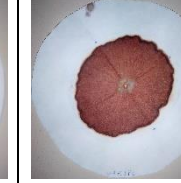
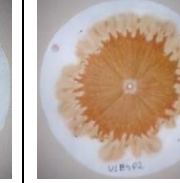
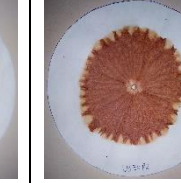

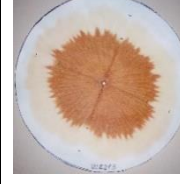

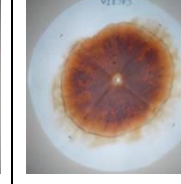

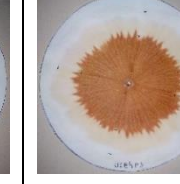
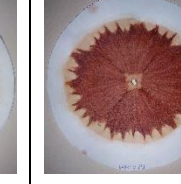

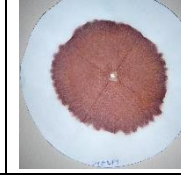


Profundidade do solo, cm	Estações de coleta das amostras de solo							
	E1		E2		E3		E4	
	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido
0 – 10								
10 – 20								
20 – 30	-							
90 – 100	-		-		-		-	

Figura A9a. Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro da área de plantio na unidade de produção (UP1) localizada na região da Garganta entre Dianópolis – TO e Formosa do Rio Preto – BA.


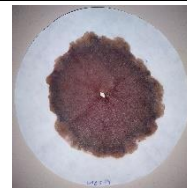
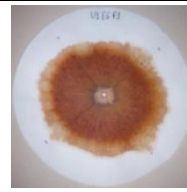
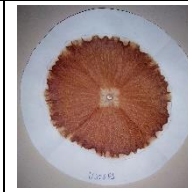


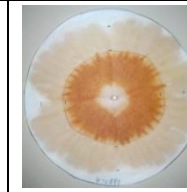



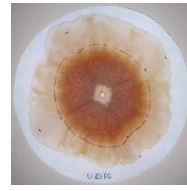
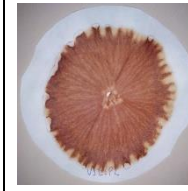


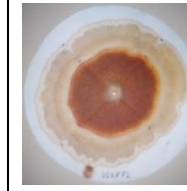
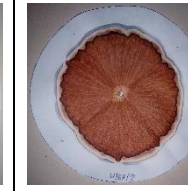
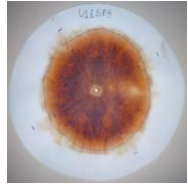



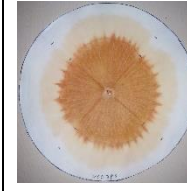

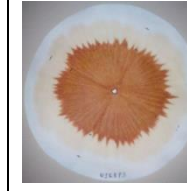
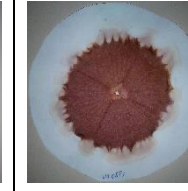



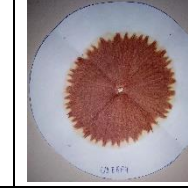
Profundidade do solo, cm	Estações de coleta das amostras de solo							
	E5		E6		E7		E8	
	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido
0 – 10								
10 – 20								
20 – 30								
90 – 100	-		-		-		-	

Figura A9b. Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro da APA – Serra Geral circunvizinha a área de plantio na unidade de produção (UP1) localizada na região da Garganta entre Dianópolis – TO e Formosa do Rio Preto – BA.

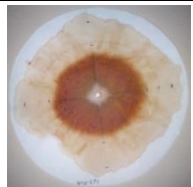







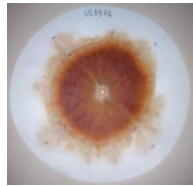

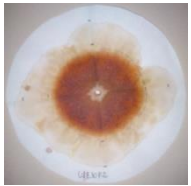
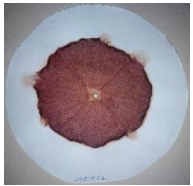



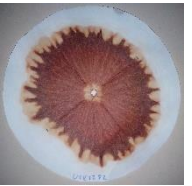
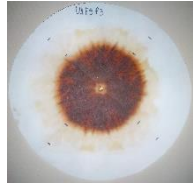

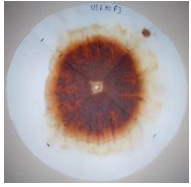

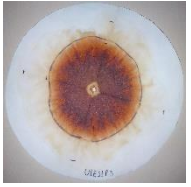



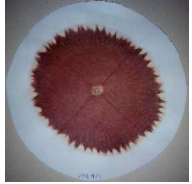

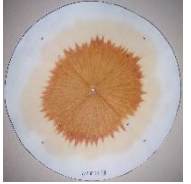


Profundidade do solo, cm	Estações de coleta das amostras de solo							
	E9		E10		E11		E12	
	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido
0 – 10								
10 – 20								
20 – 30								
90 – 100	-		-				-	

Figura A9c. Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro da Reserva ambiental circunvizinha a área de plantio na unidade de produção (UP1) localizada na região da Garganta entre Dianópolis – TO e Formosa do Rio Preto – BA.




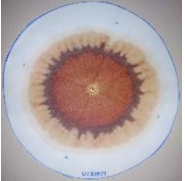


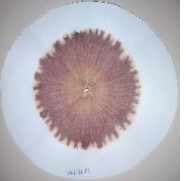





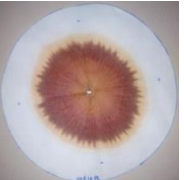
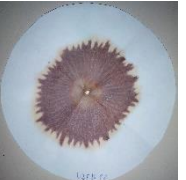





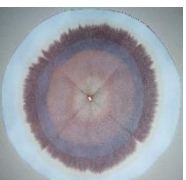

Profundidade do solo, cm	Estações de coleta das amostras de solo							
	E13		E14		E15		E16	
	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido
0 – 10		-						
10 – 20		-						
20 – 30			-	-	-		-	
90 – 100	-	-	-		-		-	

Figura A10a. Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro do Talhão de plantio 01 na unidade de produção (UP2) localizada em Pedro Afonso – TO.



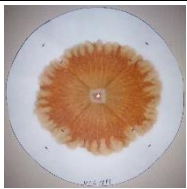






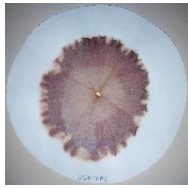




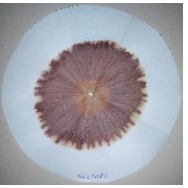

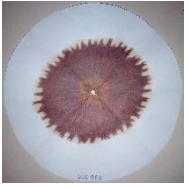
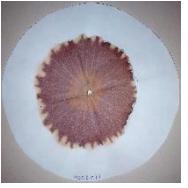



Profundidade do solo, cm	Estações de coleta das amostras de solo							
	E17		E18		E19		E20	
	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido
0 – 10								
10 – 20					-			
20 – 30	-		-	-	-		-	
90 – 100	-		-	-	-		-	

Figura A10b. Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro da APA Córrego efêmero circunvizinha a área de plantio na unidade de produção (UP2) localizada em Pedro Afonso – TO.



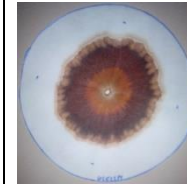

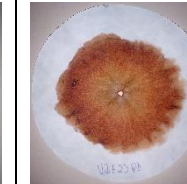



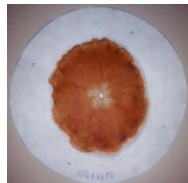

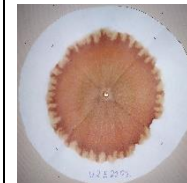

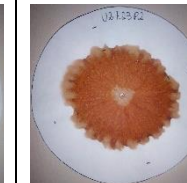


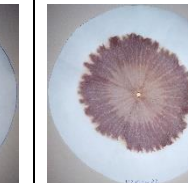
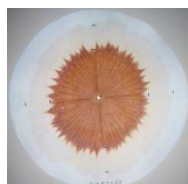

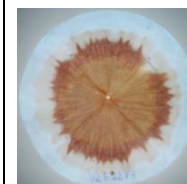
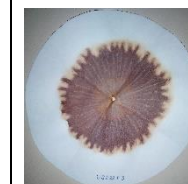
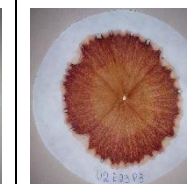

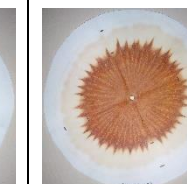
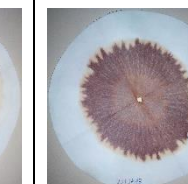

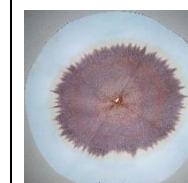

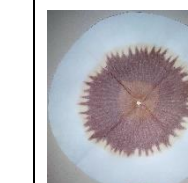
Profundidade do solo, cm	Estações de coleta das amostras de solo							
	E21		E22		E23		E24	
	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido
0 – 10								
10 – 20								
20 – 30								
90 – 100	-		-		-		-	

Figura A10c. Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro do Talhão de plantio 02 na unidade de produção (UP2) localizada em Pedro Afonso – TO.


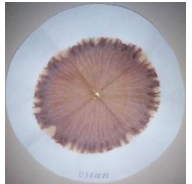

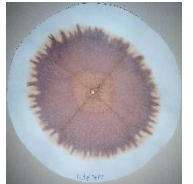

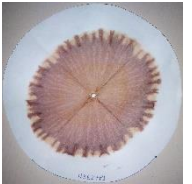


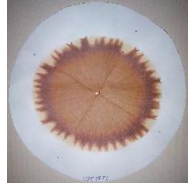



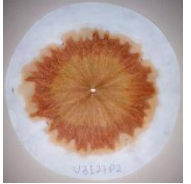


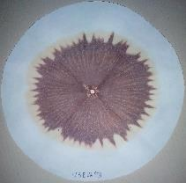

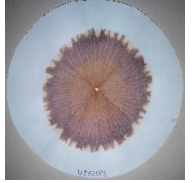
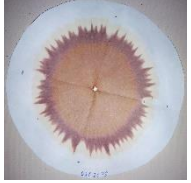

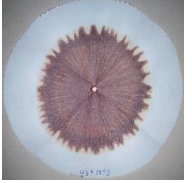
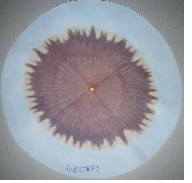
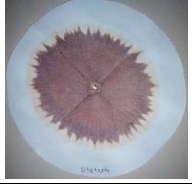
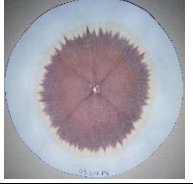

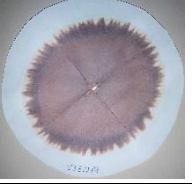
Profundidade do solo, cm	Estações de coleta das amostras de solo							
	E25		E26		E27		E28	
	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido
0 – 10								
10 – 20								
20 – 30					-		-	
90 – 100	-		-		-		-	

Figura A11a. Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro do Talhão de plantio 01 na unidade de produção (UP3) localizada em Porto Nacional – TO.



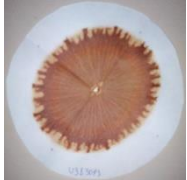






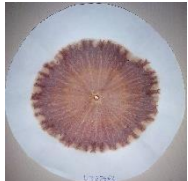

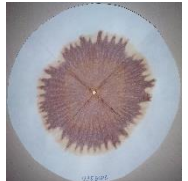

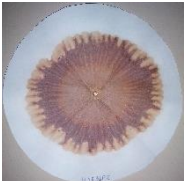

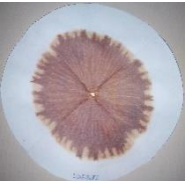

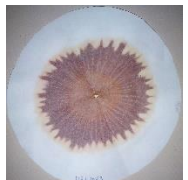


Profundidade do solo, cm	Estações de coleta das amostras de solo							
	E29		E30		E31		E32	
	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido
0 – 10								
10 – 20								
20 – 30	-		-		-		-	
90 – 100	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura A11b. Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro da Reserva ambiental circunvizinha a área de plantio na unidade de produção (UP3) localizada em Porto Nacional – TO.










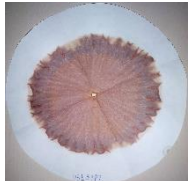

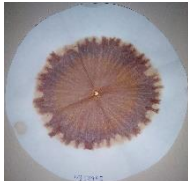

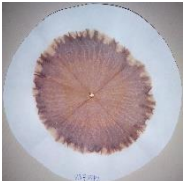


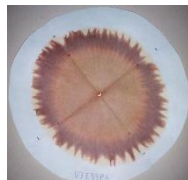


Profundidade do solo, cm	Estações de coleta das amostras de solo							
	E33		E34		E35		E36	
	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido	Período seco	Período úmido
0 – 10								
10 – 20								
20 – 30		-	-	-		-		-
90 – 100	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura A11c. Comportamento da atividade microbiana do solo, por cromatografia plana, dentro de uma Fragmentação antrópica posicionada no centro do Talhão de plantio 01 na unidade de produção (UP3) localizada em Porto Nacional – TO.

8.3 Publicação

Journal of Agricultural Science; Vol. 11, No. 1; 2019
ISSN 1916-9752 E-ISSN 1916-9760
Published by Canadian Center of Science and Education

Anthropic Impacts on Microbiota and Chemical Properties of Cerrado Soil Through Soybean Cultivation

J. Henrique^{1,2}, J. M. R. da Luz³, J. J. Carvalho^{1,2,4}, J. G. D. Silva^{1,2}, J. E. C. Silva¹ & E. A. dos Santos⁴

¹ Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, Brazil

² Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, TO, Brazil

³ Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brazil

⁴ Instituto Federal do Tocantins, Palmas, TO, Brazil

Correspondence: J. E. C. Silva, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, Brazil. Tel: 55-063-3232-8007.
E-mail: jecs@mail.uft.edu.br

Received: August 30, 2018

Accepted: October 23, 2018

Online Published: December 15, 2018

doi:10.5539/jas.v11n1p274

URL: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n1p274>

Abstract

Population growth and improved gross domestic product may increase food consumption. Soybean is the main source of protein, lipids and mineral salts for human and domestic animals' foods. Brazil is responsible of most of the soybeans produced in the world. However, soybean production in Tocantins/Brazil state caused a decrease in the Cerrado's biome. Therefore, the aim of this study was to evaluate the anthropic impact of planting of soybean on microbial and physical-chemical properties of Cerrado's soil. Soil samples were collected in three soybean farms (SF) of the Tocantins/Brazil state. They were collected in the soybean field, in native vegetation field, and in anthropogenic fragmentation area in the dry and wet seasons. The diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and nitrogen-fixing bacteria (NFB) were analyzed by denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE). Regardless of the SF, physico-chemical indicators did not present significant differences between the seasons. The DGGE profiles of NFB and AMF genes were different between the soybean field and native vegetation field in both seasons. The viable cells counts and NFBs and AMFs diversity were influenced by the substitution of native vegetation for soybean. The increase of the agricultural production in Cerrado soil is worrisome, due to the endemic microorganisms that was observed in this study. In addition, anthropic action on the microbial community was more effective in the soybean field during the dry season, which showed the importance of maintaining an environmental reserve area within agricultural production units.

Keywords: environmental impacts, mycorrhizal, nitrogen-fixing bacteria, soil resistance, native vegetation

Qualis Capes: B2

Fator de Impacto: 2.28