



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA - POSGRAP
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E
MEIO AMBIENTE - PRODEMA**

JUSIMARA DE ANDRADE SANTOS

**QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS CONVENCIONAL E
CONSERVACIONISTA NA PRODUÇÃO DE MILHO VERDE NOS TABULEIROS
COSTEIROS**

**SÃO CRISTÓVÃO - SE
2023**

JUSIMARA DE ANDRADE SANTOS

**QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS CONVENCIONAL E
CONSERVACIONISTA NA PRODUÇÃO DE MILHO VERDE NOS TABULEIROS
COSTEIROS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Alceu Pedrotti

Coorientador: Prof. Dr. Francisco Sandro Rodrigues Holanda

**SÃO CRISTÓVÃO – SE
2023**

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S237q Santos, Jusimara de Andrade.
Qualidade do solo em sistemas convencional e conservacionista na produção de milho verde nos tabuleiros costeiros / Jusimara de Andrade Santos; orientador Alceu Pedrotti. – São Cristóvão, SE, 2023.
117 f.

Dissertação (mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)
– Universidade Federal de Sergipe, 2023.

1. Solos - Qualidade. 2. Solos - Análise. 3. Milho - Cultivo. 4. Estrutura do solo. 5. Solos - Conservação. 6. Proteção do solo. I. Pedrotti, Alceu, orient. II. Título.

CDU 631.422(813.7)

JUSIMARA DE ANDRADE SANTOS

**QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS CONVENCIONAL E
CONSERVACIONISTA NA PRODUÇÃO DE MILHO VERDE NOS TABULEIROS
COSTEIROS**

Aprovado em 26 de Abril de 2023

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe, como exigência para obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. TIAGO BARRETO GARCEZ
Universidade Federal de Sergipe – Departamento de Engenharia Agrônômica do Sertão -
DEAS
Examinador Externo

Prof. Dr. RAIMUNDO RODRIGUES GOMES FILHO
Universidade Federal de Sergipe – Departamento da Engenharia Agrícola-DEAGRI
Examinador Interno

Prof. Dr. ALCEU PEDROTTI
Universidade Federal de Sergipe – Departamento de Engenharia Agrônômica - DEA
Presidente – Orientador

Prof. Dr. FRANCISCO SANDRO RODRIGUES HOLANDA
Universidade Federal de Sergipe – Departamento de Engenharia Agrônômica -DEA
Coorientador

**SÃO CRISTÓVÃO - SE
2023**

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente concluído no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Prof. Dr. Alceu Pedrotti – Orientador
Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe – UFS

É concedido ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS) responsável pelo Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente permissão para disponibilizar, reproduzir cópia desta Dissertação e emprestar tais cópias.

Jusimara de Andrade Santos
Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe – UFS

Prof. Dr. Alceu Pedrotti – Orientador
Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe - UFS

Prof. Dr. Francisco Sandro Rodrigues Holanda
Departamento de Engenharia Agrônômica - DEA
Universidade Federal de Sergipe - UFS

Aos meus pais João e Maria, pelo amor incondicional e ao meu esposo Danilo Gois, pelo companheirismo ao longo dessa jornada, pois sem vocês este e muitos dos meus sonhos não se realizariam.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação de mestrado contou com importantes apoios e incentivos sem os quais não se teria tornado uma realidade e aos quais estarei eternamente grata.

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e coragem que me guiou todos os dias até a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Professor Dr. Alceu Pedrotti, por ter acreditado na profissional que sou, total apoio, disponibilidade, pelo saber que transmitiu, pelas opiniões e críticas por vezes duras, total colaboração desde trabalho e por todas as palavras de incentivo. Meus sinceros agradecimentos.

Ao meu coorientador, Professor Dr. Francisco Sandro Rodrigues Holanda, por toda orientação, sempre muito solícito, agradeço por me ensinar a ter base na pesquisa científica.

Aos alunos de iniciação científica e amigos do Laboratório de Fitorremediação da UFS - LAFITO, pela companhia e colaboração, porque sem eles não seria possível a realização deste trabalho.

Estendo minha gratidão à Brisa, por compartilhar o dia a dia da vivência das atividades do LAFITO, e na troca de experiências e auxílio na condução dos experimentos de campo e laboratoriais.

Ao Professor e amigo Diego Vidal, pela clareza e total disponibilidade na colaboração do tratamento estatístico dos resultados e solucionar problemas e dúvidas que foram surgindo ao longo desta investigação.

A todos os professores do PRODEMA por me apresentar o mundo dos conhecimentos interdisciplinares.

A todos os funcionários do Campus Rural por viabilizar a condução do experimento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA e a Universidade Federal de Sergipe pela oportunidade de cursar o Mestrado.

Agradeço a minha família por todo amor e compreensão nos momentos que estive ausente, em especial aos meus pais por me motivarem todos os dias durante esta etapa.

Ao meu esposo Danilo Gois, a quem tenho muito a agradecer pela compreensão nas ausências, e total apoio para conclusão desta etapa da minha vida.

A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

Muito Obrigada !

RESUMO

O cultivo do milho verde representa uma atividade de grande valor econômico e social para os agricultores familiares do estado de Sergipe. No entanto, o manejo inadequado do solo tem gerado destruição da estrutura do solo, diminuição da produtividade e rentabilidade das culturas, atreladas à degradação ambiental. Atributos físicos como a densidade, resistência mecânica à penetração, estabilidade de agregados ligada diretamente à estabilidade da estrutura do solo, assim como, o Teor de carbono orgânico são parâmetros importantes que sinalizam para os impactos do uso e manejo do solo. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade estrutural do solo e a produtividade do milho verde de um Argissolo Vermelho Amarelo do Tabuleiro Costeiro sob diferentes preparos do solo e culturas antecedentes em experimento de longa duração (22 anos) na cidade de São Cristóvão-SE (10°55'24''S e 37°11'57''W). Para tanto determinou-se os parâmetros físicos do solo: densidade e resistência mecânica à penetração (RMP); a Qualidade estrutural do solo (Qe); o Índice de Cobertura Vegetal (ICV) e a produtividade agrícola do milho verde em três sistemas de preparo de solo (Cultivo Convencional-CC; Cultivo Mínimo-CM e Plantio Direto-PD) associado a quatro culturas antecedentes (feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), crotalária (*Crotalaria juncea*), feijão guandu (*Cajanus cajan*) e milheto (*Pennisetum glaucum*)). Os resultados indicaram que o sistema de CM quando associado ao Guandu apresentou maior produtividade sob o tratamento nitrogenado. O Caupi/CM apresentou a menor resistência mecânica à penetração enquanto os maiores valores foram obtidos na interação Crotalária/CC. Verificou-se ainda que os sistemas de cultivo alteraram a concentração COS, conferindo diferentes Qe. Os resultados demonstram que o uso de sistemas conservacionistas devem ser priorizados quando se visa a sustentabilidade agrícola por longo período, não sendo recomendado o preparo convencional, pois este foi considerado insustentável quando associado a baixa qualidade estrutural e produtividade agrícola.

Palavras-Chave: *Zea mays* L., sistema de conservação, estrutura do solo, culturas antecedentes, produtividade.

ABSTRACT

The cultivation of green corn represents an activity of great economic and social value for family farmers in the state of Sergipe. However, inadequate soil management has generated destruction of soil structure, reduced productivity and profitability of crops, linked to environmental degradation. Physical attributes such as density, mechanical resistance to penetration, aggregate stability directly linked to the stability of the soil structure, as well as the organic carbon content are important parameters that signal the impacts of soil use and management. The objective of this work is to evaluate the physical parameters of the soil, the content and stock of organic carbon in the soil, the structural quality, the vegetation cover of the soil and the productivity of green corn in a Red Yellow Argisol of the Coastal Tableland under different soil preparations. soil and antecedent cultures in a long-term experiment (22 years) in the city of São Cristóvão-SE (10°55'24"S and 37°11'57"W). For that, the physical parameters of the soil were determined: density and mechanical resistance to penetration (RMP); the structural quality of the soil (Qe); the Vegetation Cover Index (ICV) and the agricultural productivity of green corn in three soil preparation systems (Conventional Cultivation-CC; Minimum Cultivation-CM and Direct Sowing-PD) associated with four antecedent crops (cowpea (*Vigna unguiculata*), sunn hemp (*Crotalaria juncea*), pigeonpea (*Cajanus cajan*) and millet (*Pennisetum glaucum*)). Yield was determined in the number of commercial ears of green corn produced and other productivity parameters such as number of plants, weight, diameter and length of commercial ears; the stability of aggregates was determined by the standard method of Yoder (1936) adapted; the Qe was determined following the adapted method of Ball (2007) and the ICV was determined following the method described by Stocking (1988) with adaptations. The results indicated that the CM system had a greater number of commercial ears, when compared to the CC and PD, and the highest productivity was observed when the CM was combined with the previous culture of Guandu/CM (12,722 ears/ha) under the treatment nitrogenous. The lowest soil density was verified in the CM associated with Guandu for the two depths (0-10 and 10-20 cm) from the soil to the Cowpea step, which also presented the lowest density value. Cowpea/CM showed the lowest mechanical resistance to penetration (0.44 MPa) while the highest values were obtained in *Crotalaria*/CC interaction (0.83 MPa). It was also verified that the cultivation systems altered the COS concentration, conferring different Qe. The best Qe was conferred by PD/*Crotalaria*. The results show that the use of conservationist systems should be prioritized when aiming at long-term agricultural sustainability, not recommending conventional tillage, as this was considered unsustainable when associated with low structural quality and agricultural productivity.

Keywords: *Zea mays* L., conservation system, soil structure, antecedent crops, productivity.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados dos parâmetros da Estatística descritiva dos valores de densidade de um Argissolo nas camadas 0-10 e 10-20 cm, submetido a três sistemas de preparo do solo e quatro culturas antecedentes ao cultivo do milho, na safra agrícola de 2022.....	50
Tabela 2 - Dados dos parâmetros da Estatística descritiva dos valores observados de resistência mecânica à penetração de um Argissolo, nas camadas 0-10 e 10-20 cm, submetido a três sistemas de preparo do solo e quatro culturas antecedentes ao cultivo do milho, na safra agrícola de 2022.	Erro! Indicador não definido.
Tabela 3 - Dados dos parâmetros de Umidade do solo, média de 3 repetições nas camadas 0-10 e 10-20 cm, submetido a três sistemas de preparo do solo e quatro culturas antecedentes ao cultivo do milho, na safra agrícola de 2022.	54
Tabela 4 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do preparo convencional do solo associado às culturas antecedentes no parâmetro de produtividade do milho verde determinada pelo número de espigas comerciais com tratamento nitrogenado (100% N - sem inoculação) a partir do parâmetro da densidade do solo.	68
Tabela 5 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do preparo convencional do solo associado às culturas antecedentes no parâmetro de produtividade do milho verde determinada pelo número de espigas comerciais com tratamento inoculado (100% N - com inoculação) a partir do parâmetro da densidade do solo.	69
Tabela 6 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do Plantio Direto associado às culturas antecedentes no parâmetro de produtividade do milho verde determinada pelo número de espigas comerciais com tratamento nitrogenado (100% N - sem inoculação) a partir do parâmetro da densidade do solo.	69
Tabela 7 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do Plantio Direto associado às culturas antecedentes no parâmetro de produtividade do milho verde determinada pelo número de espigas comerciais com tratamento inoculado (100% N - com inoculação) a partir do parâmetro da densidade do solo.	70
Tabela 8 - Valores dos parâmetros de Estatística descritiva dos valores do Teor de carbono orgânico do solo (COS) e o Estoque de Carbono (EC) em diferentes preparos do solo e culturas antecedentes ao cultivo de milho verde na safra agrícola 2022.	56
Tabela 9 - Coeficiente de correlação de Pearson entre os parâmetros de densidade (DS); resistência mecânica à penetração (RMP); carbono orgânico do solo (COS); estoque de carbono (EC); número de plantas (NP); altura de plantas (NA); número de espigas comerciais (NEC); diâmetro espiga comercial (DEC); comprimento espigas comerciais (CEC); tratamento nitrogenado (N) e tratamento inoculado (I). Nota: *= $p < 0,05$; **= $p < 0,01$	67
Tabela 10 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência dos sistemas de preparo do solo sob culturas antecedentes na produtividade do milho com tratamento nitrogenado a partir do estoque do estoque de carbono orgânico.	71
Tabela 11 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência dos sistemas de preparo do solo sob as culturas antecedentes na produtividade do milho com tratamento inoculado a partir do estoque de carbono orgânico.	72
Tabela 12 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência dos sistemas de preparo do solo sob as culturas antecedentes na produtividade do milho com tratamento nitrogenado a partir do estoque de carbono orgânico.	72
Tabela 13 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência dos sistemas de preparo do solo sob as culturas antecedentes na produtividade do milho com tratamento inoculado a partir do estoque de carbono orgânico.	73
Tabela 14 - Dados dos Parâmetros da Estatística descritiva dos valores de Diâmetro médio geométrico (DMG) e Diâmetro médio ponderado (DMP) de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe, nas camadas 0-10 e 10-20 cm, submetido a três sistemas de preparo do solo e quatro culturas antecedentes ao cultivo do milho, na safra agrícola de 2022.	89

Tabela 15 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo mínimo no Índice de cobertura vegetal a partir do DMG à profundidade de 0 - 10 cm.....	92
Tabela 16 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao plantio direto no Índice de cobertura vegetal a partir do DMG à profundidade de 0 - 10 cm.....	93
Tabela 17 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo mínimo no Índice de cobertura vegetal a partir do DMG à profundidade de 0 - 10 cm.....	93
Tabela 18 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao plantio direto no Índice de cobertura vegetal a partir do DMP à profundidade de 0 - 10 cm.....	94
Tabela 19 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo convencional na RMP (0-10 cm) a partir do DMG à profundidade de 0 -10 e 10-20 cm.	95
Tabela 20 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo convencional na RMP (10-20 cm) a partir do DMG à profundidade de 0-10 e 10-20 cm.....	96
Tabela 21 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo mínimo na RMP (0-10 cm) a partir do DMP à profundidade de 0- 10 e 10-20 cm.....	96
Tabela 22 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo mínimo na RMP (10-20 cm) a partir do DMG a profundidade de 0-10 e 10-20 cm.....	97
Tabela 23 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo mínimo na RMP (10-20 cm) a partir do DMP a profundidade de 0-10 e 10-20 cm.....	98
Tabela 24 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo convencional na produtividade do milho verde sob tratamento nitrogenado a partir do DMG a profundidade de 0-10 e 10-20 cm na safra agrícola de 2022.	99
Tabela 25 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo mínimo na produtividade do milho verde sob tratamento inoculado a partir do DMG a profundidade de 0-10 e 10-20 cm na safra agrícola de 2022.....	99
Tabela 26 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo mínimo na produtividade do milho verde sob tratamento inoculado a partir do DMP a profundidade de 0-10 e 10-20 cm na safra agrícola de 2022.	99
Tabela 27 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao Plantio Direto na produtividade do milho verde sob tratamento nitrogenado a partir do DMG a profundidade de 0-10 e 10-20 cm na safra agrícola de 2022.	100
Tabela 28 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao Plantio Direto na produtividade do milho verde sob tratamento nitrogenado a partir do DMP a profundidade de 0-10 e 10-20 cm na safra agrícola de 2022.....	101
Tabela 29 - Dados dos Parâmetros da Estatística descritiva dos valores de Índice de Qualidade estrutural do solo submetido a três sistemas de preparo do solo e quatro culturas antecedentes ao cultivo do milho, na safra agrícola de 2022.	102
Tabela 30 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência da qualidade estrutural de um Argissolo Vermelho Amarelo dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe, na produtividade do milho submetido ao Sistemas de Preparo do solo convencional e diferentes culturas antecedentes na safra agrícola de 2022.	105
Tabela 31 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência da qualidade estrutural de um Argissolo Vermelho Amarelo dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe, na produtividade do milho submetido ao sistema de preparo do solo mínimo e diferentes culturas antecedentes na safra agrícola de 2022.....	105

Tabela 32 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência da qualidade estrutural de um Argissolo Vermelho Amarelo dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe, na produtividade do milho submetido ao sistema de Plantio Direto e diferentes culturas antecedentes na safra agrícola de 2022.	106
Tabela 33 - Dados dos parâmetros da Estatística descritiva dos valores do Índice de Cobertura Vegetal do solo avaliada submetido a três sistemas de preparo do solo e quatro culturas antecedentes ao cultivo do milho, na safra agrícola de 2022.	107
Tabela 34 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do estoque de carbono nas profundidades de 0-10 cm e 10 a 20 cm submetido ao cultivo convencional associado às culturas antecedentes no Índice de cobertura vegetal.	108
Tabela 35 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do estoque de carbono nas profundidades de 0-10 cm e 10 a 20 cm submetido ao cultivo mínimo associado às culturas antecedentes no Índice de cobertura vegetal.	108
Tabela 36 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do estoque de carbono nas profundidades de 0-10 cm e 10 a 20 cm submetido ao plantio direto associado às culturas antecedentes no Índice de cobertura vegetal.	108
Tabela 37 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do índice de cobertura vegetal (ICV) submetido ao cultivo convencional associado às culturas antecedentes na produtividade do milho sob tratamento nitrogenado e inoculado na safra agrícola de 2022.	109
Tabela 38 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do índice de cobertura vegetal (ICV) submetido ao cultivo mínimo associado às culturas antecedentes na produtividade do milho sob tratamento nitrogenado e inoculado na safra agrícola de 2022.	110
Tabela 39 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do índice de cobertura vegetal (ICV) submetido ao Plantio direto associado às culturas antecedentes na produtividade do milho sob tratamento nitrogenado e inoculado na safra agrícola de 2022.	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resistência mecânica à penetração ao longo do perfil do solo para diferentes sistemas de preparos de solo: a) Cultivo Convencional (CC), b) Cultivo Mínimo (CM) e c) Plantio direto (PD) associados às culturas antecedentes: feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i>), crotalária (<i>Crotalaria juncea</i>), feijão guandu (<i>Cajanus cajan</i>) e milheto (<i>Pennisetum glaucum</i>) média de 15 repetições na profundidade de 0,00-0,40m ao cultivo do milho na safra agrícola de 2022.....	53
Figura 2 - Número de espigas comerciais de milho verde cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo associado ao uso de culturas antecedentes e adubação total nitrogenada ou inoculada com <i>Azospirillum brasilense</i> na safra agrícola de 2022.	59
Figura 3 - Número de Plantas de milho cultivado sob diferentes preparos do solo associado ao uso de culturas antecedentes e adubação nitrogenada e inoculada com <i>Azospirillum brasilense</i> na safra agrícola de 2022.	61
Figura 4 - Peso de espigas comerciais de milho verde cultivado sob diferentes preparos do solo associado ao uso de culturas antecedentes e adubação nitrogenada e inoculada com <i>Azospirillum brasilense</i> na safra agrícola de 2022.	62
Figura 5 - Diâmetro de espigas comerciais de milho verde cultivado sob diferentes preparos do solo associado ao uso de culturas antecedentes e adubação nitrogenada e inoculada com <i>Azospirillum brasilense</i> na safra agrícola de 2022.....	63
Figura 6 - Comprimento de espigas comerciais de milho verde cultivado sob diferentes preparos do solo associado ao uso de culturas antecedentes e adubação nitrogenada e inoculada com <i>Azospirillum brasilense</i> na safra agrícola de 2022.....	65
Figura 7 - (a) Amostra peneirada em malha de 8 mm e retida em malha de 4,75 mm para análise e (b) Agregados de solo retido em diferentes peneiras após agitação em água e (c) Amostra transferida para a lata de peso conhecido.....	86
Figura 8 - (a) Coleta de amostra de solo em campo e (b) Carta de avaliação visual da estrutura do solo.	87
Figura 9 - (a) Aparato e (b) Visadas referentes aos valores de 0, 0,25, 0,5, 0,75 e 1.....	88
Figura 10 - Blocos de solo coletados para a avaliação visual qualitativa da estrutura do solo em campo.	102
Figura 11 - Presença de macrofauna e raízes nos agregados do solo observados na avaliação visual qualitativa da estrutura do solo em campo.	104

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C	Carbono
CA	Culturas Antecedentes
CC	Cultivo Convencional
CM	Cultivo Mínimo
COS	Carbono Orgânico do Solo
COT	Carbono Orgânico Total
DMG	Diâmetro Médio Geométrico
DMP	Diâmetro Médio do Peso
EC	Estoque de Carbono
ICV	Índice de Cobertura Vegetal
MO	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
NEC	Número de Espigas Comerciais
NP	Número de Plantas
NPK	Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K)
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis
ONU	Organização das Nações Unidas
PD	Plantio Direto
PEC	Peso das Espigas Comerciais
QE	Qualidade Estrutural
RMP	Resistência Mecânica do solo a Penetração
VESS	<i>Visual Evaluation of Soil Structure</i>
VSA	<i>Visual Soil Assessment</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	18
CAPÍTULO 1 - MUDANÇAS NA ESTRUTURA DO SOLO E A PRODUTIVIDADE DO MILHO VERDE EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO	21
1.1. AGRICULTURA SUSTENTÁVEL	21
1.2. A PRODUÇÃO DE MILHO VERDE EM SERGIPE	24
1.3. SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO	25
1.4. CULTURAS ANTECEDENTES	28
1.5. COMPACTAÇÃO DO SOLO.....	29
1.6. AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO SOLO	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
CAPÍTULO 2 - EFEITO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NA PRODUTIVIDADE DO MILHO (<i>Zea mays</i> L) SOB SISTEMAS CONVENCIONAL E CONSERVACIONISTAS	42
2. INTRODUÇÃO	44
2.1 MATERIAIS E MÉTODOS	45
2.1.1 Descrição da área	45
2.1.2 Delineamento Experimental.....	46
2.1.3 Coleta e Análise de Dados	47
2.1.4 Análise Estatística	48
2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
2.2.1 Indicadores Físicos.....	48
2.2.2 Estoque de Carbono.....	55
2.2.3 Produtividade do milho verde.....	59
2.3 CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
CAPÍTULO 3 – ESTRUTURA DE UM ARGISSOLO SOB DIFERENTES USOS E COBERTURA VEGETAL NA PRODUTIVIDADE DO MILHO (<i>Zea mays</i> L).....	81
3. INTRODUÇÃO	83
3.1 MATERIAIS E MÉTODOS	84
3.1.1 Descrição da área	84
3.1.2 Delineamento Experimental.....	84
3.1.3 Coleta do solo e procedimentos analíticos.....	86
3.1.4 Análise Estatística	88
3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
3.2.1 Estabilidade de Agregados	89
3.2.2 Qualidade Estrutural do Solo	101
3.2.3 Índice de Cobertura Vegetal.....	106

3.3 CONCLUSÕES	111
REFERÊNCIAS	112
CONCLUSÕES GERAIS	115
APÊNDICE A	116
APÊNDICE B	118

INTRODUÇÃO GERAL

O principal desafio da agricultura é a produção de alimentos para a humanidade com menor impacto ambiental, associado ao reduzido consumo de insumos. Adicionalmente, é necessário o desenvolvimento de tecnologias que propiciem o uso racional desses recursos.

Ademais, é essencial que a agricultura sirva como um vetor para o desenvolvimento sustentável. Este trabalho está alinhado com os seguintes Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS): a) ODS 2: Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e b) ODS 12: promover a agricultura sustentável incluindo a melhoria da produtividade agrícola e renda de pequenos produtores de alimentos e a implementação de práticas agrícolas resilientes, estão entre as ações propostas pela Organização das Nações Unidas para garantir sistemas de produção agrícola sustentáveis (MENDOZA-FERN et al., 2021).

Em busca de uma agricultura sustentável e alinhada aos objetivos da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), que tem como um dos dezessete objetivos o consumo e produção responsáveis, a adoção de sistemas conservacionistas do solo e a manutenção dos resíduos vegetais sob o solo é uma realidade inquestionável, e os efeitos benéficos da adoção de sistemas conservacionistas podem ser verificados no solo com reflexos positivos na produtividade das culturas.

O Brasil para atender à crescente demanda mundial por alimentos, com sustentabilidade ambiental, econômica e social, passa pelo desenvolvimento e adoção de tecnologias para aumentar a produtividade das culturas agrícolas e a eficiência de uso dos insumos e dos recursos ambientais. Dentre as tecnologias, aquelas relacionadas ao manejo e conservação do solo merecem atenção especial por influenciarem fortemente a capacidade de produção das culturas.

Nos estabelecimentos rurais brasileiros, uma das atividades agrícolas que tem apresentado incremento na produção, devido ao uso de tecnologias é o cultivo do milho (PACHECO et al., 2017). Em Sergipe, o cultivo do milho praticada principalmente por agricultores familiares que produzem para o consumo doméstico, consumido em espigas de milho verde em diferentes pratos tradicionais do nordeste. Entretanto, o cultivo do milho verde ocorre preponderadamente de modo convencional, com a utilização intensiva do solo que quando não feitos de maneira racional tendem a propiciar cenário de erosão, perda de estrutura e de fertilidade natural dos solos cultivados, diminuindo a sua capacidade produtiva e, conseqüentemente, aumenta-se a dependência de fertilizantes minerais e orgânicos, o que

onera os custos de produção e diminui a sustentabilidade das explorações nesse sistema de produção.

As tecnologias utilizadas pela maioria dos produtores não envolvem práticas conservacionistas, que são combinações de uso e manejo do solo resultando na sua proteção contra a degradação natural ou antrópica, visando a otimização do potencial produtivo das culturas agrícolas. Neste sentido, é necessário o desenvolvimento de técnicas que permitam que a agricultura seja sustentável no longo prazo e adequadas às características específicas dos solos tropicais inclusive os do Nordeste Brasileiro, devido a sua baixa fertilidade natural, o baixo teor de matéria orgânica e capacidade de retenção de água e de nutrientes para as plantas.

Portanto, melhorar a qualidade do solo, especialmente o acúmulo de carbono orgânico e agregação do solo através de alternativas econômica e ambientalmente sustentáveis adequadas as condições edafoclimáticas do local é uma necessidade da produção agrícola sustentável.

Partindo dos seguintes questionamentos:

Os sistemas de manejo conservacionistas do solo contribuem com maior conteúdo de carbono orgânico?

Os sistemas conservacionistas aumentam qualidade física do solo?

A metodologia de avaliação visual da qualidade estrutural do solo apresenta viabilidade no monitoramento e na distinção entre sistemas de cultivo?

A cobertura vegetal por culturas antecedentes em sistema conservacionista do solo propicia melhorias das propriedades físicas do solo e intensificam a produtividade do milho verde?

Assim o presente trabalho tem como hipótese: Sistemas Conservacionistas melhoram a qualidade do solo resultando em aumento na produtividade da cultura do milho. E como objetivo geral: Avaliar os parâmetros físicos e químicos do solo e seus efeitos na produtividade do milho verde com adubação nitrogenada e inoculada sob preparos de solo associado às culturas antecedentes em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico na região dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe.

Para atingir o objetivo geral, decorrem-se como necessários os seguintes objetivos específicos:

- a) Comparar a resistência mecânica à penetração, a densidade, o teor e estoque de carbono orgânico e a estabilidade de agregados do solo cultivado com milho verde sob preparos do solo e culturas antecedentes;

- b) Avaliar a associação entre os diferentes preparos do solo e culturas antecedentes na qualidade estrutural do solo identificada pela VESS;
- c) Determinar o Índice de cobertura vegetal do solo proporcionado pelas culturas antecedentes nos diferentes sistemas de preparo do solo;
- d) Avaliar a produtividade do milho verde em preparos do solo e culturas antecedentes.

Essa dissertação é constituída dos seguintes capítulos: Capítulo 1, composto de uma revisão de literatura sobre os aspectos influentes no sistema de produção do milho; no Capítulo 2, testou-se a hipótese de que os sistemas conservacionistas podem contribuir com menor compactação do solo. Para isso, determinou-se a resistência mecânica do solo a penetração, a densidade, e o teor de carbono orgânico no solo sob diferentes sistemas de preparo de solo (cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto) associado as culturas antecedentes (feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), Crotalária (*Crotalaria juncea*), feijão guandu (*Cajanus cajan*) e Milheto (*Pennisetum glaucum*)) e sua influência na produtividade do milho verde. Já no Capítulo 3, avaliou-se a estabilidade de agregados (laboratório), avaliação visual da qualidade estrutural do solo (campo) e o índice de cobertura vegetal do solo (campo). Dessa forma foi possível determinar o efeito na estrutura do solo quando cultivado sob sistemas conservacionistas e a sua influência na produtividade do milho verde. Por fim, ao final dos capítulos/artigos científicos apresentam-se a conclusão geral desta pesquisa.

CAPÍTULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA

1.1. AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

A sustentabilidade das terras agrícolas está se tornando cada vez mais importante para a produtividade das culturas, uma vez que a degradação do solo impacta severamente na segurança alimentar. Como solução, as estratégias sustentáveis de manejo do solo nos sistemas agrícolas podem torná-los equilibrados e produtivos, competitivos e sustentáveis ao longo do tempo (WANG, 2022).

Globalmente, a queda da produtividade agrícola, o declínio da fertilidade do solo e a crescente crise ambiental multiplicam os desafios da sustentabilidade agrícola (RADOSAVLJEVIC et al., 2020). Espera-se que a população mundial chegará a 9,1 bilhões em 2050 (ONU, 2017), e a produção de cereais terá que passar de 2,1 bilhões de toneladas para aproximadamente 3 bilhões toneladas para alimentar o mundo (TAMBURINO et al., 2020).

A agricultura sustentável segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), consiste na manutenção ao longo prazo dos recursos naturais e da produtividade agrícola; a promoção do mínimo impacto adversos ao ambiente; retornos adequados aos produtores de forma justa; otimização da produção das culturas com o mínimo de insumos químicos, atendimento das necessidades sociais, famílias e das comunidades rurais (SOUZA et al., 2020).

Em geral para assegurar o desenvolvimento de forma sustentável devem ser consideradas três dimensões: econômica, social e ambiental (os chamados três pilares) (CATAPAN, 2020). Entende-se o Desenvolvimento Sustentável como o caminho (processo) para alcançar a sustentabilidade; ele gira em torno do bem-estar dos seres humanos, enquanto a sustentabilidade é o resultado esperado de longo prazo, constituindo no aspecto qualitativo do sistema, por meio de adaptações culturais e tecnológicas, monitoradas pela operacionalização de indicadores e índices (DAHL, 2012) o status sustentável pode ser alcançado por meio da agricultura conservacionista.

A agricultura conservacionista, reúne um complexo de tecnologias de caráter sistêmico com objetivo de preservar, restaurar ou recuperar os recursos naturais com o manejo integrado do solo, da água e da biodiversidade. A agricultura conservacionista compatibiliza insumos externos, podendo ser como caminho viável e necessário para que o produtor rural garanta a eficiência e a rentabilidade da produção e ainda preserve o meio ambiente

(EMBRAPA, 2019). A agricultura de conservação adequadamente implementada pode reverter a degradação do solo, restaurar a qualidade do solo, aumentar a produtividade e promover a segurança alimentar (WANG, 2022).

Ao analisar a busca pela sustentabilidade, é importante que os agricultores compreendam sua responsabilidade com o desenvolvimento, pois suas práticas afetam diretamente o meio ambiente, por isso suas ações devem estar pautadas nos princípios da sustentabilidade para alcançar o desenvolvimento sustentável (OLIVEIRA E BERTOLINE, 2022). O conhecimento dos produtores sobre o meio ambiente é um fator indispensável para o desenvolvimento do cultivo sustentável, garantindo a subsistência alimentar, o favorecimento econômico e a exploração adequada dos recursos naturais (GARCÍA et al., 2020).

Dentre os insumos utilizados na produção do milho, destacam-se as adubações nitrogenadas como os principais componentes dos custos de produção, principalmente pela alta responsividade da cultura ao Nitrogênio (N) e pelo alto potencial de aproveitamento do nutriente perdas por volatilização, lixiviação e nitrificação (PELLOSO et al., 2023).

Para satisfazer a melhoria contínua na produtividade do milho, que constitui uma das principais culturas alimentares que sustentam a dieta básica da maioria da população mundial, tem aumentado aceleradamente a demanda por fertilizante sintético à base de N desde o século XX e prevê-se que pelo menos essa demanda dobre até 2050 (LADHA et al., 2022), intensificando maior custo de produção para os agricultores em todo o mundo. Além disso, o uso muitas vezes irracional de fertilizantes nitrogenados tende não só a elevar os custos de produção a níveis não justificáveis do ponto de vista do retorno econômico, mas também de proporcionar maiores riscos de contaminação ambiental, sendo necessário estudos voltados para o uso mais eficiente do N, a fim de aumentar a produtividade das culturas e reduzir os custos com fertilizantes (PELLOSO et al., 2023)

Uma solução oportuna que surge como uma alternativa sustentável, são as fontes biológicas de N para intensificar o N fornecido pelo fertilizante, com a adoção de adubo verde através de leguminosas para aumentar a disponibilidade de N no solo e apoiar o crescimento da cultura, ao mesmo tempo em que auxilia nos esforços para diminuir as externalidades ambientais negativas pelo uso excessivo do fertilizante N (LADHA et al., 2020) e o uso de bactérias diazotróficas, pois pode proporcionar a fixação biológica de nitrogênio e, principalmente, melhorar o aproveitamento dos nutrientes pelas culturas promovendo o seu crescimento (PANKIEVICZ et al., 2021).

Dentre as bactérias diazotróficas capazes de se associar à cultura do milho, destaca-se a espécie *Azospirillum brasilense*, que é a mais estudada para uso em inoculantes agrícolas

para culturas não leguminosas (ZEFFA et al., 2019). A associação com *Azospirillum brasilense* promove melhor crescimento e desenvolvimento nas plantas, por meio da fixação biológica de N, pela alta capacidade de auxiliar na síntese de fitohormônios, como auxinas, giberelinas e citocininas (ZAHEER et al., 2022), além de ter a capacidade de atuar no sistema fisiológico da planta, aumentando a atividade da enzima nitrato redutase melhorando o aproveitamento do N no solo (ZEFFA et al., 2019)

A inoculação com *Azospirillum brasilense* com adubação nitrogenada com 120 kg ha⁻¹ da dose recomendada de N pode melhorar a fisiologia e a morfologia radicular do milho. No entanto, o uso da inoculação não substitui a adubação nitrogenada no milho, mas a inoculação de plantas é uma estratégia eficaz que deve ser aplicada na produção de milho (MARQUES et al., 2023). Embora o N sintético continue sendo, sem dúvida, essencial para garantir o suprimento global de alimentos, é claro que também é desejável a otimização da eficiência de seu uso através de estratégias para aumentar a fonte de N com custos ambientais mais baixos de forma a reduzir a alta dependência na agricultura (UDVARDI et al., 2021).

Outra preocupação global é a gestão do Carbono Orgânico do Solo (COS), porque regula a prestação de serviços ecossistêmicos baseados no solo, como a mitigação das mudanças climáticas e a produção de alimentos (YADAV et al., 2021a) sendo essencial o seu gerenciamento para deter as mudanças climáticas e garantir a segurança alimentar e a funcionalidade do solo. Investigar e entender o impacto das estratégias de manejo do solo e das culturas na dinâmica do COS e sua relação com a produção de alimentos de forma a promover uma produção agrícola mais sustentável e resiliente é uma necessidade.

A produção agrícola depende de vários fatores, entre eles está o solo e sua forma de uso. Diante do cenário atual das explorações antrópicas e degradação do solo e a demanda alimentar crescente é necessário traçar estratégias de busca do equilíbrio na exploração de recursos naturais para alcançar o desenvolvimento sustentável (WANG, 2022). Para tal finalidade, as tecnologias ambientalmente equilibradas e eficaz entre sustentabilidade econômica, ecológica e social são prioridades no contexto da agricultura sustentável (SARKAR et al., 2022) e podem proporcionar o uso racional dos recursos naturais associados a manutenção das condições para altas produtividades agrícolas, contribuindo de forma significativa ao desenvolvimento das regiões agrícolas do País ao desafio de produzir alimentos sem degradar os recursos naturais.

1.2. A PRODUÇÃO DE MILHO VERDE EM SERGIPE

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho. O milho (*Zea mays* L.) é uma planta da família *Poaceae* originária da América Central, é um cereal que se destaca pela grande diversidade genética, adaptando-se em diversos climas, permitindo que seu cultivo seja realizado em todas as partes do mundo (CARDOSO et al., 2021). Sua importância econômica é caracterizada pelas diversas formas de utilização na alimentação humana e animal devido ao seu potencial de produção, composição química e valor nutricional, esta planta é o cereal mais proeminente em todo o mundo, depois do arroz e do trigo (SABRI et al., 2020). O milho pode também, ser utilizado como insumo na fabricação de dezenas de produtos, porém as cadeias produtivas de suínos e aves, consomem entre 70% e 80% da produção nacional (SOUZA, 2020).

Grande parte da produção de milho no Brasil é na forma de grãos. No entanto, a produção de milho para consumo na forma de espigas de milho verde vem despertando interesse de agricultores que vivem próximos dos grandes centros urbanos, haja vista que aumenta cada vez mais a procura desse produto pelo consumidor (MENEGALDO, 2011). No mês de junho, o milho-verde é um dos itens mais procurados pelos consumidores, principalmente na região Nordeste, onde as festas juninas aceleram a procura do milho-verde para elaboração de pratos e especiarias típicas da culinária regional, que tem seu consumo praticamente todo ano (SOUZA, 2020).

A estimativa de produção total de milho em grãos no Brasil é superior a 4.709 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021). A safra 2022/23 tem produção estimada em aproximadamente 127 milhões de toneladas de milho, a colheita do cereal na safra 2022/23 deverá registrar um incremento de 12% em relação ao último ciclo (CONAB, 2022).

Para o cultivo do milho visando a produção comercial de espigas de milho verde, recentemente a produção tem aumentado significativamente, especialmente na Região Nordeste do Brasil, e cultivares específicas podem ser cultivadas praticamente o ano todo principalmente quando se disponibiliza de irrigação na área e de forma escalonada para colheitas semanais e oferta contínua ao mercado (DE ARRUDA et al., 2022). O aumento do consumo do milho verde, produzido na agricultura familiar, vem aumentando de forma significativa no Nordeste em função da sua lucratividade nos últimos anos e tem estimulado sua produção (OLIVEIRA et al., 2020), em função da sua lucratividade e contingente de consumo nos últimos anos (NUNES et al., 2022). Entretanto, não há registro oficial da produção de milho verde no país, sabe-se que em 2018 foram produzidas

9,1 milhões de toneladas no mundo, com produtividade média de 8,1 t ha⁻¹ (SILVA et al., 2021).

A importância da cultura do milho no estado de Sergipe decorre de sua viabilidade econômica, apesar de ser amplamente cultivado como cultura de subsistência. Em relação à média do Nordeste, conforme dados do IBGE, Sergipe é um dos estados que mais territorializou a cultura do milho nos últimos anos. Políticas de financiamento e custos para monoculturas comerciais, incentivo ao desenvolvimento de novas lavouras e incentivo ao uso de novas técnicas agrícolas têm ajudado a consolidar a produção dessa commodity em todo Sergipe (SILVA, 2022). Em Sergipe as perspectivas de colheita são de mais de 5.000 kg/ha, na maioria dos municípios, o que podem contribuir para um ligeiro aumento no volume a ser produzido no estado (CONAB, 2022).

A produtividade do milho depende da eficiência de canalização de carbono e nitrogênio para os grãos e da transformação desses elementos em compostos de reserva, entre outros fatores. Ainda, a escassez de nitrogênio influencia diretamente na capacidade fotossintética das plantas (MARTIN et al., 2011). A principal limitação que afeta a produtividade do milho com maior frequência e intensidade é a disponibilidade hídrica e a irrigação durante a estação seca no Nordeste do Brasil atenua os efeitos da distribuição inadequada das chuvas, sendo uma alternativa para aumentar a produtividade da cultura (SILVA et al., 2020).

Outro fator que pode limitar o desenvolvimento da cultura do milho são as exigências nutricionais que devem ser plenamente satisfeitas, sendo o nitrogênio a exigência mais requerida e em maiores quantidades pela cultura do milho, o que demanda ao produtor aplicação de dosagens excessivas de fertilizantes nitrogenados para garantir uma alta produtividade (LI et al., 2022). Em solos tropicais intemperizados, situação típica da região dos Tabuleiros Costeiros, no Litoral Sergipano, onde os solos são em geral pobres com baixa fertilidade natural (OLIVEIRA, et al., 2020) que associado ao sistema convencional intensifica as exigências desse insumo químico, que além de elevar os custos de produção, prejudicam o meio ambiente pela degradação do solo e outros recursos ambientais (PELLOSO et al., 2023).

1.3. SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO

O preparo do solo consiste nas operações realizadas no próprio solo a fim de proporcionar condições favoráveis de semeadura, germinação e desenvolvimento das culturas,

que quando empregadas corretamente e de forma racional favorecem a alta produtividade. Entretanto, quando realizado o manejo incorreto pode causar a degradação das características físicas do solo (LOPES, 1992). Sua prática envolve a mobilização mecânica da camada árvael do solo, bem como a incorporação de resíduos orgânicos e fertilizantes (SILVA; PEDROTTI; OLIVEIRA JUNIOR, 2011).

O preparo do solo pode ser classificado como preparo convencional ou preparo conservacionista do solo (VIANA, 2006). O preparo convencional do solo consiste na realização de aração, caracterizado pelo preparo primário do solo, mais profunda e grosseira que visa, inicialmente, eliminar ou enterrar as plantas daninhas e os restos culturais visando facilitar o crescimento inicial de raízes e a infiltração de água, e em seguida de gradagens para destorramento e nivelamento do terreno, denominadas de preparo periódico secundário (VIANA, 2006).

O emprego frequente desse preparo do solo, ao longo de vários anos, poderá proporcionar a desestruturação da superfície dos solos, deixando-os mais suscetíveis ao processo de erosão e à formação de impedimentos mecânicos logo abaixo das camadas de solo movimentadas pelos equipamentos, os quais podem interferir no desenvolvimento radicular das culturas, acarretando redução na produtividade e rendimento das plantas (BAUDER et al., 1981). Em contrapartida, a utilização de sistemas conservacionistas de preparo do solo resulta em menor mobilização possível do solo, visando preservar a estrutura do solo, mantendo a superfície do solo com resíduos vegetais entre o período compreendido da colheita anterior e a implantação da cultura seguinte reduzindo acentuadamente a ocorrência de processos erosivos (LOPES, 1992).

Cada operação altera a estrutura do solo, produzindo à redução do tamanho dos agregados e a distribuição deles por classes de tamanho (EMBRAPA, 2021), causando degradação dos atributos do solo (SILVA et al., 2020), como também, a perda de fertilidade devido às perdas por lixiviação dos nutrientes; maior variação de temperatura do solo por falta de cobertura vegetal; aumento do uso de água pela irrigação por possibilidade de escoamento superficial com maior variação temporal da umidade do solo; favorecimento à erosão por falta de cobertura vegetal no solo; maior quantidade de tratos culturais, principalmente capina, o que onera a cultura; elevado tempo de preparo do solo quando comparado com outros sistemas; maior uso de implementos agrícolas, aumentando os custos de produção; aumento da resistência à penetração e da densidade do solo; redução da infiltração de água no solo, do tamanho de agregados e do volume de macroporos que favorecem a compactação (PEDROTTI et al., 2013).

No entanto, quando são cultivados em sistemas conservacionistas como Sistema de Cultivo Mínimo (CM) que consiste em menor revolvimento minimizando a destruição da estrutura do solo devido ao menor impacto causado pelo tráfego do maquinário agrícola e mantendo grande parte dos resíduos vegetais na superfície do solo reduzindo os riscos de compactação e erosão (HE et al., 2021). Além disso, permite economias de combustível e de tempo de operação, quando comparado com ao cultivo convencional (EMBRAPA, 2021), e em Sistema de Plantio Direto (PD), no qual, não faz o uso de implementos de preparo de solo, fundamentado na mínima mobilização do solo. O plantio neste sistema se dá diretamente no solo não revolvido, usando-se semeadoras adubadoras específicas.

A adoção do PD tem gerado resultados positivos na produtividade da cultura do milho pela maior eficiência de produção de espigas por plantas (NUNES et al., 2022). O uso de sistemas conservacionistas aumenta a produtividade e sustentabilidade da produção do milho (YADAV et al., 2021b), pois o sistema proporciona a melhoria de condições físicas do solo (TORRES et al., 2019), condições biológicas (KURM et al., 2023), atributos do solo, que podem aumentar o rendimento das culturas (PEDROTTI et al., 2015), consequentemente, no acúmulo de carbono (FALCÃO et al., 2020). Descobertas sugerem que o PD no cultivo do milho proporciona maior estabilidade de agregado úmido, melhorando a saúde do solo e, portanto, podendo tornar os sistemas de cultivo mais resistentes e sustentáveis neste e em outros agroecossistemas semiáridos (AFSHAR et al., 2022).

O PD tornou-se uma prática importante para alcançar uma produção agrícola sustentável no Brasil, especialmente quando é praticado em combinação com outras práticas de conservação, como a rotação de culturas e restos culturais permanentes na superfície do solo (DERPSCH, 2021; FEBRAPDP, 2021). Em contrapartida ao CC, os sistemas de manejo conservacionistas de solo como o PD e CM, têm sido preconizados porque retêm mais água no solo, favorecendo a manutenção da estrutura, porosidade e aeração, dentre outras condições desejáveis para o crescimento e desenvolvimento das espécies rentáveis economicamente, por exemplo, em virtude do não revolvimento do solo e da manutenção de cobertura morta (PEDROTTI et al., 2013; TELLES et al., 2019) o que melhora ou mantém a qualidade do solo e qualidade ambiental.

No PD, a palha deixada na superfície do solo das culturas de cobertura e adicionada aos resíduos de culturas comerciais cria um ambiente altamente favorável para o crescimento das plantas que ajuda a estabilizar a produção e restaurar ou manter as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo para melhorar sua qualidade. (NASCIMENTO et al., 2021). Ainda segundo os autores, a cobertura vegetal presente no

sistema determina a redução da mobilização de nutrientes favorecendo a entrada da matéria orgânica e a minimização da erosão, o que é indispensável à sustentabilidade e produtividade dos sistemas explorados (TELLES et al., 2019).

Em regiões tropicais com condições edafoclimáticas sistemas conservacionistas como o PD, promovem o equilíbrio ambiental e melhorias na qualidade física do solo mantendo condições eficientes de produção, conferindo alto índice de qualidade estrutural em comparação a sistema convencional (ASSUNÇÃO et al., 2023).

1.4 CULTURAS ANTECEDENTES

As Culturas Antecedentes (CA) pioneiramente chamadas de adubos verdes e após de plantas de cobertura do solo, são espécies vegetais destinadas à cobertura do solo, evitando exposição dos solos às intempéries, além de contribuir para a chamada cobertura morta. A presença de resíduos culturais é uma das principais estratégias de manejo dos solos para proteção e manutenção de níveis elevados da sustentabilidade dos solos, sendo necessário que as culturas antecedentes, de rotação ou sucessão sejam espécies adaptadas às condições edafoclimáticas locais e com boa produção de fitomassa (NASCIMENTO et al., 2021).

Ao ocupar áreas agrícolas durante os períodos de pousio, desempenham papel fundamental na melhoria da qualidade do PD. Além do seu baixo custo, a melhoria dos sistemas de culturas através da sua inserção tem um forte potencial de aumento na produtividade das culturas comerciais em rotação (com ganhos de até 20%), na melhoria da saúde do solo (química, física e biológica), e na ampliação das taxas de sequestro de Carbono (C) nos solos agrícolas (CHERUBIN et al., 2022).

O emprego de CA no sistema de produção aumenta o teor de matéria orgânica no solo e consequentemente o estoque de carbono, que além do efeito na ciclagem de nutrientes também contribui para a adaptação e mitigação de mudanças climáticas causada pelo aumento da emissão de gases de efeito estufa (CHERUBIN et al., 2022). A combinação de CA com a retenção de resíduos da cultura em resposta à estabilidade de agregados, dinâmica do Carbono e produtividade em sistemas de milho e amendoim, foi observado que a melhoria conseguido pode ser através das principais propriedades do solo, tais como o Carbono (ANSARI et al., 2022). A utilização da CA possibilita a redução da lixiviação de nutrientes, possibilitando teoricamente a redução do NPK (Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K)) e consequentemente o custo para a produção de milho (BOULET et al., 2021).

Devido a reciclagem de nutrientes com incorporação de leguminosas, é possível

aumentar consideravelmente a produtividade em resposta a melhorias das principais propriedades de qualidade do solo como o Carbono, disponibilidade de nutrientes (N-P-K), e agregação do solo. Em virtude da retenção de resíduos das culturas que melhoram adicionalmente as entradas de Carbono, particularmente o estoque total de carbono orgânico no solo, que intensifica e melhora a produtividade do sistema (ANSARI et al., 2022).

Em solos compactados as CA melhoram a eficiência do sistema, promovendo a estabilização e conservação do solo, reestruturação e restauração da matéria orgânica e o aumento produtivo agrícola pela liberação de nutrientes nas camadas mais profundas do solo, que modificam suas características para níveis mais desejáveis, além de contribuírem ao surgimento de poros biológicos, aspecto fundamental para as trocas gasosas e permeabilidade do solo (SALOMÃO et al., 2020).

O acúmulo de Carbono orgânico no solo depende do equilíbrio entre a entrada de carbono (resíduos de culturas, exsudatos radiculares, biomassa radicular, etc.) e perdas de carbono (respiração por organismos do solo, erosão, etc.). Também é influenciada pela quantidade de acumulação de resíduos, sua qualidade e taxa de decomposição (CHEN et al., 2020; ALMAGRO et al., 2021), aspectos determinantes para a eficiência de sistemas conservacionistas em regiões tropicais.

No Cerrado brasileiro, culturas como o Milheto (*Pennisetum glaucum*), a Braquiária (*Brachiaria*) e a Crotalária (*Crotalaria juncea*) são as plantas de cobertura mais utilizadas em cultivos isolados ou consorciados, pois apresentam alta produção de palha e ciclagem de nutrientes, melhorando a qualidade do solo (NUNES et al., 2022). No entanto, os benefícios das culturas de cobertura variam dependendo do tipo de cobertura escolhido (CONGRA et al., 2022). Em região Tropical brasileira, como no Tabuleiro Costeiro de Sergipe, o uso do Milheto como CA ao plantio comercial do milho associado ao PD promoveu os maiores níveis de qualidade estrutural (ASSUNÇÃO et al., 2023).

1.5 COMPACTAÇÃO DO SOLO

O manejo inadequado do solo e a diminuição da cobertura vegetal provocam alterações nas suas características físicas, modificando sua capacidade produtiva. Um dos agentes que degradam a qualidade estrutural do solo que está sempre em estudo é a compactação, principalmente em agricultura altamente mecanizada, ocasionada especialmente pelo tráfego de máquinas pesadas nas lavouras e pisoteio de gado (XIONG et al., 2020; ANDOIGNINI et al., 2020; REICHERT, 2021; OR et al., 2021). A compactação excessiva caracteriza-se por

aumento da densidade do solo, redução da macroporosidade e aumento na resistência do solo à penetração (NGOLO, 2019).

A preocupação com a compactação do solo aumentou concomitantemente com o aumento gradual no tamanho e peso das máquinas e implementos agrícolas e com seu uso frequente no preparo a cada sistema produtivo, e o solo passou a receber maior pressão, e quando associado ao uso inadequado (em condições de solo muito úmido e, continuamente, na mesma profundidade e direção, somada ao tráfego intenso de máquinas agrícolas) resulta no aumento da compactação e, conseqüentemente, a diminuição da produtividade das culturas (REICHERT, 2021).

O solo compactado reduz a qualidade do grão de milho devido à redução da absorção de nitrogênio (WASAYA et al., 2018), causa degradação da qualidade do solo, resultando em aumento da densidade do solo e a resistência mecânica à penetração com conseqüente redução da porosidade (XIONG et al., 2020). Valores elevados de densidade do solo limitam desenvolvimento da raiz da planta, pois a baixa permeabilidade do ar e da água está associada a uma maior resistência à penetração das raízes (ANDOGNINI et al., 2020).

A compactação do solo pode resultar em agregado menor e menos estável bem como a redução das reservas de carbono orgânico, aumentar a erosão do solo devido ao escoamento superficial e à perda de solo. A erosão é o processo mais importante de degradação do solo em todo o mundo e é considerada uma séria ameaça ao abastecimento de alimentos (LUETZENBURG et al., 2020; GONGORA et al., 2022).

O sistema de PD é considerado uma estratégia para implementar a sustentabilidade ambiental de evitar a compactação do solo (NOVARA et al., 2021). No entanto, o uso de monoculturas como prática isolada não garante a sustentabilidade (GONGORA et al., 2022). O uso de culturas antecedentes são uma opção para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, com os resíduos na superfície do solo reduz o escoamento e o efeito da erosividade da chuva e a erodibilidade do solo (WOLSCHICK et al., 2021).

A adoção de culturas antecedentes como plantas de cobertura no PD tem sido proposto como uma alternativa biológica e sustentável ao CC. Porém, os impactos do PD e sua duração na distribuição em profundidade do Carbono Orgânico do Solo (COS) são menos estudados, dado que os impactos benéficos no solo variam com a profundidade do solo (CHAKRABORTY et al., 2022). Ainda segundo o autor, estudos mostraram que o PD melhora o teor de COS, a estabilidade do agregados, macroporosidade proveniente de bioporos e crescimento de raízes, e altera a estrutura dos poros devido ao tráfego agrícola reduzido e maiores resíduos deixados na superfície do solo. Por outro lado, o CC degrada o

conteúdo de COS e a estabilidade agregada. A agregação e a distribuição do tamanho dos poros são indicadores sensíveis da qualidade estrutural do solo (BLANCO-CAQUI e RUIS, 2018), e como resultado, podem ser usados para avaliar a eficácia dos sistemas de cultivo (YANG et al., 2020). A redução do uso de implementos agrícolas na preparação do solo no CM com um menor revolvimento do solo e no PD com a cobertura do solo pela palhada das culturas mantidas no solo reduz a compactação, perda do carbono e preservam a estrutura natural dos solos (POSSAMAI et al., 2022; MEDEIROS et al., 2020).

Melhor estrutura do solo e alta estabilidade dos agregados são essenciais para apoiar as funções do solo, como armazenamento de carbono (MEURER et al., 2020). As modificações na estrutura do solo podem ser avaliadas a partir das perspectivas em agregados da fase sólida e outra no espaço poroso (SCHLÜTER et al., 2020), bem como nas escalas macro e micro. Os métodos variam de observações de campo (práticas e rápidas) a análises laboratoriais (detalhadas e demoradas).

1.6 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO SOLO

A deterioração da estrutura do solo em escalas de tempo varia de segundos (por exemplo, compactação dos tráfegos de máquinas pesadas) a séculos (por exemplo, esgotamento ou acúmulo de matéria orgânica do solo) está implicada na maioria das formas de degradação do solo, incluindo o esgotamento de nutrientes e matéria orgânica, erosão e compactação (MEURER et al., 2020).

Uma forma de avaliar a estrutura do solo de maneira indireta é através da estabilidade de agregados, sendo considerado um dos parâmetros mais sensíveis que refletem a estrutura e qualidade do solo influenciados pelo carbono orgânico e podem indicar a resistência do solo a processos erosivos (XIA, et al., 2022).

A estrutura do solo é definida principalmente pelos índices de estabilidade dos agregados do solo, incluindo o Diâmetro Médio do Peso (DMP, mm) e o Diâmetro Médio Geométrico (DMG, mm) (KEMPER E CHEPIL, 1965). O objetivo do método de análise dos agregados é determinar a quantidade e a distribuição do tamanho de agregados estáveis em água. Esse método caracteriza-se pela agitação lenta, dentro de água, de uma amostra de solo, por tempo determinado, onde as frações das amostras que permanecem em uma ou várias classes de tamanho são usadas para descrever a condição estrutural da amostra inicial do solo.

O tamanho dos agregados do solo interfere diretamente no fator estrutural. Quanto maior for o DMG desses agregados, menor será a possibilidade de erosão, maior será a

quantidade de carbono fixada ao solo e melhor será a retenção de umidade. O DMP é tanto maior quanto maior for a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores; o DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência (KEMPER E CHEPIL, 1965). Os índices de DMG e DMP para avaliar a estabilidade agregada do solo são obtidos apenas para medição da distribuição do tamanho dos agregados e não levam em consideração o COS, apesar deste possuir forte influência na estabilidade dos agregados, mantendo a qualidade estrutural do solo (TANG et al., 2022).

A Avaliação Visual da Estrutura do Solo - *Visual Evaluation of Soil Structure* (VESS) (BALL et al., 2007 e GUIMARÃES et al., 2011) é considerada um método prático e eficiente para avaliar a qualidade da estrutura do solo sob diferentes usos e práticas de preparo do solo (ÇELIK et al., 2020) considerada uma ferramenta confiável para avaliar a qualidade estrutural dos solos no mundo inteiro (FRANCO et al., 2019).

O método VESS é aplicado globalmente, por ser um método fácil que permite a avaliação direta em campo da estrutura do solo. O VESS é um método semi-quantitativo, e inclui vários aspectos de estrutura e enraizamento para inferir sobre a qualidade estrutural do solo por meio de pontuações atribuídas (GUIMARÃES et al., 2017). Este método foi frequentemente usado para avaliar a qualidade estrutural do solo (MONCADA et al., 2014; TORMENA et al., 2016; CHERUBIN et al., 2017; TUCHTENHAGEN et al., 2018; FRANCO et al., 2019; PAIVA et al., 2020; ÇELIK et al., 2020; MUTUKU et al., 2021).

As vantagens da VESS é que as avaliações são realizadas diretamente no campo e feitas no próprio local de amostragem, são necessários poucos equipamentos e o resultado é imediatamente obtido e as avaliações podem ser repetidas no tempo e no espaço. Essas avaliações são de grande valor para os produtores rurais e técnicos que necessitam realizar decisões sobre o manejo do solo a ser realizado com base na medida da qualidade estrutural do solo feita no local de forma simples, rápida, barata e podem ser usados por produtores rurais, consultores e pela comunidade científica (GUIMARÃES, 2011).

A VESS foi desenvolvida para promover um teste rápido, simples e de resultado compreensível por pesquisadores, produtores rurais e consultores para medir qualidade da estrutura do solo, além disso, dar autonomia ao produtor rural para fazer o acompanhamento e o controle da qualidade física do solo (GUIMARÃES et al., 2017).

A aplicação do VESS consiste na retirada de uma fatia de solo indeformada com o auxílio de uma pá de aproximadamente 25 cm de profundidade, 20 cm de largura e 10 cm de espessura, fragmentar a fatia de solo manualmente, respeitando os planos de fratura entre os agregados sempre que possível, e comparar com uma carta visual para atribuir escores à

estrutura do solo presente na amostra. Tamanho, resistência e porosidade de agregados, raízes e cor do solo são os principais critérios utilizados para definir a Qualidade Estrutural do solo (QE). As categorias de QE variam de 1 a 5, respectivamente, estrutura do solo boa e pobre. O escore total da amostra de solo é determinado pela multiplicação do escore de cada camada pela sua espessura e posterior divisão do produto pela profundidade total da fatia (BALL et al., 2007).

A análise da VESS, pode auxiliar na escolha do manejo, no entanto, não é recomendado para avaliar o potencial da estrutura do solo para resistir à desagregação (isto é, estabilidade agregada). Nesse caso, a estabilidade física da estrutura do solo pode ser avaliada por meio da distribuição de agregados e estabilidade por peneiramento úmido (LIU et al., 2021). A estabilidade dos agregados do solo é um parâmetro importante que indica a resistência do solo à erosão e o potencial de produtividade das terras agrícolas em declive (XIA et al., 2022) o que pode afetar fortemente a fertilidade e a qualidade do solo, especialmente sob diferentes condições de uso do solo (PU et al., 2022; LI et al., 2022).

Diante do exposto e da importância de melhorar a qualidade estrutural do solo, especialmente o acúmulo de carbono orgânico e agregação do solo através de alternativas econômica e ambientalmente sustentáveis para uma produção agrícola mais sustentável, pode ser conseguido através do conjugado de tecnologias que já se mostram eficientes e exitosas como o uso de sistemas conservacionista. Por outro lado, mostra-se desafiadoras devido as condições edafoclimáticas e o solo da região específica utilizada. Sendo fundamental que, em cada região, o sistema seja adaptado de acordo com suas vocações naturais, de forma que seja o mais eficiente (CRUZ et al., 2021).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFSHAR, R. K., Cabot, P., Ippolito, J. A., Dekamin, M., Reed, B., Doyle, H., & Fry, J. **Corn productivity and soil characteristic alterations following transition from conventional to conservation tillage.** Soil and Tillage Research, v. 220, p. 105351, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105351>
- ALMAGRO, M., Ruiz-Navarro, A., Díaz-Pereira, E., Albaladejo, J., & Martínez-Mena, M. **Plant residue chemical quality modulates the soil microbial response related to decomposition and soil organic carbon and nitrogen stabilization in a rainfed Mediterranean agroecosystem.** Soil Biology and Biochemistry, v. 156, p. 108198, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108198>
- ANDOGNINI, J., Albuquerque, J. A., Warmling, M. I., Teles, J. S., & Silva, G. B. D. **Soil compaction effect on black oat yield in Santa Catarina, Brazil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 44, 2020. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190157>
- ANSARI, M. A., Choudhury, B. U., Layek, J., Das, A., Lal, R., & Mishra, V. K. **Green manuring and crop residue management: Effect on soil organic carbon stock, aggregation, and system productivity in the foothills of Eastern Himalaya (India).** Soil and Tillage Research, v. 218, p. 105318, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105318>
- ASSUNÇÃO, S. J. R., Pedrotti, A., Gonzaga, M. I. S., Nobrega, J. C. A., & Holanda, F. S. R. **Soil quality index of an ultisol under long-term plots in the coastal tablelands in northeastern Brazil.** Revista Caatinga, v. 36, n. 2, p. 432-444, 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252023v36n220rc>
- BALL, B. C., Batey, T., & Munkholm, L. J. **Field assessment of soil structural quality—a development of the Peirlkamp test.** Soil use and Management, v. 23, n. 4, p. 329-337, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2007.00102.x>
- BAUDER, J. W.; RANDALL, G. W.; SWANN, J. B. **Effect of four continuous tillage systems on mechanical impedance of a clay loam soil.** Soil Science Society of America Journal, v. 45, n. 4, p. 802-806, 1981. <https://doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500040026x>
- BLANCO-CANQUI, Humberto; RUIS, Sabrina J. **No-tillage and soil physical environment.** Geoderma, v. 326, p. 164-200, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011>
- BOULET, A. K., Alarcão, C., Ferreira, C., Kalantari, Z., Veiga, A., Campos, L., ... & Hessel, R. **Agro-ecological services delivered by legume cover crops grown in succession with grain corn crops in the Mediterranean region.** Open Agriculture, v. 6, n. 1, p. 609-626, 2021. <https://doi.org/10.1515/opag-2021-0041>
- CARDOSO, I. R. M., Eckardt, M., Afférri, F. S., de Souza Martins, G. A., Peluzio, J. M., Moura, J. S., ... & Biase, R. S. **Rendimento do milho doce e verde para consumo" in natura" cultivados no Tocantins.** Research, Society and Development, v. 10, n. 3, p. e11910313082-e11910313082, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13082>

- CATAPAN, Anderson. **Discussões sobre os conceitos de sustentabilidade e seus pilares.** Latin American Journal of Development, v. 2, n. 6, p. 410-416, 2020. <https://doi.org/10.46814/lajdv2n6-007>
- ÇELİK, İ., Günal, H., Acar, M., Acir, N., Bereket Barut, Z., & Budak, M. **Evaluating the long-term effects of tillage systems on soil structural quality using visual assessment and classical methods.** Soil Use and Management, v. 36, n. 2, p. 223-239, 2020. <https://doi.org/10.1111/sum.12554>
- CHAKRABORTY, P., Singh, N., Bansal, S., Sekaran, U., Sexton, P., Bly, A., ... & Kumar, S. **Does the duration of no-till implementation influence depth distribution of soil organic carbon, hydro-physical properties, and computed tomography-derived macropore characteristics?** Soil and Tillage Research, v. 222, p. 105426, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105426>
- CHEN, A., Wang, Z., Lin, Y., Wang, X., Li, Y., Zhang, Y., ... & Tang, G. **Temporal variation of soil organic carbon pools along a chronosequence of reforested land in Southwest China.** Catena, v. 194, p. 104650, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104650>
- CHERUBIN, M. R., Franco, A. L., Guimarães, R. M., Tormena, C. A., Cerri, C. E., Karlen, D. L., & Cerri, C. C. **Assessing soil structural quality under Brazilian sugarcane expansion areas using Visual Evaluation of Soil Structure (VESS).** Soil and Tillage Research, v. 173, p. 64-74, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.05.004>
- CHERUBIN, M. R., Cardoso, G. M., Bortolo, L. D. S., Marostica, M. E. M., Souza, V. S., Carvalho, M. L., ... & Luz, F. B. D. **Guia prático de plantas de cobertura: aspectos fitotécnicos e impactos sobre a saúde do solo.** 2022. <https://doi.org/10.11606/9786589722151>
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos.** Brasília, DF. Monitoramento agrícola – Safra 2020/21, v. 8. n. 10. 110 p. 2021.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos.** Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 2 segundo levantamento, novembro 2022
- CRUZ, C. J., Alvarenga, C. R., Viana, M. H. J, Filho, P. A. I., Filho, A. R. M., Santana, P. D. **Milho . Plantio Direto, EMBRAPA 50 anos.** 2022. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/sistema-de-manejo-do-solo/plantio-direto> > Acesso em: 18 nov. 2022.
- DAHL, Arthur Lyon. **Achievements and gaps in indicators for sustainability.** Ecological indicators, v. 17, p. 14-19, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.032>
- DE ARRUDA, F. P., Matos, M. H. M., da Cruz, A. L. F., & Farias, E. R. **Production indicators of green corn cultivars at different population densities.** Revista Caatinga, v. 35, p. 331-339, 2022. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n209rc>

- DERPSCH, Rolf. **No-Tillage, Sustainable Agriculture in the New Millennium**. 2021. Disponível em: <<http://www.rolf-derpsch.com/en/no-till/>>. Acesso em: 22 nov. 2021.
- FALCÃO, Karina dos S., das Neves Monteiro, F., Ozório, J. M. B., da Silva Souza, C. B., da Silva Farias, P. G., da Silva Menezes, R., ... & Rosset, J. S. **Estoque de carbono e agregação do solo sob diferentes sistemas de uso no Cerrado**. Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online), v. 55, n. 2, p. 242-255, 2020. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820200695>
- FEBRAPDP. **O Que É? Sistema Plantio Direto**. 2021. Disponível em: <<https://plantiodireto.org.br/sistema-plantio-direto-o-que-e>> Acesso em: 20 nov. 2022.
- FRANCO, H. H. S., Guimarães, R. M. L., Tormena, C. A., Cherubin, M. R., & Favilla, H. S. **Global applications of the Visual Evaluation of Soil Structure method: A systematic review and meta-analysis**. Soil and Tillage Research, v. 190, p. 61-69, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.01.002>
- GARCÍA, G. A. G., Gutiérrez-Montes, I., Núñez, H. E. H., Salazar, J. C. S., & Casanoves, F. **Relevance of local knowledge in decision-making and rural innovation: A methodological proposal for leveraging participation of Colombian cocoa producers**. Journal of Rural Studies, v. 75, p. 119-124, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.01.012>
- GONGORA, V. R. M., Secco, D., Bassegio, D., de Marins, A. C., Chang, P., & Savioli, M. R. **Impact of cover crops on soil physical properties, soil loss and runoff in compacted Oxisol of southern Brazil**. Geoderma Regional, v. 31, p. e00577, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00577>
- GUIMARÃES, Rachel Muylaert Locks; BALL, Bruce C.; TORMENA, Cássio Antônio. **Improvements in the visual evaluation of soil structure**. Soil Use and Management, v. 27, n. 3, p. 395-403, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00354.x>
- GUIMARÃES, R. M., Lamandé, M., Munkholm, L. J., Ball, B. C., & Keller, T. **Opportunities and future directions for visual soil evaluation methods in soil structure research**. Soil and Tillage Research, v. 173, p. 104-113, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.01.016>
- HE, D., Lu, C., Tong, Z., Zhong, G., & Ma, X. **Research progress of minimal tillage method and machine in China**. AgriEngineering, v. 3, n. 3, p. 633-647, 2021. <https://doi.org/10.3390/agriengineering3030041>
- KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. **Methods of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**, v. 9, p. 499-510, 1965.
- KURM, V., Schilder, M. T., Haagsma, W. K., Bloem, J., Scholten, O. E., & Postma, J. **Reduced tillage increases soil biological properties but not suppressiveness against Rhizoctonia solani and Streptomyces scabies**. Applied Soil Ecology, v. 181, p. 104646, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104646>

- LADHA, J. K., Peoples, M. B., Reddy, P. M., Biswas, J. C., Bennett, A., Jat, M. L., & Krupnik, T. J. **Biological nitrogen fixation and prospects for ecological intensification in cereal-based cropping systems.** *Field Crops Research*, v. 283, p. 108541, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108541>
- LI, S., Liu, Y., Lyu, S., Wang, S., Pan, Y., & Qin, Y. **Change in soil organic carbon and its climate drivers over the Tibetan Plateau in CMIP5 earth system models.** *Theoretical and Applied Climatology*, v. 145, n. 1-2, p. 187-196, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03631-y>
- LIU, Man; HAN, Guilin; LI, Xiaoqiang. **Contributions of soil erosion and decomposition to SOC loss during a short-term paddy land abandonment in Northeast Thailand.** *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 321, p. 107629, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107629>
- LUETZENBURG, G., Bittner, M. J., Calsamiglia, A., Renschler, C. S., Estrany, J., & Poepl, R. **Climate and land use change effects on soil erosion in two small agricultural catchment systems Fugnitz–Austria, Can Revull–Spain.** *Science of the Total Environment*, v. 704, p. 135389, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135389>
- MARQUES, D. M., Magalhães, P. C., Marriel, I. E., Gomes Júnior, C. C., da Silva, A. B., da Silva, N. T. A., & de Souza, T. C. **Azospirillum brasilense Reduces the Effects of Water Stress and Increases Maize Yield in Irrigated Areas with High Soil Nitrogen Doses.** *Journal of Plant Growth Regulation*, p. 1-12, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10889-7>
- MARTIN, T. N., Venturini, T., Api, I., Pagnoncelli, A., & Vieira Júnior, P. A. **Perfil do manejo da cultura de milho no sudoeste do Paraná.** *Revista Ceres*, v. 58, p. 01-08, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000100001>
- MEDEIROS, Aldair de S., Maia, S. M. F., dos Santos, T. C., & de Araújo Gomes, T. C. **Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region.** *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 287, p. 106690, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106690>
- MENDOZA-FERNÁNDEZ, A. J., Peña-Fernández, A., Molina, L., & Aguilera, P. A. **The role of technology in greenhouse agriculture: Towards a sustainable intensification in Campo de Dalías (Almería, Spain).** *Agronomy*, v. 11, n. 1, p. 101, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010101>
- MENEGALDO, J. G. **A importância do milho na vida das pessoas.** 2011.
- MEURER, K., Barron, J., Chenu, C., Coucheney, E., Fielding, M., Hallett, P., ... & Jarvis, N. **A framework for modelling soil structure dynamics induced by biological activity.** *Global change biology*, v. 26, n. 10, p. 5382-5403, 2020. <https://doi.org/10.1111/gcb.15289>
- MONCADA, M. P., Gabriels, D., Lobo, D., Rey, J. C., & Cornelis, W. M. **Visual field assessment of soil structural quality in tropical soils.** *Soil and Tillage research*, v. 139, p. 8-18, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.01.002>

- MUTUKU, E. A., Vanlauwe, B., Roobroeck, D., Boeckx, P., & Cornelis, W. M. **Visual soil examination and evaluation in the sub-humid and semi-arid regions of Kenya.** Soil and Tillage Research, v. 213, p. 105135, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105135>
- NASCIMENTO, Gislaine dos S., de Souza, T. A. F., da Silva, L. J. R., & Santos, D. **Soil physico-chemical properties, biomass production, and root density in a green manure farming system from tropical ecosystem, North-eastern Brazil.** Journal of Soils and Sediments, v. 21, p. 2203-2211, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11368-021-02924-z>
- NGOLO, Aristides Osvaldo. **Alterações na qualidade física de um latossolo vermelho do cerrado brasileiro em resposta aos efeitos de longo prazo no manejo do solo.** 2019. <https://locus.ufv.br/handle/123456789/29309>
- NUNES, D. O., Favaro, J. H. D. S., Charlo, H. C. D. O., Loss, A., Barreto, A. C., & Torres, J. L. R. **Green and sweet corn grown under different cover crops and phases of the no-tillage system.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 26, p. 173-179, 2022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n3p173-179>
- OLIVEIRA, Felipe de A., da Silva, J. C., dos Santos, D. P., Barreto, J. A. S., da Silva, C. B., dos Santos, M. A. L., & dos Santos, V. R. **Níveis crescentes de irrigação e maior densidade de plantas aumentam a produtividade do milho verde.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 7, p. 43371-43381, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-088>
- OLIVEIRA, Willer Carlos de; BERTOLINI, Geysler Rogis Flor. **Uma revisão sistemática sobre a contribuição das cooperativas para a sustentabilidade da agricultura familiar.** Research, Society and Development, v. 11, n. 2, p. e43411226098-e43411226098, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.26098>
- ONU - UNITED NATIONS, 2017. **Resolution A/Res/58/217, International Decade for Action, “Water for Life”, 2005-2015** (23 December 2003). General Assembly, Fifty-eighth Session. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/a58r217.htm>> Acesso em 20 mar 2023.
- OR, Dani; KELLER, Thomas; SCHLESINGER, William H. **Natural and managed soil structure: On the fragile scaffolding for soil functioning.** Soil and Tillage Research, v. 208, p. 104912, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104912>
- PAIVA, Isaías Antonio de; RITA, Yohanne Larissa; CAVALIERI-POLIZELI, Karina Maria. **Knowledge and use of visual soil structure assessment methods in Brazil—A survey.** Soil and Tillage Research, v. 204, p. 104704, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104704>
- PANKIEVICZ, V. C. S., do Amaral, F. P., Ané, J. M., & Stacey, G. **Diazotrophic bacteria and their mechanisms to interact and benefit cereals.** Molecular Plant-Microbe Interactions, v. 34, n. 5, p. 491-498, 2021. <https://doi.org/10.1094/MPMI-11-20-0316-FI>
- PEDROTTI, A., Aciole, F. M. S., da Silva, T. O., Araujo, E. M., Santos, D., & Mello Júnior, A. V. **Manejo do solo e de culturas de antecessão sobre a produtividade do milho em experimento de longa duração.** Magistra, v. 25, n. 3/4, p. 220-227, 2013.

- PEDROTTI, Alceu et al. **Atributos químicos do solo modificados por diferentes sistemas de cultivo associados a culturas antecessoras ao cultivo do milho, nos Tabuleiros Costeiros.** *Magistra*, v. 27, n. 3/4, p. 292-305, 2015.
- PELLOSO, M. F., Vidigal Filho, P. S., Scapim, C. A., Ortiz, A. H. T., Numoto, A. Y., & Freitas, I. R. M. **Agronomic performance and quality of baby corn in response to the inoculation of seeds with *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization in the summer harvest.** *Heliyon*, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14618>
- POSSAMAI, E. J., Conceição, P. C., Amadori, C., Bartz, M. L. C., Ralisch, R., Vicensi, M., & Marx, E. F. **Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re) view.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 46, 2022. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210104>
- RADOSAVLJEVIC, S., Haider, L. J., Lade, S. J., & Schlüter, M. **Effective alleviation of rural poverty depends on the interplay between productivity, nutrients, water and soil quality.** *Ecological Economics*, v. 169, p. 106494, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106494>
- REICHERT, J. M., Fontanela, E., Awe, G. O., & Fasinmirin, J. T. **Is cassava yield affected by inverting tillage, chiseling or additional compaction of no-till sandy-loam soil?** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 45, 2021. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20200134>
- SABRI, N., Kassim, N. S., Ibrahim, S., Roslan, R., Mangshor, N. N. A., & Ibrahim, Z. **Nutrient deficiency detection in maize (*Zea mays* L.) leaves using image processing.** *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, v. 9, n. 2, p. 304, 2020.
- SALOMÃO, P. E. A., Kriebel, W., dos Santos, A. A., & Martins, A. C. E. **A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica.** *Research, Society and Development*, v. 9, n. 1, p. e154911870-e154911870, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1870>
- SILVA, M. H. D. P. M., dos Santos, J. D. M., de Oliveira, T. A., Silva, R. P., dos Santos Neto, A. L., de Souza, A. A., ... & Silva, R. B. **Caracterização e produtividade de cultivares de milho doce em fileiras duplas sob diferentes espaçamentos entre plantas.** *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, v. 26, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.12661/pap.2021.014>
- SILVA, Paulo Adriano Santos. **A territorialização do agronegócio do milho no médio sertão sergipano: novas configurações espaciais e produtivas.** 2022. <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/16058>
- TAMBURINO, L., Bravo, G., Clough, Y., & Nicholas, K. A. **From population to production: 50 years of scientific literature on how to feed the world.** *Global Food Security*, v. 24, p. 100346, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100346>
- TANG, X., Qiu, J., Xu, Y., Li, J., Chen, J., Li, B., & Lu, Y. **Responses of soil aggregate stability to organic C and total N as controlled by land-use type in a region of south**

- China affected by sheet erosion.** Catena, v. 218, p. 106543, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106543>
- TELLES, T. S., Righetto, A. J., Lourenço, M. A., & Barbosa, G. **No-tillage system participatory quality index.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 24, p. 128-133, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n2p128-133>
- TORMENA, C. A., Karlen, D. L., Logsdon, S., & Cherubin, M. R. **Visual soil structure effects of tillage and corn stover harvest in Iowa.** Soil Science Society of America Journal, v. 80, n. 3, p. 720-726, 2016. <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.12.0425>
- TUCHTENHAGEN, I. K., Lima, C. L. R. D., Bamberg, A. L., Guimarães, R. M. L., & Mansonia, P. M. **Visual evaluation of the soil structure under different management systems in lowlands in southern Brazil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 42, 2018. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170270>
- UDVARDI, M., Below, F. E., Castellano, M. J., Eagle, A. J., Giller, K. E., Ladha, J. K., ... & Peters, J. W. **A research road map for responsible use of agricultural nitrogen.** Frontiers in Sustainable Food Systems, v. 5, p. 660155, 2021. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.660155>
- VIANA, J. H. M; CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. **Manejo do Solo para a Cultura do Milho.** Sete Lagoas, MG Dezembro, 2006. Disponível em <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ_77.pdf>. Acesso em: 28 jan 2017.
- WANG, Xiukang. **Managing land carrying capacity: key to achieving sustainable production systems for food security.** Land, v. 11, n. 4, p. 484, 2022. <https://doi.org/10.3390/land11040484>
- WOLSCHICK, N. H., Bertol, I., Barbosa, F. T., Bagio, B., & Biasiolo, L. A. **Remaining effect of long-term soil tillage on plant biomass yield and water erosion in a Cambisol after transition to no-tillage.** Soil and Tillage Research, v. 213, p. 105149, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105149>
- XIA, R., Shi, D., Ni, S., Wang, R., Zhang, J., & Song, G. **Effects of soil erosion and soil amendment on soil aggregate stability in the cultivated-layer of sloping farmland in the Three Gorges Reservoir area.** Soil and Tillage Research, v. 223, p. 105447, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105447>
- XIONG, P., Zhang, Z., Hallett, P. D., & Peng, X. **Variable responses of maize root architecture in elite cultivars due to soil compaction and moisture.** Plant and Soil, v. 455, n. 1, p. 79-91, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04673-3>
- YADAV, G. S., Das, A., Kandpal, B. K., Babu, S., Lal, R., Datta, M., ... & Chakraborty, M. **The food-energy-water-carbon nexus in a maize-mustard cropping sequence of the Indian Himalayas: An impact of tillage-cum-live mulching.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 151, p. 111602, 2021a. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111602>

- YADAV, G. S., Babu, S., Das, A., Datta, M., Mohapatra, K. P., Singh, R., ... & Chakraborty, M. **Productivity, soil health, and carbon management index of Indian Himalayan intensified maize-based cropping systems under live mulch based conservation tillage practices.** Field Crops Research, v. 264, p. 108080, 2021b. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108080>
- YANG, Tony; SIDDIQUE, Kadambot HM; LIU, Kui. **Cropping systems in agriculture and their impact on soil health-A review.** Global Ecology and Conservation, v. 23, p. e01118, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01118>
- ZAHEER, M. S., Ali, H. H., Iqbal, M. A., Erinle, K. O., Javed, T., Iqbal, J., ... & Dessoky, E. S. **Cytokinin production by Azospirillum brasilense contributes to increase in growth, yield, antioxidant, and physiological systems of wheat (Triticum aestivum L.).** Frontiers in Microbiology, v. 13, p. 886041, 2022. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.886041>
- ZEFFA, D. M., Perini, L. J., Silva, M. B., de Sousa, N. V., Scapim, C. A., Oliveira, A. L. M. D., ... & Azeredo Goncalves, L. S. **Azospirillum brasilense promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes.** Plos one, v. 14, n. 4, p. e0215332, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215332>
- ZHANG, S., Zhang, Y., Wang, Y., Hao, Y., Su, W., Sun, G., ... & Song, S. **Nitrogen absorption pattern detection and expression analysis of nitrate transporters in flowering Chinese cabbage.** Horticulturae, v. 8, n. 3, p. 188, 2022. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030188>

CAPÍTULO 2 - EFEITO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NA PRODUTIVIDADE DO MILHO (*Zea mays* L) SOB SISTEMAS CONVENCIONAL E CONSERVACIONISTAS

RESUMO: A compactação do solo causada pelo uso de máquinas agrícolas pesadas é um fator significativo na degradação do solo na agricultura moderna e uma ameaça à sustentabilidade agrícola. A prática de manejo conservacionista do solo e o uso de culturas antecedentes, podem mitigar os efeitos deletérios do uso intensivo de máquinas em sistemas de cultivo convencional. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito dos parâmetros físicos e químico de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes preparos do solo associado às culturas antecedentes na produtividade do milho verde. Foi conduzido um experimento na Estação experimental Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe no município de São Cristóvão. O delineamento experimental foi composto por três faixas experimentais que correspondem aos três sistemas de preparo do solo (Cultivo Convencional (CC), Cultivo Mínimo (CM) e Plantio Direto (PD)) com parcelas subdivididas as culturas antecedentes: crotalária (*Crotalaria juncea* L.), feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e milheto (*Pennisetum americanum* L.). Em cada subparcela, foram coletadas três amostras de solo e determinada a densidade e a resistência mecânica à penetração do solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Os resultados demonstraram que a adoção das culturas antecedentes proporciona teores mais elevados de carbono orgânico do solo (COS), sendo maior o teor na parcela Caupi/CM. O cultivo mínimo, quando associado ao uso de leguminosa como o Caupi, contribui com menor compactação e o uso do Guandu combinada com adubação 100% nitrogenada apresenta maior produtividade do milho verde.

Palavras-chave: *Zea mays* L, densidade do solo, erosão, teor de carbono orgânico.

EFFECT OF SOIL COMPACTION ON CORN (*Zea mays* L) PRODUCTIVITY UNDER CONVENTIONAL AND CONSERVATIONAL SYSTEMS

ABSTRACT: Soil compaction caused by the use of heavy agricultural machinery is a significant factor in soil degradation in modern agriculture and a threat to agricultural sustainability. The practice of conservationist soil management and the use of antecedent crops can mitigate the deleterious effects of the intensive use of machines in conventional cultivation systems. The present work aims to evaluate the effect of the physical and chemical parameters of a dystrophic Red-Yellow Argisol under different soil preparations associated with antecedent crops on green corn yield. An experiment was conducted at the Campus Rural Experimental Station of the Federal University of Sergipe in the municipality of São Cristóvão. The experimental design consisted of three experimental strips that correspond to the three soil preparation systems (Conventional Cultivation (CC), Minimum Cultivation (CM) and No-Tillage (PD)) with subdivided plots for the antecedent cultures: sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.), pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) and millet (*Pennisetum americanum* L.). In each subplot, three soil samples were collected and the density and mechanical resistance to soil penetration were determined at depths of 0-10 and 10-20 cm. The results showed that the adoption of antecedent crops provides higher levels of soil organic carbon (SOC), with higher levels in the Cowpea/CM plot. Minimal cultivation, when associated with the use of legumes such as Cowpea, contributes to less compaction and the use of Guandu combined with 100% nitrogen fertilization results in higher green corn productivity.

Key words: *Zea mays* L, density soil, erosion, carbon content, productivity.

2. INTRODUÇÃO

A produtividade do milho é influenciada diretamente pelas propriedades físicas do solo, que por sua vez, é afetada pelas práticas de manejo empregada. Um dos agentes que degrada a qualidade física do solo é a compactação, ocasionada especialmente pela pressão excessiva de implementos e máquinas agrícolas pesadas, comprometendo a qualidade do solo e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (ANDOGNINI et al., 2020).

O sistema convencional ainda é amplamente praticado pelos agricultores de todo o mundo provocando impactos ambientais negativos como a perda da estrutura do solo e estabilidade dos agregados (AFSHAR et al., 2022). O manejo inadequado do solo e a diminuição da cobertura vegetal provocam alterações nas suas características físicas, alterando sua capacidade produtiva. O ambiente solo-planta precisa ser beneficiado pela maior retenção e disponibilidade de água, maior teor de carbono orgânico do solo que resultam em melhorias físicas que se refletem na produtividade das culturas (REICHERT et al., 2022).

Melhorias na estrutura do solo resultam em menor resistência à penetração do solo, maiores volumes de raízes e maior concentração de carbono orgânico do solo e vice-versa (CAVALIERI-POLIZELI et al., 2022). O Carbono Orgânico do Solo (COS) corresponde a cerca de 58% da matéria orgânica do solo, sendo composta por plantas e microrganismos em diferentes fases de decomposição, desde resíduos frescos até altamente modificados (FAO, 2017). O COS dá suporte as funções essenciais do solo, como a estabilização da estrutura, proteção dos microagregados, liberação de nutrientes, diminuição dos valores de densidade, aumento da infiltração e armazenamento da água. Sendo fundamental para garantir a saúde do solo e manter a produção de alimentos. Valores elevados de densidade do solo limitam o desenvolvimento radicular vegetal pela maior resistência de penetração da raiz, associado a baixa permeabilidade do ar e da água (ANDOGNINI et al., 2020).

O solo compactado contribui para redução na qualidade do grão de milho (OBOUR e UGARTE, 2021) provoca a degradação da qualidade do solo, levando ao aumento na densidade e diminuição na porosidade (XIONG et al., 2020) e culmina com grandes consequências negativas causados pela compactação do solo como a erosão. A compactação pode levar à obtenção de maiores valores de resistência do solo à penetração e depende das características do solo e da cultura, sendo determinada por propriedades como densidade, textura, agregação, carbono orgânico, mineralogia e teor de húmus do solo (SOUZA et al., 2021).

Embora a área dedicada ao cultivo de milho tenha crescido nos últimos anos na região Nordeste do Brasil, a produção de grãos é menor do que em outras regiões devido às

altas temperaturas, altas taxas de evapotranspiração, distribuição e longos períodos de seca (SILVEIRA et al., 2022). Na região dos Tabuleiros Costeiros, no Litoral Sergipano, os solos são, em geral, pobres com baixa fertilidade natural (OLIVEIRA, et al., 2020) o que aumenta sua vulnerabilidade à degradação com práticas agrícolas intensivas.

A utilização de culturas antecedentes associadas com os diferentes sistemas de preparo do solo também é uma prática complementar e de efeitos sinérgicos nos sistemas de manejo conservacionistas. Os sistemas de preparo do solo como o Cultivo Mínimo (CM) e o Plantio Direto (PD) se mostram promissores em comparação ao Cultivo Convencional (CC) para produtividade do milho na região de Sergipe (OLIVEIRA et al., 2017 ; TELLES et al., 2019; ASSUNÇÃO, 2019; SILVA, 2022) minimizando impactos causados como a perda de carbono decorrente dos sistemas de CC (MEDEIROS et al., 2020).

A presença de resíduos culturais (de plantas vivas ou mortas) é uma das principais estratégias de manejo para a proteção e manutenção da sustentabilidade do solo (GONGORA et al., 2022). Os resíduos de culturas de cobertura na superfície do solo associado ao PD tem sido uma proposta sustentável de evitar a compactação do solo e redução do escoamento e o efeito da erosividade da chuva (potencial da chuva causar erosão) e a erodibilidade do solo (susceptibilidade do solo ao processo erosivo) (WOLSCHICK et al., 2021).

A busca por tecnologias que melhorem a qualidade do solo, especialmente o acúmulo de carbono orgânico e agregação do solo através de alternativas econômica e ambientalmente sustentáveis tem sido grande, e é indispensável para uma produção agrícola sustentável no longo prazo. Com este trabalho, objetivou-se avaliar a compactação do solo por meio da resistência mecânica à penetração e a densidade do solo, bem como avaliar o teor de carbono orgânico e seus efeitos na produtividade do milho verde com adubação nitrogenada e inoculada sob preparos de solo associado às culturas antecedentes em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico na região dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe.

2.1 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1.1 Descrição da área

O estudo foi conduzido em um experimento instalado em 2001, durante o 22º ano de cultivo, localizado na Estação experimental da Universidade Federal de Sergipe (10°55'24''S e 37°11'57''W) no município de São Cristóvão – SE. O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (horizonte A [0 – 0,27m] de textura areia-franca (Areia

– 82,1 %, Silte – 12,5 % e Argila – 5,4 %), cujos sedimentos são provenientes do grupo Barreiras (SANTOS et al., 2018). A região possui precipitação pluviométrica anual em torno de 1.200 mm, com predomínio do clima As' (classificado de acordo com Köppen), caracterizado como tropical chuvoso com verão seco e anual, e estação chuvosa concentrada (70%) entre os meses de Abril-Setembro (ALVARES et al., 2013).

2.1.2 Condução Experimental

Utilizou-se o delineamento experimental em faixas experimentais com subparcelas divididas (PIMENTEL GOMES, 1985), onde nas faixas cultivadas com milho como cultura principal há a implantação de três sistemas de cultivo que se diferem pelas formas de preparação do solo: CC com grade aradora e niveladora, CM com grade niveladora e o PD e nas parcelas subdivididas as culturas antecedentes crotalária (*Crotalaria juncea* L.), feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) e milheto (*Pennisetum americanum* L.) aleatorizadas dentro de cada faixa em três repetições.

As faixas possuem 13 parcelas de 60 m² espaçadas entre si a cada 1 m, das quais uma subparcela foi o controle, sem o uso de culturas antecedentes. As culturas antecedentes foram semeadas com espaçamento médio de 0,5 m na linha e 0,2 m na entrelinha. Após aproximadamente 90 dias em campo, as plantas foram cortadas e aportadas ao solo. Cada faixa experimental foi, igualmente, preparada de acordo com o sistema de cultivo adotado. No CC foi utilizado como implemento a grade aradora + grade niveladora. No CM, utilizou-se grade niveladora leve fechada e no PD após o 1º ano de condução do experimento, nenhum implemento de preparo do solo foi utilizado. No PD, as plantas daninhas foram controladas por capina manual associada ao uso de herbicidas de ação total (antes da semeadura - *Glyphosate*) ou seletivo (após semeadura do milho - *Nicosulfuron*).

A semeadura do milho foi realizada com semeadora pneumática tratorizada Jumil, modelo POP EX 2670, adotando-se o espaçamento médio de 0,2 m na linha e 0,8 m na entrelinha. A semente utilizada foi híbrida de duplo propósito - para consumo de milho verde e produção de silagem, variedade SHS7990 PRO3 (SANTA HELENA®) tratada previamente com (*Tiodicarbe* e *Imidacloprido*) CropStar®.

Para adubação nitrogenada foram adotados dois tratamentos consistindo na associação de inoculantes da bactéria *Azospirillum brasilense* com adição de nitrogênio (N) na forma de ureia comercial. Os tratamentos consistiram em: (1) tratamento nitrogenado - 100% de N da dose total recomendada, sem inoculante e (2) tratamento inoculado -50% da

dose recomendada de N, com inoculante. A dose dos tratamentos nitrogenados foi de 300 kg ha⁻¹ de ureia (45% de N), parcelados entre a semeadura, 30 e 45 dias posteriores à germinação das plântulas. Todos os tratamentos também receberam 90 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo (19% de P₂O₅) e 110 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (59% de K₂O) (SOBRAL et al., 2007). A lâmina de irrigação usada foi de 7,0 mm d'água.

Empregou-se a combinação dos preparos do solo: CC; CM e PD ao plantio de culturas antecedentes: (A) Crotalária; (B) Milheto; (C) Feijão-caupi e (D) Feijão guandu. Assim, ao total foram combinados para compor os tratamentos: 2 tratamentos para fonte de N, 3 para sistemas de preparo do solo e 4 culturas antecedentes, perfazendo um total de 2X3X4, ou seja, 24 tratamentos.

Cada parcela útil foi constituída de um total de 160 plantas, em 4 linhas de 4 m para cada tratamento com espaçamento 0,8 por 0,2 m. A avaliação da produtividade do milho em campo foi realizada dentro de cada parcela útil com a colheita do milho onde foram avaliados o Número de Plantas (NP), o Número de Espigas Comerciais (NEC) o Peso das Espigas Comerciais (PEC). As espigas comerciais foram definidas pelos parâmetros de peso médio de 250g, o diâmetro (DE) e comprimento (CE) determinados com o uso de paquímetro e régua para a medição.

2.1.3 Coleta e Análise de Dados

Após coleta das espigas comerciais de milho verde, e avaliação dos demais parâmetros de produtividade, realizou-se a coleta e análise do solo para avaliação da densidade e umidade pelo método do Anel Volumétrico, conforme BLAKE; HARTGE, (1986). Em campo foi avaliada a Resistência Mecânica do solo a Penetração (RMP) com penetrômetro eletrônico (FALKER PLG1020). Como parâmetro químico, avaliou-se a Matéria Orgânica (MO) presente nas amostras de solo realizada conforme Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (TEIXEIRA et al., 2017) seguindo a metodologia de rotina e de uso frequente em LAS.

O teor de MO foi convertido em Carbono Orgânico Total (COT) pela aplicação do fator de van Bemmelen (1,724), com base no pressuposto de que a MO possui 58% de Carbono Orgânico (FAGERIA; STONE; SANTOS, 1999). Com a determinação da densidade e do teor de Carbono total do solo foi possível calcular o estoque de carbono em cada subparcela com base na massa equivalente de solo (ELLERT; BETTANY, 1995) de acordo com a seguinte equação: $E.C. (kg/m^2) = \{(C.O \times Ds \times P) / 10\}$, em que C.O. = teor de carbono

(g.kg⁻¹), Ds = densidade aparente do solo (g.cm⁻³) e P = profundidade da camada do solo (cm).

2.1.4 Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com o objetivo de avaliar se havia diferenças nos níveis de produtividade do milho verde sob o efeito de diferentes preparos do solo associados a culturas antecedentes. A normalidade dos dados foi avaliada por meio dos testes Kolmogorov-Smirnov (KENDALL e GEORGE, 2008) e Shapiro-Wilk (SHAPIRO e WILK, 1965) e o pressuposto de homogeneidade de variância por meio do teste de Levene (LEVENE, 1960).

Devido aos dados não apresentarem homogeneidade e normalidade optou-se por ferramentas com maior sensibilidade e acurácia para evidenciar padrões de comportamento mais complexos. Assim, procedimentos de *bootstrapping* (1000 re-amostragens; 95% IC BCa) foram implementados para se obter uma maior confiabilidade dos resultados, para corrigir desvios da normalidade da distribuição da amostra e diferenças entre tamanhos dos grupos e, também, para apresentar um intervalo de confiança de 95% para as diferenças entre as médias (HAUKOOS e LEWIS, 2005).

Análises de Post-hoc para os efeitos principais e de interação (Preparo do solo*Cultura antecedente) e comparações entre grupo (*between*) foram realizados por meio do teste Bonferroni. Em seguida, as análises de regressão linear múltipla (método *forward*) (EFRON et al., 2004) foram realizadas com o objetivo de investigar em que medida os valores de densidade, resistência mecânica a penetração e o estoque de carbono obtidos nas profundidades (0-10 cm e 10-20 cm) do solo cultivados sob os três sistemas de preparo do solo (CC, CM e PD) associado a quatro culturas antecedentes (feijão-caupi, feijão guandu, Milheto e Crotalaria) promovem maior impacto nos parâmetros de produtividade do milho verde para os dois tratamentos (nitrogenado e inoculado). Todos os testes foram realizados utilizando o *software* IBM® SPSS® (versão 25.0, SPSS Inc., USA), cujos dados foram considerados estatisticamente significativos quando $p < 0,05$.

2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.2.1 Indicadores Físicos

Os resultados de teste de ANOVA para a densidade do solo na profundidade de 0-10 cm considerando as variáveis sistema de preparo do solo e culturas antecedentes não apresentaram diferença estatística significativa para os dados individuais de sistema de preparo do solo ($F = (2,117) = 0,664$, $p < 0,517$), bem como para os dados individuais de culturas antecedentes ($F = (4,117) = 2,232$, $p < 0,071$). Em relação a interação entre estas duas variáveis, as mesmas apresentaram diferença estatisticamente significativa ($F (8,117) = 3,429$; $p < 0,002$).

Para a densidade na profundidade de 10 a 20 cm também não apresentaram diferença estatística significativa para os dados individuais de sistema de preparo do solo ($F = 2, 117 = 0,602$, $p < 0,550$). Em relação a comparação entre culturas antecedentes na profundidade de 10 a 20 cm, estas, apresentaram diferença estatisticamente significativa ($F = 4, 117 = 2,631$, $p < 0,039$), assim como a interação entre as duas variáveis (sistema de preparo do solo*cultura antecedente) ($F = 8, 117 = 3,965$, $p < 0,00$). Estes resultados demonstram que, as mudanças da densidade do solo analisadas nesta pesquisa estão estritamente relacionadas as interações entre fatores aqui analisados, mais precisamente as diferenças entre as plantas cultivadas anteriormente. Buscando uma melhor compreensão dos resultados, foram realizadas análises subsequentes Post-hoc de Bonferroni (HILTON e ARMSTRONG, 2006) entre grupos, e entender a influência do preparo do solo associado as culturas antecedentes sobre a densidade do solo (Tabela 1).

O crescimento das plantas pode ser limitado quando o solo apresenta densidade superior a $1,80 \text{ g cm}^{-3}$ para solos com textura arenosa com horizonte A do Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (ARSHAD et al., 1996; REINERT et al., 2006). Os sistemas de preparo do solo não modificaram os valores da densidade do solo independente da cultura e profundidade implementadas conforme evidenciado na Tabela 1. A pequena variação da densidade é comum em trabalhos semelhantes, como o de Assunção (2019), Silva (2022), Reichert et al., (2021) e Afshar et al. (2022). O manejo adequado do solo e dos resíduos podem contribuir com o acúmulo de matéria orgânica, geralmente associado a uma melhora das condições físicas do solo (ARVIDSSON et al., 1998), apresentando densidades mais baixas em função dos maiores teores de matéria orgânica na camada superficial. Para Congora et al., (2022) a ausência de efeitos em densidade do solo por culturas de cobertura na camada de 0-10 cm pode ser resultante da intensa mobilização pelas hastes das semeadoras/adubadoras, além do alto teor de matéria orgânica.

Tabela 1 - Dados de densidade e Resistência mecânica à penetração de um Argissolo nas camadas 0-10 e 10-20 cm, submetido a três sistemas de preparo do solo e quatro culturas antecedentes ao cultivo do milho, na safra agrícola de 2022.

Sistema de Preparo do solo	Cultura Antecedente	Densidade do solo (gcm^{-3})		RMP (Mpa)	
		0-10 cm	10-20 cm	0 -10 cm	10-20 cm
CC	Caupi	1,75 ^(0,05) Aa	1,81 ^(0,05) Aa	0,44 ^(0,01) Ab	0,63 ^(0,02) Aa
	Guandu	1,80 ^(0,08) Aa	1,72 ^(0,20) Aa	0,52 ^(0,10) Aab	0,71 ^(0,08) Aa
	Crotalária	1,70 ^(0,10) Aa	1,81 ^(0,06) Aa	0,57 ^(0,13) Aa	0,83 ^(0,17) Aa
	Milheto	1,73 ^(0,06) Aa	1,82 ^(0,06) Aa	0,57 ^(0,13) Aab	0,75 ^(0,10) Aa
	Controle	1,70 ^(0,02) Aa	1,82 ^(0,05) Aa	0,46 ^(0,04) Aab	0,65 ^(0,06) Aa
CM	Caupi	1,49 ^(0,16) Aa	1,79 ^(0,10) Aa	0,44 ^(0,09) Ab	0,62 ^(0,10) ABa
	Guandu	1,59 ^(0,06) Aa	1,69 ^(0,09) Aa	0,54 ^(0,12) Aab	0,69 ^(0,12) ABa
	Crotalária	1,59 ^(0,10) Aa	1,72 ^(0,09) Aa	0,63 ^(0,06) Aa	0,74 ^(0,06) ABa
	Milheto	1,91 ^(0,44) Aa	2,08 ^(0,47) Aa	0,47 ^(0,13) Aab	0,65 ^(0,12) ABa
	Controle	1,70 ^(0,06) Aa	1,75 ^(0,06) Aa	0,36 ^(0,02) Aab	0,60 ^(0,06) ABa
PD	Caupi	1,64 ^(0,11) Aa	1,71 ^(0,04) Aa	0,52 ^(0,04) Ab	0,64 ^(0,11) Ba
	Guandu	1,75 ^(0,06) Aa	1,83 ^(0,05) Aa	0,51 ^(0,03) Aab	0,58 ^(0,07) Ba
	Crotalária	1,88 ^(0,24) Aa	1,95 ^(0,27) Aa	0,49 ^(0,02) Aa	0,57 ^(0,02) Ba
	Milheto	1,65 ^(0,29) Aa	1,77 ^(0,11) Aa	0,57 ^(0,08) Aab	0,65 ^(0,16) Ba
	Controle	1,73 ^(0,05) Aa	1,81 ^(0,05) Aa	0,64 ^(0,06) Aab	0,73 ^(0,07) Ba

Legenda: CC: Cultivo Convencional; CM: Cultivo Mínimo; PD: Plantio Direto; Valores de Desvio Padrão estão sobrescritos entre parêntese. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os diferentes preparos do solo dentro da mesma profundidade e letras minúsculas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre culturas antecedentes dentro da mesma profundidade pelo teste de Post-hoc.

Ao analisar as respostas dos sistemas de preparo do solo a partir das culturas antecedentes, em geral, o solo sob cultivo mínimo quando associado ao cultivo antecedente do Guandu apresentou o menor valor de densidade na camada de 0-10 cm ($1,59 \text{ gcm}^{-3}$), com 13,21 % de redução em relação ao CC ($1,80 \text{ gcm}^{-3}$) e 10,06% em relação ao PD ($1,75 \text{ g.cm}^{-3}$) anteriormente cultivados com Guandu. O Guandu apresentou a menor densidade ($1,69 \text{ g.cm}^{-3}$) para a profundidade de 10-20 cm, com 1,78% em relação ao CC ($1,72 \text{ gcm}^{-3}$) e 8,28% em relação ao PD ($1,83 \text{ gcm}^{-3}$) cultivados com o Guandu. O solo quando cultivado com o Milheto no cultivo mínimo apresentou o maior valor de densidade dentre as condições avaliadas tanto na camada de 0-10 cm ($1,91 \text{ gcm}^{-3}$), como na camada de 10-20 cm ($2,08 \text{ gcm}^{-3}$), sendo uma diferença de 9,42 % a mais em relação ao cultivo convencional e 13,61 % a mais em relação ao plantio direto. Para a camada de 10-20 cm o milheto foi superior com 12,5% em relação ao CC, e 15% ao PD. A variabilidade dos dados em relação à média para o Milheto/CM apresentou maior grau de dispersão em relação aos demais tratamentos o que pode explicar a alta densidade nessa parcela mesmo quando associada ao cultivo mínimo.

Espécies de leguminosas como o Guandu tem raízes pivotantes principais com diâmetros maiores e melhor penetração no solo podendo criar poros de grande diâmetro (macroporos ou poros biológicos) no solo para o crescimento de raízes subsequentes (COLOMBI et al., 2017). Solos que apresentem menores valores de densidade tendem a possuir maiores valores de porosidade, principalmente de macroporos que estão associados à aeração e a troca de gases, bem como a infiltração de água no solo, não apresentando indícios de compactação.

Ainda segundo Hudek et al. (2022), a densidade do solo pode ser afetada por diferenças na morfologia radicular das plantas. Além disso, a camada superficial do solo possui alto teor de matéria orgânica e grande volume de bioporos deixados pela senescência das raízes das culturas (BLANCO-CANQUI E RUIS, 2020). Outro fator que contribuiu para o menor valor de densidade apresentada pela interação Caupi/CM é o maior teor de COS apresentado que favorece, ao longo dos anos de cultivo, a melhoria da qualidade física do solo (YADAV et al., 2019), isso explica os menores valores de densidade obtida na camada de 0-10 cm quando associada a adoção desta cultura antecedente no sistema de CM.

Tratando-se dos dados de RMP nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, foi observado que houve efeito estatisticamente significativo, tanto para os dados individuais de sistema de preparo do solo ($F = 2, 117 = 3,719, p < 0,028$); ($F(2, 117) = 5,472, p < 0,006$), também para cultura antecedente ($F = 4, 117 = 4,703, p < 0,002$); ($F(4,117) = 2,810, p < 0,029$) na profundidade de 0-10 e 10-20 cm respectivamente, assim como a interação entre as duas variáveis (preparo do solo*cultura antecedente) ($F = 8,117 = 4,979, p < 0,00$); ($F(8,117) = 3,388, p < 0,002$), respectivamente.

O preparo do solo adotado pelos três sistemas não modificou o RMP na profundidade de 0 a 10 cm. Porém, ao analisar a interação entre grupo a partir das culturas antecedentes, foi observado que o solo cultivado com feijão-caupi, apresentou a menor RMP tanto no CM como no CC, (0,44 Mpa) valor menor em 18,18% ao PD conforme observado na Tabela 1. Este resultado pode ter contribuído para o menor valor de RMP nestes sistemas ao maior teor de carbono orgânico presente no solo pelo aumento de matéria orgânica na camada superficial que favorece, ao longo dos anos de cultivo, a melhoria da qualidade física do solo com a adoção do feijão-caupi (SURAVI et al., 2021; QI et al., 2022).

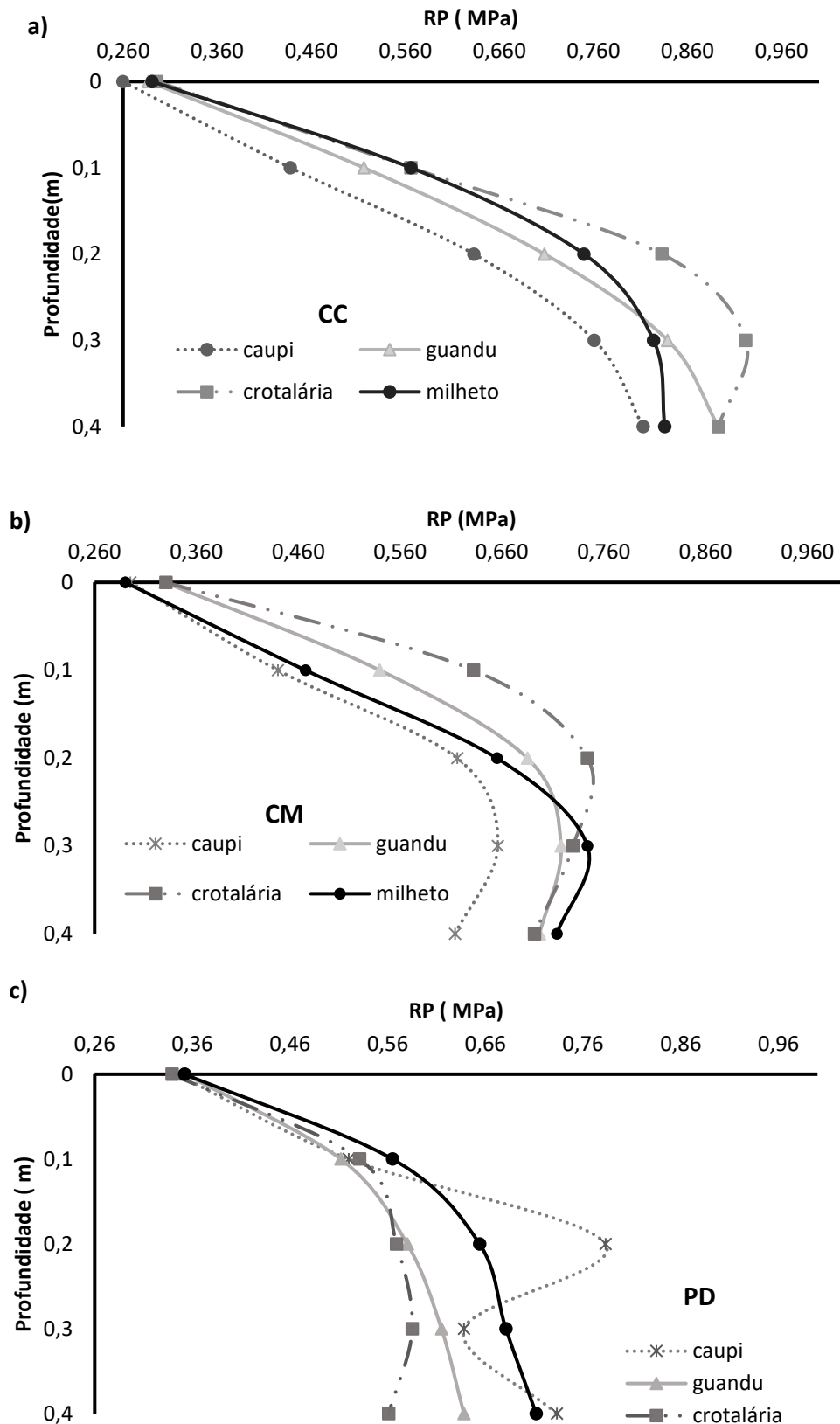
Analisando na profundidade de 10 a 20 cm, o preparo do solo que apresentou maior RMP foi o CC com 7,04% superior ao passo que o CM e 11,27% ao PD. A maior RMP para a interação entre o preparo de solo e cultura antecedente foi conferida pela Crotalária/CC (0,83 Mpa) com 10,84% em relação ao Crotalária/CM (0,74 Mpa) e 21,69% em relação a

Milheto/PD (0,65 Mpa) (Tabela 1). A maior RMP no CC é decorrente das tensões impostas pelos pneus de máquinas pesadas e implementos agrícolas usados durante as operações de preparo, semeadura e tratos culturais concentrarem-se na camada de 10-20 cm (REICHERT et al., 2022) o que justifica maiores valores de RMP nesta camada, evidenciados nesta pesquisa.

Resultado semelhantes foram observados por AFSHAR et al. (2022), que ao estudar as alterações nas características do solo após a transição do preparo convencional para o de conservação na produtividade do milho observou tendência positiva nas propriedades do solo, indicando o potencial do PD para melhorar a sustentabilidade da produção de milho em médio e longo prazo.

O crescimento das raízes das plantas no perfil do solo pode ser retardado ou completamente impedido quando obtidos valores de RMP acima de 2 MPa como destaca Bengough et al., (2011). Através da curva de compactação apresentada na Figura 1 é possível identificar que existe uma camada de impedimento de 0,20-0,40 m. Entretanto, em todos os tratamentos utilizados, considerando a profundidade de 0,10 a 0,40m, o solo não poderá apresentar impedimento ao desenvolvimento das plantas cultivadas, pois os valores de RMP ficaram abaixo do limite crítico de 2,0 Mpa.

Figura 1 - Resistência mecânica à penetração ao longo do perfil do solo para diferentes sistemas de preparos de solo: a) Cultivo Convencional (CC), b) Cultivo Mínimo (CM) e c) Plantio direto (PD) associados às culturas antecedentes: feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), crotalária (*Crotalaria juncea*), feijão guandu (*Cajanus cajan*) e milho (*Pennisetum glaucum*) média de 15 repetições na profundidade de 0,00-0,40m ao cultivo do milho na safra agrícola de 2022.



A interação preparo do solo x culturas antecedentes não foi significativa para a resistência a penetração na profundidade de 0-10 cm ou 0 à 0,10 m (Figura 1). Dentre as culturas antecedente, a Crotalária no CC apresentou maior resistência à penetração ao longo das profundidades, em relação as demais culturas antecedentes, apresentando maior RMP na profundidade de 0,30 m (0,92 Mpa). No CM a Crotalária também apresentou o maior valor de RMP (0,74 Mpa) na profundidade de 0,20 m e o Milheto na profundidade de 0,30 m com mesmo valor de RMP apresentando pela Crotalária.

Para o PD, o Caupi apresentou maior valor de RMP ao longo das profundidades tendo uma redução no valor na profundidade de 0,20 a 0,30 m. No entanto, deve-se considerar que a RMP possui relação potencial com a umidade do solo (BUSSCHER et al.,1997; BLANCO-CANQUI et al.,2006), o que pode justificar a RMP elevada no PD quando associado ao feijão-caupi, uma vez que, pequenas alterações no conteúdo de água determinam grandes variações na RMP (Tabela 2).

A quantidade de água existente no solo está intimamente ligada aos valores de resistência do solo a penetração, e qualquer alteração neste fator pode modificar tais valores (BUSSCHER et al., 1997) o que foi observado no sistema de PD quando associado ao Caupi apresentou o menor valor de umidade, possivelmente decorrente do intervalo de tempo de coleta da amostra do solo para este sistema, conferindo menor umidade no momento da determinação.

Tabela 2 - Dados dos parâmetros de Umidade do solo, média de 3 repetições nas camadas 0-10 e 10-20 cm, submetido a três sistemas de preparo do solo e quatro culturas antecedentes ao cultivo do milho, na safra agrícola de 2022.

Preparo do solo	CA	Umidade do solo (%)	
		0 -10 cm	10-20 cm
CC	Caupi	15,50	14,76
	Guandu	14,52	13,41
	Crotalária	16,55	14,65
	Milheto	17,39	15,13
	Controle	12,64	11,37
CM	Caupi	14,05	12,16
	Guandu	10,92	10,08
	Crotalária	16,49	13,33
	Milheto	14,06	12,13
	Controle	24,94	11,70
PD	Caupi	9,49	9,62
	Guandu	11,64	11,29
	Crotalária	11,79	11,00
	Milheto	9,77	9,37
	Controle	10,02	9,75

Legenda: CA: Culturas antecedentes; CC: Cultivo Convencional; CM: Cultivo Mínimo; PD: Plantio Direto.

De 0,10-0,30 m, a resistência à penetração nos sistemas de preparo do solo CC e CM aumentou gradualmente, sendo que os do CC foi superior aos sistemas CM e PD. Efetivamente, a resistência a penetração na profundidade do solo 0,0-0,30 m foi notavelmente menor nas parcelas de CM e PD em comparação ao CC, com este incremento de profundidade correspondente à profundidade do arado. Abaixo de 0,30 m, a resistência à penetração aumentou gradualmente e atingiu um nível que não foi mais significativamente diferente entre os três sistemas de preparo do solo. Situação semelhante também verificada em (AFSHAR et al., 2022), quando avaliou as alterações nas características do solo após a transição de um sistema de preparo do solo convencional para um preparo do solo conservacionista na produtividade do milho.

2.2.2 Estoque de Carbono

Os resultados de teste de ANOVA considerando as variáveis de preparo do solo e cultura antecedente para Carbono Orgânico do Solo (COS) apresentam diferença significativa, tanto para os dados individuais de preparo do solo para a profundidade de 0 a 10 cm ($F = (2, 117) = 160,86; p < 0,00$); e 10 a 20 cm ($F = (2, 117) = 163,80; p < 0,000$) como também para cultura antecedente para as duas profundidades ($F = (4, 117) = 23,67; p < 0,00$); ($F (4, 117) = 4,51; p < 0,002$). A interação entre as duas variáveis (preparo do solo*cultura antecedente) também apresentaram diferença para profundidade de 0 a 10 cm ($F = (8, 117) = 19,31; p < 0,000$) e para profundidade de 10 a 20 cm ($F = (8, 117) = 17,93; p < 0,000$).

Para o Estoque de Carbono, os resultados de teste de ANOVA considerando as variáveis preparo do solo e culturas antecedentes para a profundidade de 0 a 10 cm não apresentaram diferença estatística significativa para o tratamento individual de preparo do solo $F (2, 117) = 0,526, p < 0,100$, já para a profundidade de 10 a 20 cm apresentaram diferença estatística significativa $F (2, 117) = 191,243, p < 0,000$, porém para a variável de cultura antecedente os valores mostram diferença estatística significativa para as duas profundidades $F (4, 117) = 2,466, p < 0,050$; $F (4, 117) = 3,623, p < 0,008$ assim como a interação entre as duas variáveis na profundidade de 0 a 10 cm (Preparo do solo*cultura antecedente) ($F = (8, 117) = 4,143; 0,000$) e 10 a 20 cm $F (8, 117) = 28,575, p < 0,000$). Os estoques de carbono nos solos parecem estar relacionados ao sistema de preparo do solo tão quanto às culturas antecedentes. Os dados do teste Post-hoc apresentados na Tabela 3 descrevem as diferenças estatísticas significativas entre grupo para o teor de carbono orgânico do solo e o estoque de carbono.

Tabela 3 - Dados do Teor de carbono orgânico do solo (COS) e o Estoque de Carbono (EC) em diferentes preparos do solo e culturas antecedentes ao cultivo de milho verde na safra agrícola 2022.

Preparo do solo	CA	COS (g.kg ⁻¹)		EC (kg.m ²)	
		0-10 cm	10-20 cm	0 -10 cm	10-20 cm
CC	Caupí	1,11 ^(0,055) Ba	0,97 ^(0,016) Bab	1,95 ^(0,104) Aa	1,76 ^(0,049) Bab
	Guandu	0,96 ^(0,125) Ba	1,04 ^(0,127) Ba	1,70 ^(0,249) Aa	1,86 ^(0,204) Ba
	Crotalária	1,07 ^(0,116) Ba	0,81 ^(0,161) Bab	1,83 ^(0,259) Aa	1,46 ^(0,295) Bab
	Milheto	0,91 ^(0,058) Ba	0,87 ^(0,056) Bab	1,57 ^(0,121) Aa	1,58 ^(0,121) Ba
	Controle	0,56 ^(0,052) Bb	0,59 ^(0,059) Bb	0,96 ^(0,012) Ab	1,08 ^(0,032) Bb
CM	Caupí	1,41 ^(0,041) Aa	1,09 ^(0,077) Aab	2,08 ^(0,210) Aa	1,91 ^(0,073) Aab
	Guandu	1,27 ^(0,080) Aa	1,12 ^(0,045) Aa	1,99 ^(0,171) Aa	1,89 ^(0,123) Aa
	Crotalária	1,07 ^(0,192) Aa	0,84 ^(0,111) Aab	1,70 ^(0,272) Aa	1,45 ^(0,142) Aab
	Milheto	1,44 ^(0,184) Aa	1,16 ^(0,217) Aab	2,57 ^(0,498) Aa	2,19 ^(0,122) Aa
	Controle	1,24 ^(0,023) Ab	0,59 ^(0,097) Ab	2,11 ^(0,078) Ab	1,75 ^(0,061) Ab
PD	Caupí	0,85 ^(0,059) Ca	0,45 ^(0,035) Cab	1,39 ^(0,157) Aa	0,77 ^(0,067) Cab
	Guandu	0,92 ^(0,028) Ca	0,52 ^(0,117) Ca	1,61 ^(0,074) Aa	0,96 ^(0,213) Ca
	Crotalária	1,13 ^(0,188) Ca	0,76 ^(0,114) Cab	2,04 ^(0,245) Aa	1,43 ^(0,190) Cab
	Milheto	0,80 ^(0,036) Ca	0,45 ^(0,038) Cab	1,29 ^(0,199) Aa	0,79 ^(0,103) Ca
	Controle	0,38 ^(0,037) Cb	0,66 ^(0,065) Cb	0,65 ^(0,017) Ab	1,18 ^(0,032) Cb

Legenda: CA: Culturas antecedentes; CC: Cultivo Convencional; CM: Cultivo Mínimo; PD: Plantio Direto; COS: Carbono orgânico do solo e EC: Estoque de Carbono. Valores de Desvio Padrão estão sobrescritos em parêntese. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre as médias dos tratamentos do preparo do solo dentro da mesma profundidade e letras minúsculas diferenças significativas entre as médias dos tratamentos de culturas antecedentes dentro da mesma profundidade pelo teste de Post-hoc.

O teor de Carbono Orgânico do solo variou entre 0,38 g.kg⁻¹ a 1,44 g.kg⁻¹, sendo os menores valores correspondentes às parcelas controle (sem o efeito da cultura antecedente), o que era esperado, visto que, o uso de cultura antecedente promove entrada de COS através dos resíduos vegetais provenientes da presença e incorporação da palhada (SEMMARTIN et al., 2023).

Para os sistemas de preparo do solo associado às culturas antecedentes o que apresentou o maior teor de COS foi o CM (1,12 g.kg⁻¹), com 20,54% a mais que no CC e 38,39% em relação ao PD. Em geral, esperava-se que o sistema de PD promovesse maiores teores de COS, uma justificativa possível para este achado, dar-se pela espessura da palhada insuficiente para garantir que a taxa e a intensidade de decomposição da matéria orgânica fossem inferiores aos demais sistemas de cultivo. O benefício geral das culturas antecedentes sobre as entradas totais de COS depende de sua própria produção de biomassa (SEMMARTIN et al., 2023). O baixo teor de COS é considerado uma consequência da baixa retenção de resíduos da cultura (SIDDIQUE et al., 2023). Os dados observados nesta pesquisa foram semelhantes aos apresentados por Alves (2021), em que o autor avaliou o estoque de carbono orgânico nessa mesma área experimental e não foram obtidos maiores estoques de COS nas parcelas do PD.

A utilização das culturas antecedentes não apresentaram diferença estatística significativa na profundidade de 0-10 cm do solo. No entanto, a partir das análises subsequentes Post-hoc entre grupos, observa-se que dentre as culturas o Caupi/CM favoreceu o maior teor de COS para a profundidade de 0-10 cm do solo com $1,41 \text{ g.kg}^{-1}$. Para a profundidade de 10-20 cm o maior teor de COS foi proporcionado pelo Guandu com $1,12 \text{ g.kg}^{-1}$ (Tabela 3). Esses resultados corroboram com os achados em Ansari et al., (2022) que ao analisar a incorporação de adubos verdes, o uso de leguminosas no cultivo do milho apresentaram maior COS em relação ao uso de gramíneas. Em contrapartida, em experimento de longa duração, Jantalia et al., (2004) verificaram que a diversidade de espécies de culturas de rotação promoveu maior estoque de carbono ambos com o uso de leguminosas e gramíneas no PD. O uso de leguminosas em sistema de rotação aumenta a disponibilidade de N, que é essencial na estabilização do carbono (RIBEIRO et al., 2006). Ademias, o N das leguminosas (nitrogênio orgânico) é preferível pelos processos de síntese microbiana, confirmado por Testa et al., (1992) em seu estudo, onde o efeito das leguminosas foram evidentes no PD, apresentando aumento no teor de COS incluindo todas as leguminosas de origem tropical.

No PD, porém foi conferido os menores teores de COS, inferior em 62,32 % ao CM e 29 % ao CC. O uso do Milheto no PD conferiu o menor teor de COS, com $(0,80 \text{ g.kg}^{-1})$ na camada de 0-10 cm e $(0,45 \text{ g.kg}^{-1})$ na camada de 10-20 cm do solo, valor reduzido em 80 % e 61,20 % em relação ao Milheto/CM para a camada de 0-10 e 10-20 cm do solo, e 12,09 % e 48,28% ao Milheto/CC para a camada de 0-10 e 10-20 cm respectivamente. A redução do COS do no PD aos demais preparos do solo aqui analisados, pode estar relacionado a quantidade de fitomassa suficiente para cobrir permanentemente o solo reduzindo o impacto da cultura antecedente em resultar um balanço positivo de carbono (BLANCO-CANQUI, 2022).

Analizando em profundidade, em geral a maior quantidade de COS foi conferida na camada superficial de 0-10 cm (Tabela 3). Os teores de COS sob diferentes padrões de uso do solo mostraram uma tendência decrescente para o aumento da profundidade do solo, o que corrobora com achados em (WANG et al., 2023), maior teor de COS foi observado nas camadas superficiais do solo de 0 a 10 cm, seguida pelas camadas de solo de 10 a 20 e 20 a 30 cm, o que também corrobora com os achados em (SIDDIQUE et al., 2023), onde as culturas antecedentes aumentaram os teores de carbono nos primeiros 20 cm do perfil do solo.

O Estoque de Carbono (EC) não diferiu para a interação do efeito entre preparo do solo na profundidade de 0 a 10 cm de solo. Mas observa-se dentre os sistemas com maior EC, destaca-se o cultivo mínimo. O CM foi o sistema que proporcionou o maior EC no solo na

profundidade de 10 a 20 cm, com 16% ao passo do CC e 44% ao PD (Tabela 3). Para o CM, o Milheto foi a cultura antecedente que proporcionou o maior valor de EC entre as condições avaliadas com 2,57 kg.m² na profundidade de 0 a 10 cm e 2,19 kg.m² na profundidade de 10 a 20 cm, possivelmente devido as gramíneas possuir resíduos com maior relação C/N, e maior densidade radicular, o que pode ter resultado na persistência da palha no solo por mais tempo (VUJIĆ et al., 2021). Embora, o caupi e guandu apresente os maiores teores de COS, o milho destacou-se no maior estoque de carbono em kg.m², possivelmente devido a maior produção de matéria seca, o que proporcionou maior EC a esse sistema (CM/Milheto).

O aporte de resíduos com baixa relação C/N, como as leguminosas Caupi e Guandu, nas condições edafoclimáticas do presente estudo favorecem sua rápida decomposição, o que normalmente pode diminuir o aporte de matéria orgânica do solo e consequente COS, porém além dos resíduos vegetais das culturas antecedentes, o aporte de resíduo em maior volume do milho que é uma gramínea de alta relação C/N, favorece uma lenta decomposição e aumento do teor de COS, o que foi comprovado em estudos obtidos por Costa et al., (2008), comprovando que a adição diferenciada de resíduos vegetais ao solo, durante condução experimental obteve maior estoque de carbono orgânico do solo na camada de 0-20 cm sob plantio direto no cultivo do milho associado a uma leguminosa em comparado ao uso do milho sob cobertura com gramínea. Mostrando o feito positivo da leguminosa pelo fornecimento de N em contribuir com o aumento da produção de fitomassa. Dessa forma, práticas de manejo que produzam mais palhada devem ser realizadas para manter os solos mais protegidos na região estudada aumentando o estoque de carbono orgânico no solo.

Os menores EC foram evidenciados nas parcelas controle (sem culturas antecedentes). O PD/Caupi na profundidade de 10 a 20 cm, apresentou o menor EC (0,77 kg.m²) entre as condições avaliadas. O manejo para o sistema do PD pode resultar em um acúmulo de serapilheira na superfície do solo, onde pode ser potencialmente propenso a perdas por erosão eólica e hídrica, por exemplo, reduzindo ainda mais o impacto da cultura antecedente no COS (ANUO et al., 2023).

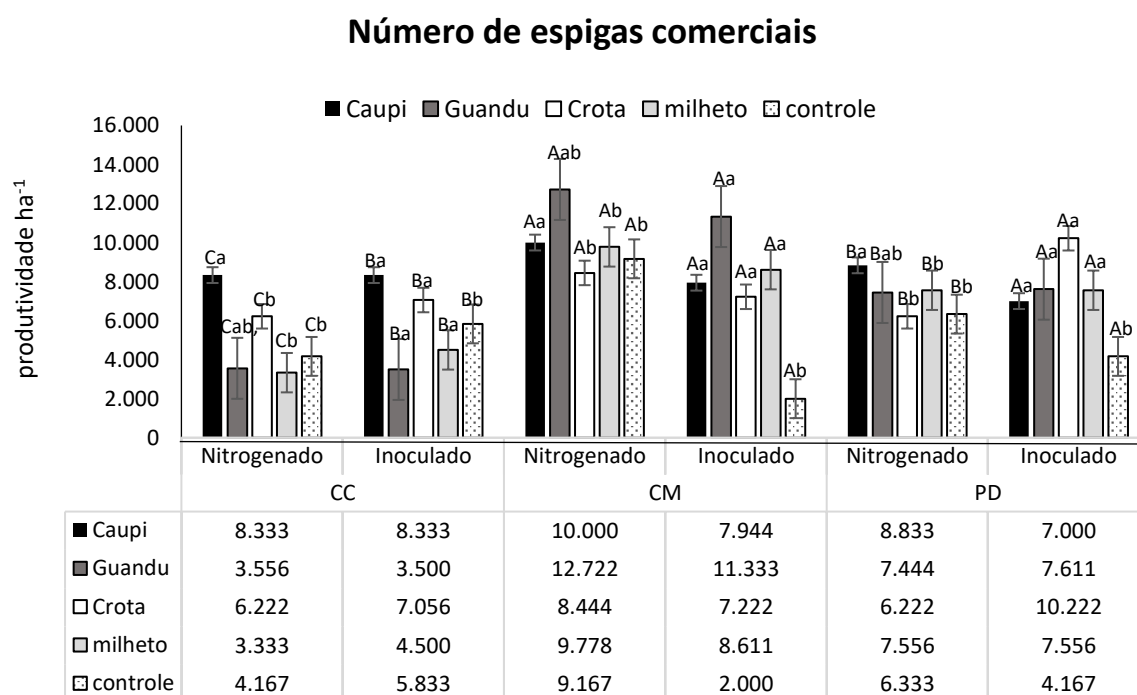
Portanto, o EC no solo depende do equilíbrio entre a adição insumos de C (resíduos de colheita, exsudatos de raízes, biomassa de raízes, etc.) e perdas de C (respiração por organismos do solo, erosão, etc) assim como, também é influenciado pela quantidade de resíduos acumulados, sua qualidade e taxa de decomposição (CHEN et al., 2020, ALMAGRO et al., 2021).

2.2.3 Produtividade do milho verde

A análise descritiva da ANOVA para a produtividade do milho, traduzida em números de espigas comerciais de milho verde, considerando as variáveis preparo do solo e culturas antecedentes com o tratamento nitrogenado e o inoculado respectivamente apresentaram diferença estatística significativa, tanto para os dados individuais de preparo do solo ($F = (2, 117) = 64.145; p < 0,000$); ($F = (2, 117) = 3.886; p < 0,024$) também para cultura antecedente ($F = (4, 117) = 7.788; p < 0,000$); ($F = (4, 117) = 5.045; p < 0,001$) assim como a interação entre as duas variáveis (preparo do solo*cultura antecedente) ($F = (8, 117) = 7.734; p < 0,000$); ($F = (8, 117) = 6.208; p < 0,000$).

Observa-se que o sistema que apresentou em média maior número de espigas comerciais/ha para os dois tratamentos de adubação foi o CM, e este por sua vez, conferiu 27,38% maior produtividade quando associado a adubação nitrogenada. Para o tratamento nitrogenado o CM foi maior (10.022 espigas), ao passo do PD (7.422 espigas) e o CC (5.122 espigas) que apresentaram diferença estatística significativa. Para o tratamento inoculado o CM foi maior (7.422 espigas), ao passo do PD (7.311 espigas) e o CC (5.122 espigas) não apresentando diferença estatística entre o CM e PD como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Número de espigas comerciais de milho verde cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo associado ao uso de culturas antecedentes e adubação total nitrogenada ou inoculada com *Azospirillum brasilense* na safra agrícola de 2022.



Legenda: CC: Cultivo Convencional; CM: Cultivo Mínimo; PD: Plantio Direto. Letras maiúsculas diferentes (A,

B, C) indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre preparos do solo e letras minúsculas (a, b, c) diferença significativas ($p < 0,05$) entre culturas antecedentes pelo teste de Post-hoc.

Ao analisar a interação entre as culturas antecedentes sob os diferentes preparos do solo e as formas de adubação, quando utilizada o nitrogenado com 100% da dose recomendada de N no Cultivo Mínimo, a produtividade foi estatisticamente significativa e superior aos demais sistemas nesta mesma condição. No CM, o Guandu (12.722 espigas) foi a cultura que favoreceu o maior número de espigas comerciais do milho juntamente com a adubação nitrogenada, sendo superior em 10,92% o tratamento inoculado (11.333 espigas) neste mesmo sistema. Ao passo do Guandu, o feijão-caupi no CM também foi uma cultura que favoreceu uma boa produtividade (10.000 espigas) sob 100% da dose de N e superior 20,56% ao tratamento inoculado. Produtividade elevada também foi observada no PD associado a Crotalaria (10.222 espigas) para o tratamento inoculado sendo superior em 39,13% ao nitrogenado.

Os resultados apresentados corroboram com estudos recentes que mostram que as leguminosas podem aumentar gradualmente o estoque de COS, a estabilidade dos macroagregados e aumentar consequentemente o rendimento das culturas subsequente (JIANG et al., 2023), corroborando com os resultados obtidos em trabalho semelhante de Silva (2022). As leguminosas são as plantas mais utilizadas na adubação verde devido, principalmente, ao fato de incorporarem grandes quantidades de N ao solo, possuindo bom desenvolvimento em solos de reduzida fertilidade (OLIVEIRA et al., 2021), e quando em condições de manutenção de resíduos vegetais por longos períodos como é o caso do experimento.

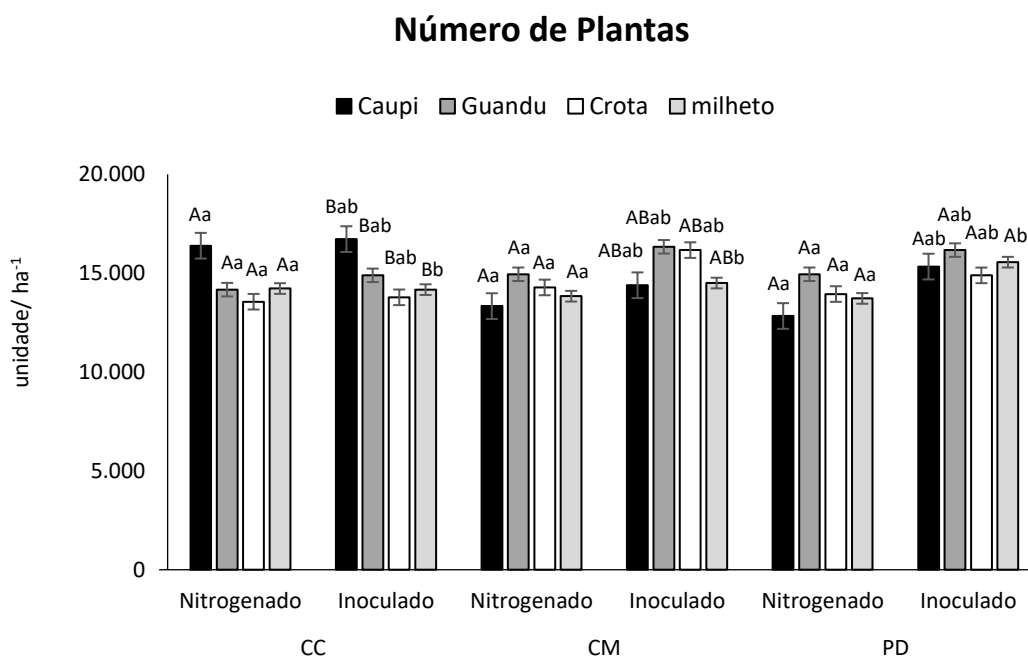
A menor produtividade foi conferida no CC, tanto para o tratamento nitrogenado como o inoculado que apresentaram em média o mesmo número de espigas comerciais (5.122 espigas). O Milheto conferiu a menor produtividade neste sistema tanto para o tratamento nitrogenado (3.333 espigas), como para o tratamento inoculado (4.500 espigas). Quando observado as parcelas controle, a produtividade foi significativamente menor em relação as parcelas cultivadas com as culturas antecedentes, ressaltando a importância dessa tecnologia ambientalmente sustentável para o aumento na produtividade do milho.

Ao utilizar a inoculação de *Azospirillum brasilense* com redução de 50% no uso de nitrogênio no CC, o número de espigas comerciais foi maior com o uso da Crotalaria e Milheto, já com o uso do feijão-caupi e Guandu apresentaram iguais números de espigas comerciais para os dois tratamentos de adubação. Esses resultados se associam as dificuldades de se avaliar a inoculação em condições de campo, pois a eficácia inconsistente de inoculantes

microbianos pode ser explicada por vários fatores bióticos e abióticos não controlados que podem atuar contra a sobrevivência do microrganismo introduzido (FERRAREZI et al., 2022), além dos diferentes preparos do solo que associados às culturas antecedentes modificam a estrutura e a diversidade de grupos de bactérias relacionadas à qualidade do solo (LEITE et al., 2021).

Ao analisar o número de plantas do milho não foi identificada alterações no número de plantas pelo uso de culturas antecedentes nos diferentes preparos do solo no tratamento nitrogenado (Figura 3). No entanto, a partir das análises de Post-hoc o CM apresentou maior valor no número de plantas dentre os sistemas de preparo do solo. Para o tratamento inoculado o sistema de preparo do solo que apresentou maior estande de plantas foi o PD (61.944 plantas/ha⁻¹) ao passo do CM (61.389 plantas/ha⁻¹) que difere estatisticamente dos resultados obtidos pelo CC (59.556 plantas/ha⁻¹) sendo superior em 3,86 % . O Guandu foi a cultura antecedente ao milho que mais favoreceu o maior número de plantas tanto para o tratamento nitrogenado (44.056 plantas/ha⁻¹) como o inoculado (47.389 plantas/ha⁻¹), sendo o estande de plantas superior 7,03% quando utilizado o inoculante. Já o uso do Milheto como cultura antecedente sob 50 % da dose de N com inoculante apresentou o menor número de plantas com 44.222 plantas/ha⁻¹.

Figura 3 - Número de Plantas de milho cultivado sob diferentes preparos do solo associado ao uso de culturas antecedentes e adubação nitrogenada e inoculada com *Azospirillum brasilense* na safra agrícola de 2022.



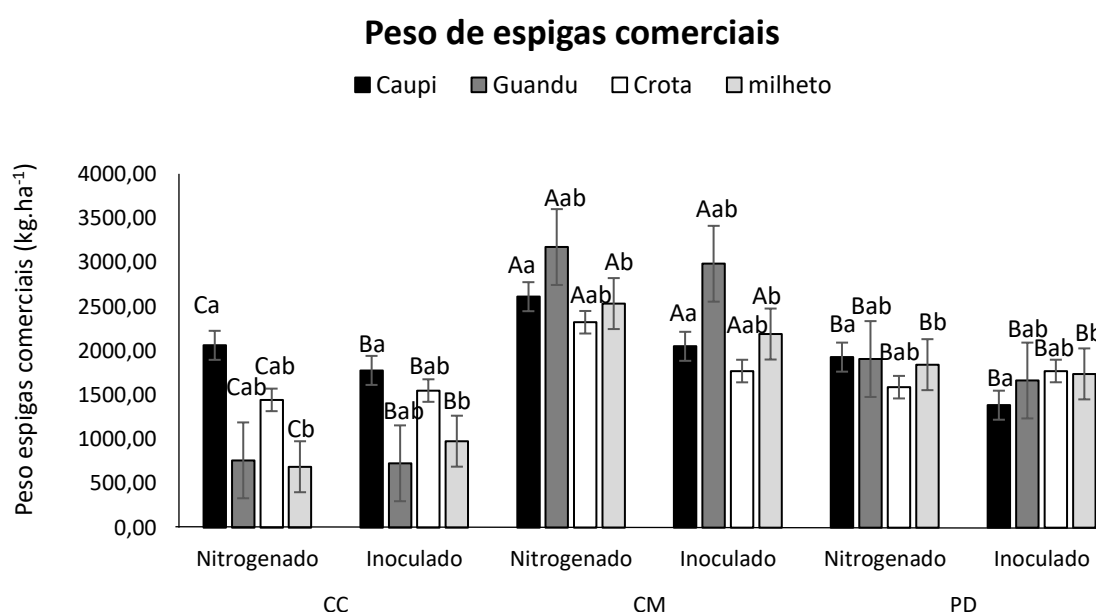
Legenda: CC: Cultivo Convencional; CM: Cultivo Mínimo; PD: Plantio Direto. Letras maiúsculas diferentes (A, B, C) indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre preparos do solo e letras minúsculas (a, b, c) diferença significativas ($p < 0,05$) entre culturas antecedentes pelo teste de Post-hoc.

A associação com *Azospirillum brasilense* usado como inoculante promove melhor crescimento e desenvolvimento em plantas de milho devido à fixação biológica de N, capacidade de auxiliar na síntese de fitohormônios e aumento da atividade da membrana, levam a maiores absorções de nutrientes e água, mitigação do estresse abiótico, potencializando o desenvolvimento vegetal (PELLOSO et al., 2023), o que garantiu o crescimento vegetal aqui observado.

A presença da adubação nitrogenada, assim como a utilização da inoculação de *Azospirillum brasilense* com redução de 50% no uso de nitrogênio foram determinantes para o peso de espigas comerciais no CM (Figura 4). A associação de todas as culturas antecedentes que diferem entre si neste sistema sob adubação nitrogenada superou o tratamento inoculado, onde o Guandu foi a cultura que favoreceu o maior peso de espigas comerciais em 7,96% neste sistema.

O uso do feijão-caupi sob os dois tratamentos de adubação proporcionou maior peso de espigas comerciais no CC, sendo superior 13,73% quando aplicado 100% a dose de N neste sistema. No PD o uso das culturas com tratamento nitrogenado aumenta o peso de espigas comerciais em comparação ao tratamento inoculado. O feijão-caupi com 1.928 kg.ha⁻¹ foi a cultura que favoreceu o maior peso neste sistema quando aplicado a adubação nitrogenada, ao passo do Guandu com 1.906 kg.ha⁻¹.

Figura 4 - Peso de espigas comerciais de milho verde cultivado sob diferentes preparos do solo associado ao uso de culturas antecedentes e adubação nitrogenada e inoculada com *Azospirillum brasilense* na safra agrícola de 2022.



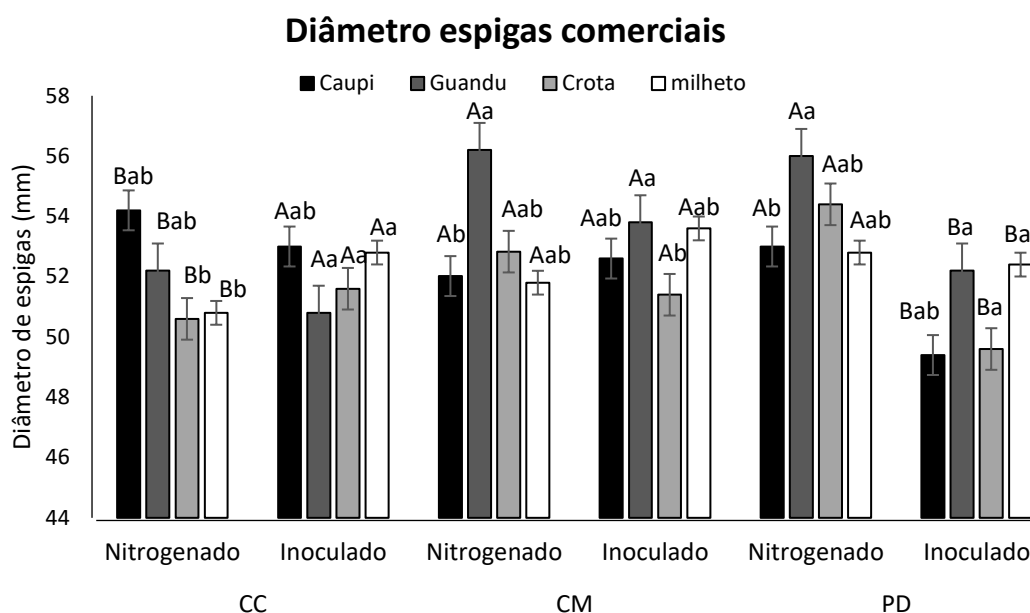
Legenda: CC: Cultivo Convencional; CM: Cultivo Mínimo; PD: Plantio Direto. Letras maiúsculas diferentes (A, B, C) indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre preparos do solo e letras minúsculas (a, b, c) diferença significativas ($p < 0,05$) entre culturas antecedentes pelo teste de Post-hoc.

Em geral, os resultados apontam o feijão-caupi como a cultura que favoreceu maior peso de espigas comerciais em todos os sistemas de preparo do solo quando associado a adubação nitrogenada sendo superior 11,53% ao Guandu. O feijão-caupi pode ter aumentado o N do solo devido a sua baixa relação C/N, que aumenta a mineralização dos resíduos da planta, particularmente a fixação biológica de nitrogênio, e a disponibilidade de nutrientes que favoreceu maior peso as espigas (BHUTANI et al., 2021).

Em contrapartida quando utilizado o Milheto, os resultados apontam como a cultura que favoreceu o menor peso de espigas comerciais sob tratamento nitrogenado entre todos os sistemas de preparo do solo, sendo 30% inferior ao feijão-caupi que apresentou maior peso de espigas comerciais.

Ao analisar o diâmetro das espigas comerciais de milho maiores de 30 mm segundo Pereira Filho et al. (2002) como parâmetros de produtividade, observa-se que a cultura que proporcionou maior diâmetro a espiga de milho tanto no CM como no PD foi o Guandu com 56 mm quando aplicada a adubação nitrogenada (Figura 5). No CC, o feijão-caupi favoreceu o maior diâmetro para os dois tratamentos de adubação, sendo superior no nitrogenado com 54 mm. A Crotalária contribuiu com o menor diâmetro das espigas comerciais quando avaliado os sistemas de preparo do solo associado às culturas antecedentes sob os tratamentos de adubação.

Figura 5 - Diâmetro de espigas comerciais de milho verde cultivado sob diferentes preparos do solo associado ao uso de culturas antecedentes e adubação nitrogenada e inoculada com *Azospirillum brasilense* na safra agrícola de 2022.



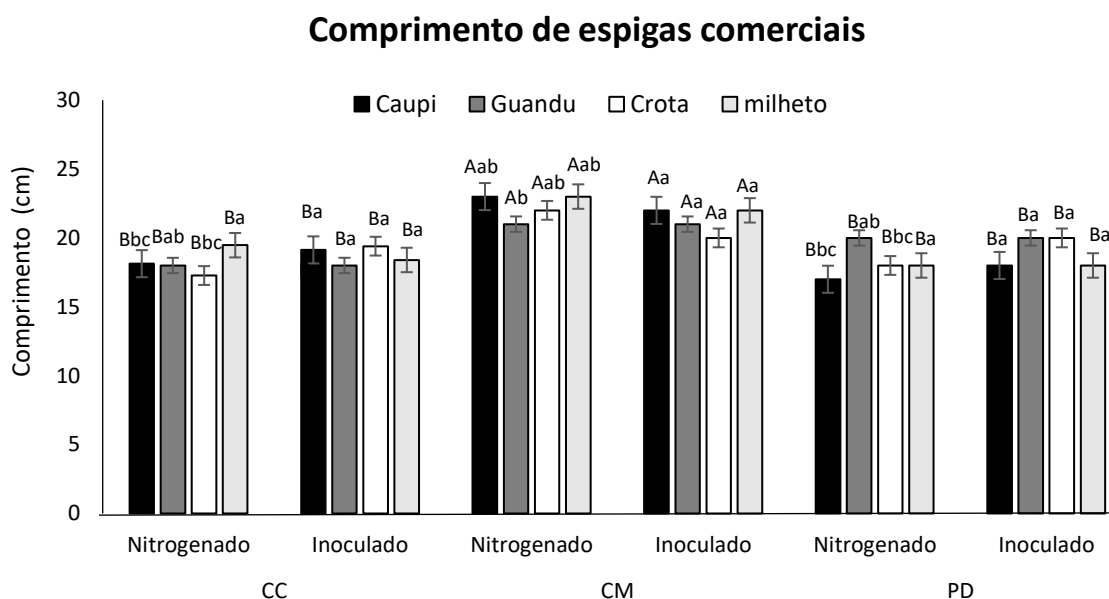
Legenda: CC: Cultivo Convencional; CM: Cultivo Mínimo; PD: Plantio Direto. Letras maiúsculas diferentes (A, B, C) indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre preparos do solo e letras minúsculas (a, b, c) diferença significativas ($p < 0,05$) entre culturas antecedentes pelo teste de Post-hoc.

Fonte: SANTOS, J. A. Elaborada com dados da autora, 2022.

Ao avaliar o comprimento de espigas de milho verde como parâmetro de produtividade, para o tratamento inoculado observa-se que a aplicação do inoculante pelo uso de culturas antecedentes nos diferentes sistemas de preparo do solo não modificou o comprimento. No entanto, o comprimento da espiga foi alterado quanto ao preparo do solo, sendo em média maior no CM (21 cm), enquanto CC (19 cm) e PD (19 cm) não diferiram. Para o tratamento nitrogenado, o CM também conferiu em média maior comprimento (22 cm) ao uso de culturas antecedentes (Figura 6).

No CM o milho e feijão-caupi conferiram maior comprimento de espigas comerciais (23 cm) onde foi observado maior efeito da adubação nitrogenada com 4,35% quando comparado ao inoculado neste mesmo sistema. No CC, a cultura que mais favoreceu no maior comprimento de espiga foi o Milheto com adubação nitrogenada e a Crotalária juntamente com o inoculante. Por sua vez, no PD, o Guandu foi quem conferiu maior comprimento as espigas, sendo maior 9% quando inoculado comparado ao nitrogenado neste mesmo sistema.

Figura 6 - Comprimento de espigas comerciais de milho verde cultivado sob diferentes preparos do solo associado ao uso de culturas antecedentes e adubação nitrogenada e inoculada com *Azospirillum brasilense* na safra agrícola de 2022.



Legenda: CC: Cultivo Convencional; CM: Cultivo Mínimo; PD: Plantio Direto. Letras maiúsculas diferentes (A, B, C) indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre preparos do solo e letras minúsculas (a, b, c) diferença significativas ($p < 0,05$) entre culturas antecedentes pelo teste de Post-hoc.

Em geral, o CM proporcionou maior comprimento de espigas comerciais dentre os demais sistemas de preparo do solo que apresentaram comprimento acima do considerado comercial maiores que 15 cm (PEREIRA FILHO, 2002), tanto para o tratamento nitrogenado e como para o inoculado, com 22cm e 21cm respectivamente. Demais sistemas de preparo do solo associados às culturas antecedentes apresentaram menor e iguais comprimento de espigas comerciais com 18 cm para o tratamento nitrogenado e 19 cm para o inoculado.

A redução de 50% de N com a inoculação de *Azospirillum brasilense* nos diferentes preparos do solo associado às culturas antecedentes, apresentou efeito semelhante ao uso da dose total de N para o comprimento das espigas do milho, confirmando ser uma estratégia sustentável que pode ser utilizada reduzindo os impactos ambientais e aumentando a produção de alimentos com menores custos de produção (GUO te al, 2023).

A tabela 4 apresenta os resultados da correlação de Pearson sobre os parâmetros físicos do solo e o carbono Orgânico com os parâmetros de produtividade do milho verde. Correlação forte, positiva e significativa entre EC e densidade ($r = 0,968^{**}$, $p < 0,01$) na profundidade de 0 a 10 cm e na profundidade de 10 a 20 cm ($r = 0,960^{**}$, $p < 0,01$). Já na profundidade de 10 a 20 cm o efeito do estoque de carbono foi moderadamente correlacionado com o comprimento de espigas no tratamento nitrogenado ($r = 0,543$, $p < 0,01$).

Observa-se que uma maior adição de biomassa e subsequente aumento do teor de COS e do Estoque de carbono pode ser um dos fatores que mais influenciaram na densidade do solo com a presença de bioporos deixados pela senescência das raízes da cultura antecedente, bem como a infiltração de água no solo, não apresentando indícios de compactação (BLANCO-CANQUI E RUIS, 2020) o que pode contribuir como ganhos de produtividade das culturas subsequentes.

Tabela 4 - Coeficiente de correlação de Pearson entre os parâmetros de densidade (DS); resistência mecânica à penetração (RMP); carbono orgânico do solo (COS); estoque de carbono (EC); número de plantas (NP); altura de plantas (NA); número de espigas comerciais (NEC); diâmetro espiga comercial (DEC); comprimento espigas comerciais (CEC); tratamento nitrogenado (N) e tratamento inoculado (I). Nota: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$.

[illegible]

Ao analisar os impactos na produtividade do milho verde a partir de diferentes densidades de solo em sucessão as culturas antecedentes analisadas (método *forward*) (EFRON et al., 2004) observaram-se de modo geral que, os resultados de densidade para o CC apresenta diferença significativa para o milho, tanto na profundidade 0-10 cm como na profundidade de 10-20 cm para a produtividade com tratamento nitrogenado ($F(2,8) = 14,320$, $p < 0,005$; $R^2_{ajustado} = 0,769$), demais culturas antecedentes testadas, não apresentaram diferença significativas.

Dentre as culturas antecedentes foi observado que o milho com tratamento nitrogenado demonstra maior impacto em sua produtividade em relação a densidade ($B = -37.679,367$; $t = -5,277$, $p = 0,002$), na profundidade de 0-10 cm e ($B = 28.122,060$; $t = 2,694$; $p = 0,036$) profundidade de 10-20 cm. Demais culturas não representaram impacto significativo (Tabela 5), valores de beta negativo indicam que a variável independente (neste caso a densidade do solo) impacta negativamente a variável dependente (produtividade).

Considerando que o valor de beta é obtido a partir da análise das variáveis independente isoladamente, os dados demonstram que a produtividade do milho verde diminui em 37,69 espigas de milho verde por hectare para o tratamento nitrogenado e aumenta em 28,12 espigas de milho verde por hectare a cada $g.cm^{-3}$ do solo na camada de 10-20 cm do solo cultivado sob cobertura com milho.

Tabela 5 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do preparo convencional do solo associado às culturas antecedentes no parâmetro de produtividade do milho verde determinada pelo número de espigas comerciais com tratamento nitrogenado (100% N - sem inoculação) a partir do parâmetro da densidade do solo.

CA	Preparo Convencional do solo							
	Densidade do solo x Produtividade (Nitrogenado)							
	(0 – 10 cm)				(10 – 20 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	-7.701,741	-0,306	0,770	0,495	4.8017,385	2,330	0,059	0,495
Guandu	-6.115,773	-0,682	0,520	0,257	1.283,607	0,052	0,960	0,257
Milheto	-37.679,397	-5,277	0,002	0,827	28.122,060	2,694	0,036	0,827
Crotalária	-43.330,367	-1,340	0,229	0,324	19.706,074	1,511	0,182	0,324

Legenda: CA: Culturas antecedentes; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R²: coeficiente de determinação.

Os valores de densidade presente nas amostras de solo coletadas nas parcelas submetidas ao CC apresentaram diferenças significativas para o milho, na profundidade 0-10 cm para a produtividade com tratamento inoculado $F(2,8) = 9,024$, $p < 0,016$; $R^2_{ajustado} = 0,667$), demais culturas antecedentes testadas, não apresentaram diferença estatística significativas. Dentre as culturas antecedentes, as parcelas cultivadas a cultura que mais

impactou na produtividade com tratamento inoculado foi o milho com cerca de ($B = -59.055,602$; $t = -4,191$, $p = 0,006$), na profundidade de 0-10 cm. Demais culturas não representaram impacto significativo (Tabela 6).

Considerando que o valor de beta é a partir da análise das variáveis independente isoladamente, os dados demonstram que a cada g.cm^{-3} do solo na camada 0-10 cm cultivado sob CC considerando o milho, a produtividade do milho verde diminui em 59 espigas de milho verde por hectare para o tratamento inoculado.

Tabela 6 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do preparo convencional do solo associado às culturas antecedentes no parâmetro de produtividade do milho verde determinada pelo número de espigas comerciais com tratamento inoculado (100% N - com inoculação) a partir do parâmetro da densidade do solo.

CA	Preparo Convencional do solo							
	Densidade do solo x Produtividade (Inoculação)							
	(0 – 10 cm)				(10 – 20 cm)			
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	R^2	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	R^2
Caupi	8.113,356	1,123	0,304	0,395	10.533,479	1,781	0,125	0,395
Guandu	-7.709,546	-1,072	0,325	0,161	18.846,758	0,947	0,380	0,161
Milheto	-59.055,602	-4,191	0,006	0,750	17.100,797	0,830	0,438	0,750
Crotalária	1.817,850	0,269	0,797	0,307	3.649,149	1,339	0,229	0,307

Legenda: CA: Culturas antecedentes; Coeficiente β : valor de influência; t : poder de influência; sig.: a existência real da influência; R^2 : coeficiente de determinação.

Os resultados de densidade do solo para o sistema de PD apresentaram diferença estatística significativa para a produtividade com o tratamento nitrogenado ($F(2,8) = 6,611$, $p < 0,030$; $R^2_{\text{ajustado}} = 0,584$). Dentre as culturas antecedentes a que mais impactou na produtividade foi o a cultura antecedente do feijão-caupi com cerca de ($B = -17.003,612$; $t = -2,593$, $p = 0,041$), na profundidade de 10 a 20 cm. Demais culturas antecedentes não representaram impacto significativo (Tabela 7). Os dados demonstram que a produtividade diminui em 17,00 espigas de milho verde por hectare para o tratamento nitrogenado a cada g.cm^{-3} do solo na camada de 10-20 cm do solo cultivado sob PD e a cobertura vegetal do feijão-caupi.

Tabela 7 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do Plantio Direto associado às culturas antecedentes no parâmetro de produtividade do milho verde determinada pelo número de espigas comerciais com tratamento nitrogenado (100% N - sem inoculação) a partir do parâmetro da densidade do solo.

CA	Sistema de Plantio Direto							
	Densidade do solo x Produtividade (Nitrogenado)							
	(0 – 10 cm)				(10 – 20 cm)			
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	R^2	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	R^2
Caupi	5.888,689	0,983	0,364	0,688	-17.003,612	-2,593	0,041	0,688

Guandu	-71.150,130	-2,166	0,073	0,515	11348,839	0,439	0,676	0,515
Milheto	100,191	0,450	0,668	0,268	2869,365	1,445	0,199	0,268
Crotalária	-3.610,755	-0,882	0,418	0,419	906,230	0,246	0,815	0,419

Legenda: CA: Culturas antecedentes; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R²: coeficiente de determinação.

Os valores de densidade presente nas amostras de solo coletadas nas parcelas submetidas ao PD não apresentaram diferenças significativas entre as culturas antecedentes para a produtividade com tratamento inoculado (2,8) =3,180, $p < 0,114$; R²_{ajustado} =0,353). Dentre as culturas antecedentes a cultura que mais impactou na produtividade com tratamento inoculado foi o feijão-caupi com cerca de (B=14.568,893; $t = 2,364$, $p = 0,056$), na profundidade de 10-20 cm. Demais culturas não representaram impacto significativo (Tabela 8). Considerando que o valor de beta é obtido a partir da análise das variáveis independente isoladamente, os dados demonstram que a cada g.cm⁻³ do solo na camada 10-20 cm cultivado sob PD e feijão-caupi, a produtividade do milho verde aumenta em 14,56 espigas de milho verde por hectare.

Tabela 8 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do Plantio Direto associado às culturas antecedentes no parâmetro de produtividade do milho verde determinada pelo número de espigas comerciais com tratamento inoculado (100% N - com inoculação) a partir do parâmetro da densidade do solo.

CA	Sistema de Plantio Direto							
	Densidade do solo x Produtividade (Inoculado)							
	(0 – 10 cm)				(10 – 20 cm)			
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	R ²	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	R ²
Caupi	-9.089,199	-1,614	0,158	0,515	14.568,893	2,364	0,056	0,515
Guandu	-25.671,660	-1,201	0,275	0,276	1.567,518	0,093	0,929	0,276
Milheto	-237,102	-0,239	0,819	0,042	-4.174,260	-0,471	0,655	0,042
Crotalária	-25.270,917	-0,903	0,408	0,247	1.543,788	0,061	0,953	0,247

Legenda: CA: Culturas antecedentes; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R²: coeficiente de determinação.

Ao analisar os impactos na produtividade do milho verde a partir de diferentes densidades de solo em sucessão as culturas antecedentes, os dados demonstram que a utilização do milheto impacta negativamente a produtividade, diminuindo o número de espigas de milho verde por hectare como evidenciado no CC para os dois tratamentos de adubação, que aliada a práticas não conservacionistas do solo apresenta maior valor de densidade para as duas profundidades do solo, aumentando a resistência do solo à penetração e consequentemente, contribui para a redução da produtividade de espigas de milho verde.

Em contrapartida, a utilização de espécies de leguminosas possui raiz pivotante que

penetra com facilidade em solos compactados e adensados (CHERUBIN et al., 2022) sendo uma opção viável para reduzir a RMP do solo e contribuir com melhor produtividade.

A retenção de resíduos culturais de leguminosas pode melhorar as principais propriedades de qualidade do solo, como a entrada de carbono no solo, particularmente o estoque total de carbono orgânico, que intensifica na melhoria da produtividade do sistema (ANSARI et al., 2022). Assim, foi realizada uma análise de regressão linear múltipla (método *forward*) (EFRON et al., 2004) com objetivo de investigar em que medida o estoque de carbono obtidos nas profundidades (0-10 cm e 10-20 cm) do solo após quatro culturas antecedentes e cultivados com três sistemas de preparo do solo impactam na produtividade do milho verde para os dois tratamentos (nitrogenado e inoculado).

De modo geral, os resultados de Estoque de Carbono (EC) para o tratamento nitrogenado apresentaram diferenças significativas para as culturas antecedentes testadas, tanto para o nitrogenado ($F(2,117) = 64,145, p < 0,000$) quanto no inoculado ($F(2, 117) = 3,886, p < 0,024$). Este resultado demonstra que os valores de EC obtidos por diferentes culturas antecedentes influenciou significativamente na produtividade.

O EC presente nas amostras de solo coletadas nas parcelas submetidas as culturas antecedentes no cultivo convencional, apresentou influência significativa sob a produtividade com tratamento nitrogenado. Dentre as culturas antecedentes as parcelas cultivadas a cultura que mais impactou na produtividade com tratamento nitrogenado foi o Guandu na profundidade de 0-10 cm com cerca de ($B = -21,242; t = -2,985, p = 0,024$) e na profundidade de 10-20 cm ($B = 23,648; t = 2,922, p = 0,027$) e o Milheto na profundidade de 0-10cm com cerca de ($B = -25,390; t = -6,329, p = 0,001$) e na profundidade de 10-20 cm ($B = 4,049; t = 4,541, p = 0,004$), demais culturas não representaram impacto significativo (Tabela 9).

Tabela 9 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência dos sistemas de preparo do solo sob culturas antecedentes na produtividade do milho com tratamento nitrogenado a partir do estoque de carbono orgânico.

CA	Cultivo Convencional 100% N - sem Inoculante							
	(0 – 10 cm)				(10 – 20 cm)			
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²
EC Caupi	-11,896	-0,590	0,577	0,583	22,485	2,247	0,066	0,583
EC Guandu	-21,242	-2,985	0,024	0,604	23,648	2,922	0,027	0,604
EC Milheto	-25,390	-6,329	0,001	0,897	14,049	4,541	0,004	0,897
EC Crotalária	-22,725	-1,607	0,159	0,304	-3,859	-0,378	0,719	0,304

Legenda: CA: Culturas Antecedentes; EC: Estoque de Carbono; Coeficiente β : valor de influência; *t*: poder de influência; sig.: a existência real da influência; *R*²: coeficiente de determinação.

Assim como os resultados EC para o tratamento nitrogenado, os valores para o tratamento inoculado para o cultivo convencional apresentam diferenças significativas entre as culturas antecedentes testadas. Dentre as culturas antecedentes, o Milheto foi significativamente atuante na produtividade que as demais culturas antecedentes, com ($B = -47,690$; $t = -7,258$, $p = 0,000$). Considerando que o valor de beta é obtido a partir da análise das variáveis independente isoladamente, os dados demonstram que produtividade do milho verde diminui em 47,69 espigas de milho verde por hectare para o tratamento inoculado a cada kg.m^2 nos particulados na camada de 0-10 cm do solo cultivado com o milheto no CC, conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência dos sistemas de preparo do solo sob as culturas antecedentes na produtividade do milho com tratamento inoculado a partir do estoque de carbono orgânico.

CA	Cultivo Convencional 50% N - com Inoculante							
	(0 – 10 cm)				(10 – 20 cm)			
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	R^2	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	R^2
EC Caupi	6,065	0,905	0,400	0,331	5,708	1,717	0,137	0,331
EC Guandu	4,661	0,730	0,493	0,442	-11,008	-1,516	0,180	0,442
EC Milheto	-47,690	-7,258	0,000	0,898	6,559	1,294	0,243	0,898
EC Crotalária	1,116	0,338	0,747	0,109	-1,775	-0,744	0,485	0,109

Legenda: CA: Culturas Antecedentes; EC Estoque de Carbono; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R^2 : coeficiente de determinação.

O preparo do solo mínimo apresentou impacto significativo na produtividade para o tratamento nitrogenado para o estoque de carbono na profundidade de 0-10 cm, porém para as amostras entre 10-20 cm não apresentaram diferenças significativas. As culturas antecedentes cultivadas que representam uma maior influência na produtividade a partir do estoque de carbono de 0 a 10 cm do solo foram o feijão-caupi ($B = -11.999,060$; $t = -4,493$, $p = 0,004$) e a Crotalária ($B = -29.672,526$; $t = -3,215$, $p = 0,018$) conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência dos sistemas de preparo do solo sob as culturas antecedentes na produtividade do milho com tratamento nitrogenado a partir do estoque de carbono orgânico.

CA	Cultivo Mínimo 100% N - sem Inoculante							
	(0 – 10 cm)				(10 – 20 cm)			
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	R^2	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	R^2
EC Caupi	-11.999,060	-4,493	0,004	0,771	-2,797	-1,713	0,137	0,771
EC Guandu	16,314	1,533	0,176	0,332	0,488	0,047	0,964	0,332
EC Milheto	2,204	1,344	0,228	0,232	-1,532	-1,340	0,229	0,232
EC Crotalária	-29.672,526	-3,215	0,018	0,641	19,243	0,861	0,422	0,641

Legenda: CA: Culturas Antecedentes; EC Estoque de Carbono; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R^2 : coeficiente de determinação.

Considerando que o valor de beta é obtido a partir da análise das variáveis independente isoladamente, os dados demonstram que a produtividade do milho verde diminui em 11,99 espigas de milho verde por hectare para o tratamento nitrogenado a cada kg.m^2 do solo na camada de 0-10 cm sob o CM e o uso do feijão-caupi, e diminuiu 29,67 espigas de milho verde por hectare sob cobertura com crotalária.

O uso do tratamento inoculado para o preparo do solo mínimo apresentou impacto significativo para as amostras coletadas na camada de 0-10 cm do solo, apresentando maior influência o feijão-caupi ($B = -26.485,372$; $t = -3,664$, $p = 0,011$) e a Crotalária ($B = -44.373,231$, $t = -3,083$, $p = 0,022$) conforme Tabela 12. Considerando que o valor de beta é obtido a partir da análise das variáveis independente isoladamente, os dados demonstram que a produtividade do milho verde diminui em 26,48 espigas de milho por hectare para o tratamento inoculado a cada kg.m^2 na camada de 0-10 cm, e diminui em 44,37 espigas de milho verde por hectare a cada kg.m^2 do solo sob cultivo com cobertura da crotalária.

Tabela 12 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência dos sistemas de preparo do solo sob as culturas antecedentes na produtividade do milho com tratamento inoculado a partir do estoque de carbono orgânico.

CA	Cultivo Mínimo 50% ureia - com Inoculante							
	(0 – 10 cm)				(10 – 20 cm)			
	Coefficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coefficiente Beta	t	Sig.	R ²
EC Caupi	-26.485,372	-3,664	0,011	0,701	-3,821	-0,865	0,420	0,701
EC Guandu	43,675	1,791	0,124	0,456	10,450	0,443	0,673	0,456
EC Milheto	4,874	1,262	0,254	0,332	-4,154	-1,542	0,174	0,332
EC Crotalária	-44.373,231	-3,083	0,022	0,620	26,849	0,771	0,470	0,620

Legenda: CA: Culturas Antecedentes; EC Estoque de Carbono; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R²: coeficiente de determinação.

Admitindo-se que o preparo do solo pode alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como estrutura do solo, carbono orgânico, biomassa microbiana e atividades enzimáticas, que regulam a transformação de nutrientes do solo, influenciam assim o crescimento e o alto rendimento das culturas, e esse rendimento pode ser um efeito combinado de diferentes fatores, como a cobertura morta proporcionada pelas culturas antecedentes (ZHAO et al., 2023). As melhorias na qualidade física do solo e consequente melhorias na produção dependem das variáveis como aporte de serrapilheira, biomassa radicular, taxa de decomposição, espécies de plantas e condições edafoclimáticas podem alterar o conteúdo de carbono (YADAV et al., 2021).

A partir dos resultados é possível afirmar que o uso de sistemas de preparo do solo associado às culturas antecedentes protetoras do solo em experimento de longa duração permitiu que a produtividade fosse mais significativa em detrimento as parcelas cultivadas sob o cultivo mínimo, apresentando maior estoque de carbono e sinalizando a sustentabilidade deste sistema na produção.

2.3 CONCLUSÕES

- Sistemas conservacionistas, com destaque ao cultivo mínimo quando associado a leguminosas podem promover menor compactação em comparação ao cultivo convencional que apresentou maior resistência mecânica à penetração.
- A concentração de COS apresentou diferenças entre os sistemas de preparo do solo e culturas antecedentes, evidenciando que a estabilização deste da interação sinérgica do sistema adotado, sendo o sistema do Caupi/CM e Guandu/CM os que apresentaram maiores teores de COS nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe.
- O sistema Milheto/CM apresentou o maior estoque de carbono nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe.
- O sistema Guandu/CM apresentou maior produtividade no tratamento nitrogenado, assim como em peso e diâmetro de espigas que apresentaram melhor resultado para esse mesmo sistema nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFSHAR, R. K., Cabot, P., Ippolito, J. A., Dekamin, M., Reed, B., Doyle, H., & Fry, J. **Corn productivity and soil characteristic alterations following transition from conventional to conservation tillage.** Soil and Tillage Research, v. 220, p. 105351, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105351>
- ALVES, Pedro Henrique Gomes. **Efeito do sistema de preparo e de plantas de cobertura em atributos do solo em experimento de longa duração.** 2021. <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/14928>
- ANDOGNINI, J., Albuquerque, J. A., Warmling, M. I., Teles, J. S., & Silva, G. B. D. **Soil compaction effect on black oat yield in Santa Catarina, Brazil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 44, 2020. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcS20190157>
- ANUO, C. O., Cooper, J. A., Koehler-Cole, K., Ramirez II, S., & Kaiser, M. **Effect of cover cropping on soil organic matter characteristics: Insights from a five-year field experiment in Nebraska.** Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 347, p. 108393, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108393>
- ARSHAD, M. A., Lowery, B., & Grossman, B. **Physical tests for monitoring soil quality.** Methods for assessing soil quality, v. 49, p. 123-141, 1997. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub49.c7>
- ARVIDSSON, Johan. **Influence of soil texture and organic matter content on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory compression experiments.** Soil and Tillage Research, v. 49, n. 1-2, p. 159-170, 1998. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(98\)00164-0](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00164-0)
- ASSUNÇÃO, Sara Julliane Ribeiro. **Sustentabilidade do uso de tecnologias para o cultivo de milho verde nos Tabuleiros Costeiros em Sergipe.** 2019. <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/11549>
- BENGOUGH, A. G., McKenzie, B. M., Hallett, P. D., & Valentine, T. A. Glyn et al. **Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits.** Journal of experimental botany, v. 62, n. 1, p. 59-68, 2011. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq350>
- BHUTANI, N., Maheshwari, R., Kumar, P., & Suneja, P. **Bioprospecting of endophytic bacteria from nodules and roots of Vigna radiata, Vigna unguiculata and Cajanus cajan for their potential use as bioinoculants.** Plant Gene, v. 28, p. 100326, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2021.100326>
- BLAKE, George R.; HARTGE, K. H. **Particle density.** Methods of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical methods, v. 5, p. 377-382, 1986. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c14>
- BLANCO-CANQUI, H., Lal, R., Post, W. M., Izaurralde, R. C., & Owens, L. B. **Corn stover impacts on near-surface soil properties of no-till corn in Ohio.** Soil Science Society of America Journal, v. 70, n. 1, p. 266-278, 2006. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0137>

- BLANCO-CANQUI, Humberto; RUIS, Sabrina J. **Cover crop impacts on soil physical properties: A review**. Soil Science Society of America Journal, v. 84, n. 5, p. 1527-1576, 2020. <https://doi.org/10.1002/saj2.20129>
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 704 p. 2013
- BUSSCHER, W. J., Bauer, P. J., Camp, C. R., & Sojka, R. E. **Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil**. Soil Tillage Research, Amsterdam, v. 43, n. 43, p. 205-217, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(97\)00015-9](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00015-9)
- CAVALIERI-POLIZELI, K. M. V., Marcolino, F. C., Tormena, C. A., Keller, T., & Moraes, A. D. **Soil Structural Quality and Relationships With Root Properties in Single and Integrated Farming Systems**. Frontiers in Environmental Science, p. 820, 2022. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.901302>
- CHERUBIN, M. R., Cardoso, G. M., Bortolo, L. D. S., Marostica, M. E. M., Souza, V. S., Carvalho, M. L., ... & Luz, F. B. D. **Guia prático de plantas de cobertura: aspectos fitotécnicos e impactos sobre a saúde do solo**. 2022. <https://doi.org/10.11606/9786589722151>
- COLOMBI, T., Braun, S., Keller, T., & Walter, A. **Artificial macropores attract crop roots and enhance plant productivity on compacted soils**. Science of the Total Environment, v. 574, p. 1283-1293, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.194>
- DEBIASI, H., Franchini, J. C., Conte, O., Balbinot Junior, A. A., Torres, E., Saraiva, O. F., & de Oliveira, M. C. N. **Sistemas de preparo do solo: trinta anos de pesquisas na Embrapa Soja**. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100499>
- EFRON, B., Hastie, T., Johnstone, I., & Tibshirani, R. **Least angle regression**. Annals of Statistics, v. 32, p. 407-499, 2004.
- ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. **Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes**. Canadian Journal of Soil Science, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995. <https://doi.org/10.4141/cjss95-075>
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.
- FAGERIA, N. K.; STONE, F. F.; SANTOS, A. B. dos. **Maximização da produção das culturas**. Santo Antônio de Góias: Embrapa SCT/Embrapa CNPAF, 1999. 294p.
- FAO. **A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor**. Global Symposium on Soil Organic Carbon, Rome, Italy, March 2017. <https://www.fao.org/3/I6950EN/i6950en.pdf>
- FERRAREZI, J. A., de Almeida Carvalho-Estrada, P., Batista, B. D., Aniceto, R. M., Tschoeke, B. A. P., de Maia Andrade, P. A., ... & Quecine, M. C. **Effects of inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria from the Brazilian Amazon on the**

- bacterial community associated with maize in field.** *Applied Soil Ecology*, v. 170, p. 104297, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104297>
- GONGORA, V. R. M., Secco, D., Bassegio, D., de Marins, A. C., Chang, P., & Savioli, M. R. **Impact of cover crops on soil physical properties, soil loss and runoff in compacted Oxisol of southern Brazil.** *Geoderma Regional*, v. 31, p. e00577, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00577>
- GUO, K., Yang, J., Yu, N., Luo, L., & Wang, E. **Biological nitrogen fixation in cereal crops: progress, strategies and perspectives.** *Plant Communications*, p. 100499, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100499>
- HAUKOOS, Jason S.; LEWIS, Roger J. **Advanced statistics: bootstrapping confidence intervals for statistics with “difficult” distributions.** *Academic emergency medicine*, v. 12, n. 4, p. 360-365, 2005. <https://doi.org/10.1197/j.aem.2004.11.018>
- HAYES, Andrew F.; ROCKWOOD, Nicholas J. **Regression-based statistical mediation and moderation analysis in clinical research: Observations, recommendations, and implementation.** *Behaviour research and therapy*, v. 98, p. 39-57, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2016.11.001>
- HILTON, Anthony; ARMSTRONG, Richard A. **Statnote 6: post-hoc ANOVA tests.** *Microbiologist*, v. 2006, p. 34-36, 2006.
- HUDEK, C., Putinica, C., Otten, W., & De Baets, S. **Functional root trait-based classification of cover crops to improve soil physical properties.** *European Journal of Soil Science*, v. 73, n. 1, p. e13147, 2022. <https://doi.org/10.1111/ejss.13147>
- JANTALIA, C. P., Alves, B. J. R., DENARDIN, J., URQUIAGA, S., & BODDEY, R. **Rotação de cultura em sistema plantio direto e preparo convencional do solo-importância da adubação verde com leguminosas no estoque de C e N do solo.** Embrapa Agrobiologia. Documentos, 2004. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/627839/1/doc183.pdf>
- JIANG, W., Li, Z., Xie, H., Ouyang, K., Yuan, H., & Duan, L. **Land use change impacts on red slate soil aggregates and associated organic carbon in diverse soil layers in subtropical China.** *Science of The Total Environment*, v. 856, p. 159194, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159194>
- KENDALL, M.; GEORGE, M. **Kolmogorov-Smornov Test.** *The Concise Encyclopedia of Statistics*, 2008. https://doi.org/10.1007/978-0-387-32833-1_214
- LEVENE, Howard. **Robust tests for equality of variances.** *Contributions to probability and statistics*, p. 278-292, 1960.
- LIU, Man; HAN, Guilin; LI, Xiaoqiang. **Contributions of soil erosion and decomposition to SOC loss during a short-term paddy land abandonment in Northeast Thailand.** *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 321, p. 107629, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107629>

- LUETZENBURG, G., Bittner, M. J., Calsamiglia, A., Renschler, C. S., Estrany, J., & Poepl, R. **Climate and land use change effects on soil erosion in two small agricultural catchment systems Fugnitz–Austria, Can Revull–Spain.** Science of the Total Environment, v. 704, p. 135389, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135389>
- MEDEIROS, Aldair de S., Maia, S. M. F., dos Santos, T. C., & de Araújo Gomes, T. C. **Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region.** Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 287, p. 106690, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106690>
- OBOUR, Peter Bilson; UGARTE, Carmen M. **A meta-analysis of the impact of traffic-induced compaction on soil physical properties and grain yield.** Soil and Tillage Research, v. 211, p. 105019, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105019>
- OLIVEIRA, F. C. C., Pedrotti, A., Felix, A. G. S., Souza, J. L. S., Holanda, F. S. R., & Mello Junior, A. V. **Chemical characteristics of Ultisols and the corn yield at Costal Plains of Sergipe, Brazil.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária), v. 12, n. 3, p. 354-360, 2017. <https://doi.org/10.5039/agraria.v12i3a5464>
- OLIVEIRA, M. W., Nascif, C., Oliveira, T. B. A., Rodrigues, T. C., Assis, W. O., Santos, D. F., & Moura, S. C. S. **Adubação verde com crotalária juncea em áreas de implantação ou reforma de canaviais, em pequenas propriedades rurais.** Extensão Rural: práticas e pesquisas para o fortalecimento da agricultura familiar, v. 2, p. 45-66, 2021. <https://dx.doi.org/10.37885/201102246>
- PEREIRA FILHO, Israel Alexandre. **O cultivo do milho-verde.** 2002.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental.** Piracicaba: Nobel, 1985.
- REICHERT, J. M., Corcini, A. L., Awe, G. O., Reinert, D. J., Albuquerque, J. A., Gallarreta, C. C. G., & Docampo, R. **Onion-forage cropping systems on a Vertic Argiudoll in Uruguay: Onion yield and soil organic matter, aggregation, porosity and permeability.** Soil and Tillage Research, v. 216, p. 105229, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105229>
- REINERT, D. J., Reichert, J. M., Veiga, M., & Suzuki, L. E. A. S. **Qualidade física dos solos.** Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, v. 16, 2006.
- RIBEIRO, P. H., dos Santos, J. V. V. M., Coser, S. M., Nogueira, N. O., & da Silva Martins, C. A. **Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 6, n. 1, p. 6, 2011. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7429750.pdf>
- SANTOS, D. M. L.; RUMJANEK, Norma Gouvêa; WADT, PGS. **Manejo do nitrogênio em sistemas de produção de leguminosas de grãos em Rondônia.** 2022.
- SCHONLAU, Matthias; WELCH, William J. **Screening the input variables to a computer model via analysis of variance and visualization.** Screening: methods for experimentation in industry, drug discovery, and genetics, p. 308-327, 2006. https://doi.org/10.1007/0-387-28014-6_14

- SEMMARTIN, M., Cosentino, D., Poggio, S. L., Benedit, B., Biganzoli, F., & Peper, A. **Soil carbon accumulation in continuous cropping systems of the rolling Pampa (Argentina): The role of crop sequence, cover cropping and agronomic technology.** Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 347, p. 108368, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108368>
- SHAPHIRO, S.; WILK, M. B. J. B. **An analysis of variance test for normality.** Biometrika, v. 52, n. 3, p. 591-611, 1965. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- SIDDIQUE, M. N. E. A., de Bruyn, L. A. L., Osanai, Y., & Guppy, C. N. **Determining the role of land resource, cropping and management practices in soil organic carbon status of rice-based cropping systems.** Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 344, p. 108302, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108302>
- SILVA, Jéssica Fernanda da. **Cultivo de milho verde em sistemas de manejo convencional e conservacionistas em experimento de longa duração.** 2022. <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/16225>
- SILVEIRA, E. S., Lima, B. B., Santos, A. M., Silva, A. F., Feitosa, D. A. S., Santos, B. N., ... & Oliveira, G. H. F. **Morphological characterization and selection of maize genotypes for the semiarid region.** 2022. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1538344/v1>
- SOBRAL, L. F., Viegas, P. R. A., Siqueira, O. D., Anjos, J. D., Barreto, M. D. V., & Gomes, J. D. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes no Estado de Sergipe.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1538344/v1>
- SOUZA, R., Hartzell, S., Ferraz, A. P. F., de Almeida, A. Q., de Sousa Lima, J. R., Antonino, A. C. D., & de Souza, E. S. **Dynamics of soil penetration resistance in water-controlled environments.** Soil and Tillage Research, v. 205, p. 104768, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104768>
- SURAVI, K. N., Attenborough, K., Taherzadeh, S., Macdonald, A. J., Powlson, D. S., Ashton, R. W., & Whalley, W. R. **The effect of organic carbon content on soil compression characteristics.** Soil and Tillage Research, v. 209, p. 104975, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104975>
- TELLES, T. S., Righetto, A. J., Lourenço, M. A., & Barbosa, G. **No-tillage system participatory quality index.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 24, p. 128-133, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n2p128-133>
- TESTA, V. M.; TEIXEIRA, LA J.; MIELNICZUK, J. **Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro afetadas por sistemas de culturas.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 16, n. 1, p. 107-114, 1992. <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=4310362>
- VUJIĆ, S., Krstić, D., Mačkić, K., Čabilovski, R., Radanović, Z., Zhan, A., & Čupina, B. **Effect of winter cover crops on water soil storage, total forage production, and quality of silage corn.** European Journal of Agronomy, v. 130, p. 126366, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126366>

- WANG, Z., & Huang, L. **Spatial variations and influencing factors of soil organic carbon under different land use types in the alpine region of Qinghai-Tibet Plateau.** CATENA, v. 220, p. 106706, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106706>
- WOLSCHICK, N. H., Bertol, I., Barbosa, F. T., Bagio, B., & Biasiolo, L. A. **Remaining effect of long-term soil tillage on plant biomass yield and water erosion in a Cambisol after transition to no-tillage.** Soil and Tillage Research, v. 213, p. 105149, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105149>
- XIONG, P., Zhang, Z., Hallett, P. D., & Peng, X. **Variable responses of maize root architecture in elite cultivars due to soil compaction and moisture.** Plant and Soil, v. 455, n. 1, p. 79-91, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04673-3>
- YADAV, G. S., Kandpal, B. K., Das, A., Babu, S., Mohapatra, K. P., Devi, A. G., ... & Barman, K. K. **Impact of 28 year old agroforestry systems on soil carbon dynamics in Eastern Himalayas.** Journal of Environmental Management, v. 283, p. 111978, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.111978>
- YANG, X., Li, T., Zhang, Q., Gan, M., Chen, M., & Bai, X. **Distribution of soil nutrients under typical artificial vegetation in the desert-loess transition zone.** Catena, v. 200, p. 105165, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105165>
- ZHAO, S., Xu, X., Qiu, S., & He, P. **Response of wheat and maize yields to different tillage practices across China: A meta-analysis.** European Journal of Agronomy, v. 144, p. 126753, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126753>
- ZHAO, Y., Tian, Y., Li, X., Song, M., Fang, X., Jiang, Y., & Xu, X. **Nitrogen fixation and transfer between legumes and cereals under various cropping regimes.** Rhizosphere, v. 22, p. 100546, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100546>

CAPÍTULO 3 – ESTRUTURA DE UM ARGISSOLO SOB USOS E COBERTURA VEGETAL NA PRODUTIVIDADE DO MILHO (*Zea mays* L.).

RESUMO: O cultivo do milho é uma das atividades produtivas mais corriqueiras nos estabelecimentos rurais brasileiros com grande expressão econômica e social. No entanto, o manejo inadequado do solo e a diminuição da cobertura vegetal provocam alterações na estrutura, que somada as condições dos solos tropicais intemperizados e pobres quimicamente como os solos dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe comprometem a qualidade física do solo e a sustentabilidade da produção. Sistemas sustentáveis de produção agrícola demandam solos com boa estrutura, por isso, são necessários métodos rápidos, eficientes e de baixo custo para avaliação e monitoramento da sustentabilidade dos impactos de diferentes práticas de manejo no solo. Este estudo tem como objetivo avaliar a qualidade estrutural de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes sistemas de preparo do solo associado às culturas antecedentes na produtividade do milho verde em experimento de longa duração na região dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe. O delineamento experimental foi composto por três faixas experimentais que correspondem aos sistemas de preparo do solo, o cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM) e plantio Direto (PD) com parcelas subdivididas com culturas antecedentes crotalária (*Crotalaria juncea* L.), feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e milheto (*Pennisetum americanum* L.). As avaliações da estrutura do solo em campo, foram realizadas com o auxílio da carta de avaliação visual da estrutura do solo. Para a estabilidade de agregados foram coletadas em cada subparcela três amostras na profundidade de 0-10 e 10-20 cm. A avaliação se deu por agregados em água, além do levantamento do ICV. A metodologia utilizada para avaliação da qualidade estrutural do solo foi eficiente em identificar a diferença estrutural em função do manejo, conferindo a melhor Qe para no PD. Os resultados demonstraram que sistemas conservacionistas proporcionam em Argissolos após 22 anos, melhores condições estruturais avaliados pela estabilidade de agregados do solo, com maior eficiência em manter a cobertura vegetal mostrando-se mais eficientes na proteção contra processos erosivos do solo, contribuindo para o maior conteúdo de carbono orgânico do solo e consequente conservação.

Palavras-chave: *Zea mays* L, sistema de conservação; estabilidade dos agregados, qualidade estrutural do solo.

ARGISOL STRUCTURE UNDER DIFFERENT USES AND COVERAGE IN CORN (*Zea mays* L) PRODUCTIVITY.

ABSTRACT: Corn cultivation is one of the most common productive activities in Brazilian rural establishments with great economic and social expression. However, inadequate soil management and the reduction of vegetation cover cause changes in the structure, which, together with the conditions of weathered and chemically poor tropical soils such as the soils of the Coastal Tablelands of Sergipe, compromise the physical quality of the soil and the sustainability of production. Sustainable agricultural production systems demand soils with good structure, therefore, fast, efficient and low-cost methods are needed to assess and monitor the sustainability of the impacts of different management practices on the soil. This study aims to evaluate the structural quality of a dystrophic Red-Yellow Argisol under different soil tillage systems associated with antecedent crops on the productivity of green corn in a long-term experiment in the Coastal Tableland region of Sergipe. The experimental design consisted of three experimental ranges that correspond to soil tillage systems, conventional tillage (CC), minimum tillage (CM) and no-tillage (PD) with split-plots with background crops sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.), pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) and millet (*Pennisetum americanum* L.). Soil structure evaluations in the field were carried out with the help of a soil structure visual evaluation chart. For aggregate stability, three samples were collected in each subplot at a depth of 0-10 and 10-20 cm. The evaluation was carried out by aggregates in water, in addition to the ICV survey. The methodology used to evaluate the structural quality of the soil was efficient in identifying the structural difference depending on the management, providing the best Qe for the PD. The results showed that conservationist systems provide in Ultisols after 22 years, better structural conditions evaluated by the stability of soil aggregates, with greater efficiency in maintaining the vegetation cover, proving to be more efficient in the protection against soil erosion processes, contributing to the higher content soil organic carbon and consequent conservation.

Key words: *Zea mays* L, conservation system; stability of the aggregates, structural quality of the soil.

3. INTRODUÇÃO

A qualidade do solo é indicada pela interação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A importância das propriedades físicas, reside no fato de que elas melhoram as funções químicas e biológicas do solo (SILVA et al., 2020). Melhorar a estrutura do solo e estabilidade dos agregados são essenciais para sustentar as funções do solo, como o acúmulo de carbono orgânico (Meurer et al., 2020). Assim, a avaliação periódica da qualidade estrutural é um aspecto importante do manejo da qualidade do solo visto que, o manejo inadequado e a diminuição da cobertura vegetal provocam alterações nas suas características físicas, modificando sua capacidade produtiva.

Como na agricultura moderna a degradação da estrutura do solo se torna muito comum, é fundamental proteger e melhorar a qualidade da estrutura do solo. Portanto, existe a necessidade de métodos que permitam o monitoramento direto da mesma (LIN, Lin et al., 2022). Propriedades quantitativas do solo podem ser usadas como parâmetros indicadores indiretos para mudanças estruturais do solo. No entanto, a mensuração dessas propriedades não é aplicável, principalmente para pequenos agricultores que não podem pagar por análises laboratoriais. (MUTUKU et al., 2021).

Neste sentido, medidas qualitativas da estrutura do solo obtidas diretamente no campo, como a VESS (*Visual Evaluation of Soil Structure* ou Avaliação Visual da Estrutura do Solo) (BALL et al., 2007) e/ou VSA (*Visual Soil Assessment* ou Avaliação visual do solo) (SHEPHERDES, 2009) apresenta-se como uma estratégia relevante para servir de base para pesquisadores, agricultores e técnicos para futuras melhorias no manejo do solo (CAMPOS et al., 2020).

O método de avaliação visual da estrutura do solo (VESS) tem sido cada vez mais estudado por cientistas do solo. Entretanto, nas propriedades rurais brasileiras, o uso desse método ainda é pouco conhecido entre os profissionais das ciências agrárias, sendo mais usada por cientistas universitários, sendo necessário portanto, destacar a importância desse método para a sociedade e de capacitar o produtor na avaliação visual da estrutura do solo pode melhorar o manejo dos solos brasileiros (PAIVA; RITA e CAVALIERI-POLIZELI, 2022).

O monitoramento da degradação física do solo pode ser feito por meio de indicadores de qualidade física. No entanto, o VESS não é recomendado para avaliar o potencial da estrutura do solo a agregação e sua suscetibilidade do solo à erosão, está por sua vez, pode ser avaliada de maneira indireta por meio da avaliação da distribuição de agregados e estabilidade

dos mesmos por peneiramento úmido (RABOT et al., 2018, LIU et al., 2021; LI et al., 2022).

A agregação do solo é influenciada diretamente pelo manejo, sendo que, o teor de carbono orgânico é um dos principais responsáveis por essa agregação. Com a perda da estabilidade dos agregados é possível que haja a perda parcial ou total da capacidade produtiva do solo (CAMPOS et al., 2020).

Diante da importância de buscar tecnologias eficientes, economicas e ambientalmente sustentáveis que melhorem a qualidade física do solo e garantam a eficiência e a rentabilidade da produção agrícola promovendo a segurança alimentar no longo prazo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade estrutural de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes sistemas de preparo do solo associado às culturas antecedentes e a influência na produtividade do milho verde em experimento de longa duração na região dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe.

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1.1 Descrição da área

O estudo foi conduzido em um experimento instalado em 2001, durante o 22º ano de cultivo, localizado na Estação experimental da Universidade Federal de Sergipe (10°55'24''S e 37°11'57''W) na cidade de São Cristóvão – SE. O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (horizonte A [0 – 0,27m] de textura areia-franca: Areia – 82,1 %, Silte – 12,5 % e Argila – 5,4 %), cujos sedimentos são provenientes do grupo Barreiras (SANTOS et al., 2018). A região possui precipitação pluviométrica anual em torno de 1200 mm, com predomínio do clima As' (classificado de acordo com Köppen), caracterizado como tropical chuvoso com verão seco e anual, e estação chuvosa concentrada (70%) entre os meses de Abril-Setembro (ALVARES et al., 2013).

3.1.2 Condução Experimental

Utilizou-se o delineamento experimental em faixas experimentais com subparcelas divididas (PIMENTEL GOMES, 1985), onde nas faixas cultivadas com milho como cultura principal há a implantação de três sistemas de cultivo que se diferem pelas formas de preparação do solo: cultivo convencional com grade aradora e niveladora (CC), cultivo

mínimo com grade niveladora (CM) e o plantio direto – ausência de revolvimento do solo (PD) e nas parcelas subdivididas as culturas antecedentes crotalária (*Crotalaria juncea* L.), feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) e milheto (*Pennisetum americanum* L.) aleatorizadas dentro de cada faixa em três repetições.

Cada faixa possui 13 parcelas de 60 m² cada espaçadas entre si a cada 1 m, das quais uma subparcela foi o controle para avaliação somente do preparo do solo. As culturas antecedentes foram semeadas com espaçamento médio de 0,5 m na linha e 0,2 m na entrelinha. Após aproximadamente 90 dias em campo, as plantas foram cortadas e aportadas ao solo. Cada faixa experimental foi, igualmente, preparada de acordo com o sistema de cultivo adotado.

No CC foi utilizado como implemento a grade aradora + grade niveladora. No CM, utilizou-se grade niveladora leve fechada e no PD após o 1º ano de condução do experimento, nenhum implemento de preparo do solo foi utilizado. No PD, as plantas daninhas foram controladas por capina manual associada ao uso de herbicidas de ação total (antes da semeadura - *Glyphosate*) ou seletivo (após semeadura do milho - *Nicosulfuron*).

A semeadura do milho foi realizada com semeadora pneumática tratorizada Jumil, modelo POP EX 2670, adotando-se o espaçamento médio de 0,2 m na linha e 0,8 m na entrelinha. A semente utilizada foi híbrida de duplo propósito - para consumo de milho verde e produção de silagem, variedade SHS7990 PRO3 (SANTA HELENA®) tratada previamente com (Tiodicarbe e Imidacloprido) CropStar®.

Para adubação nitrogenada foram adotados dois tratamentos consistindo na associação de inoculantes da bactéria *Azospirillum brasilense* com adição de nitrogênio (N) na forma de ureia comercial. Os tratamentos consistiram em: (1) tratamento nitrogenado - 100% de N da dose total recomendada, sem inoculante e (2) tratamento inoculado - 50% da dose recomendada de N, com inoculante. A dose dos tratamentos nitrogenados foi de 300 kg ha⁻¹ de ureia (45% de N), parcelados entre a semeadura, 30 e 45 dias posteriores à germinação das plântulas. Todos os tratamentos também receberam 90 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo (19% de P₂O₅) e 110 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (59% de K₂O) (SOBRAL et al., 2007). A lâmina de irrigação usada foi de 7,0 mm d'água.

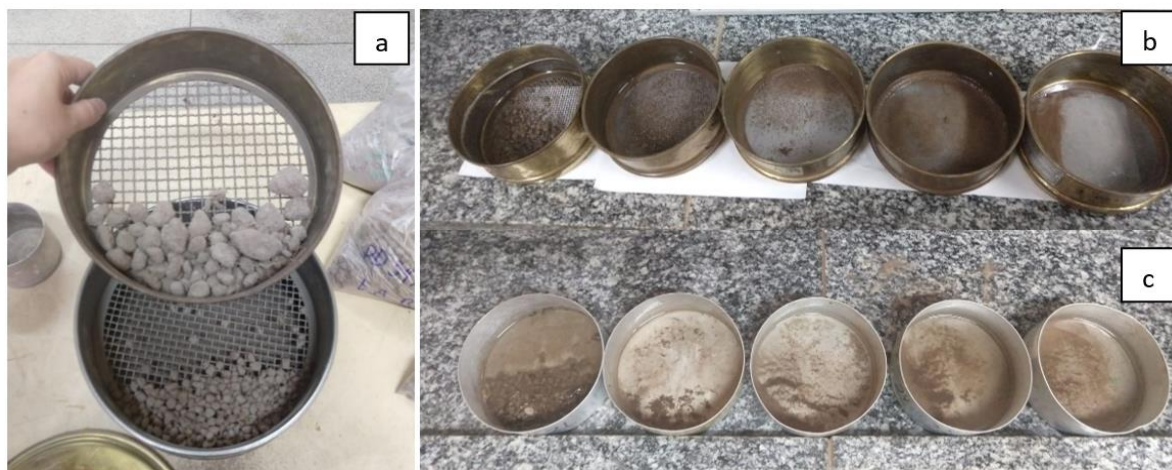
A avaliação da produtividade do milho em campo foi realizada dentro de cada parcela útil com a colheita do milho onde foram avaliados o Número de Plantas (NP), o Número de Espigas Comerciais (NEC) o Peso das Espigas Comerciais (PEC). As espigas comerciais foram definidas pelos parâmetros de peso médio de 250g, o diâmetro (DE) e comprimento (CE) determinados com o uso de paquímetro e régua para a medição.

A análise Visual da qualidade estrutural (Qe) pelo método de Ball (2007) adaptado; a estabilidade de agregados pelo método de Kemper & Chepil (1965); e o Índice de Cobertura Vegetal (ICV) do solo pelo método de Stocking (1988) com adaptações foram realizadas após a colheita do milho. O presente trabalho de avaliação da Qe e do ICV caracteriza-se por ser um estudo de campo de natureza quali-quantitativa de acordo Pereira, Shitsuka, Parreira e Shitsuka, (2018).

3.1.3 Coleta do solo e procedimentos analíticos

Após a colheita do milho verde, as plantas foram cortadas e aportadas sobre o solo. Em seguida, foi realizada a coleta de amostras para análise da estabilidade de agregados do solo nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, em três pontos aleatórios dentro de cada parcela via úmida através do aparelho de Yoder (1936) de acordo com metodologia descrita por Kemper & Chepil (1965); (Figura 7).

Figura 7 - (a) Amostra peneirada em malha de 8 mm e retida em malha de 4,75 mm para análise e (b) Agregados de solo retido em diferentes peneiras após agitação em água e (c) Amostra transferida para a lata de peso conhecido.



Fonte: autor, 2022.

O solo retido em cada peneira foi transferido para latas com auxílio de jatos de água fracos dirigidos ao fundo da peneira e, em seguida, colocado na estufa para secagem, sendo posteriormente pesado. Após a obtenção do peso de solo seco de cada classe de agregados (solo retido nas peneiras). Os valores obtidos foram usados para cálculo do DMP e DMG conforme as equações descritas por CASTRO FILHO et al. (1998):

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i)$$

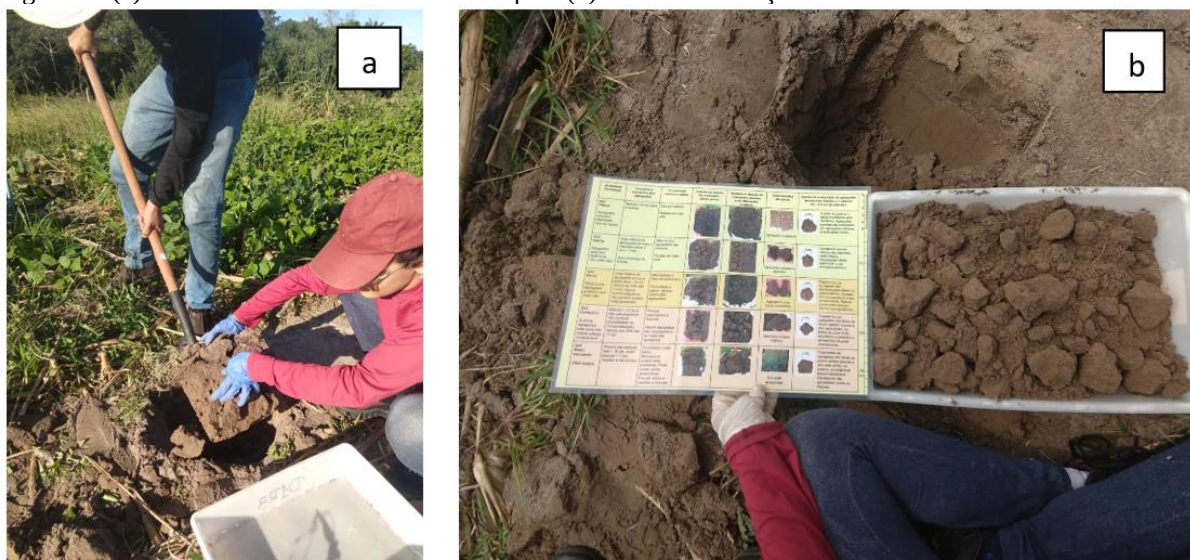
em que w_i = proporção de cada classe em relação ao total; x_i = diâmetro médio das classes (mm);

$$DMP = \frac{\sum_{i=1}^n w_p \cdot \log x_i}{\sum_{i=1}^n x_i}$$

em que w_p = peso dos agregados de cada classe (g).

Para a análise visual da qualidade estrutural foi coletada três amostras (bloco de solo) indeformadas (0,30 m largura x 0,40 m de comprimento e 0,25 de profundidade) para cada parcela e avaliadas com o auxílio da carta de avaliação visual da estrutura do solo descrito por Ball et al., (2007) adaptada por Guimarães et al., (2011) conforme observado na Figura 8.

Figura 8 - (a) Coleta de amostra de solo em campo e (b) Carta de avaliação visual da estrutura do solo.

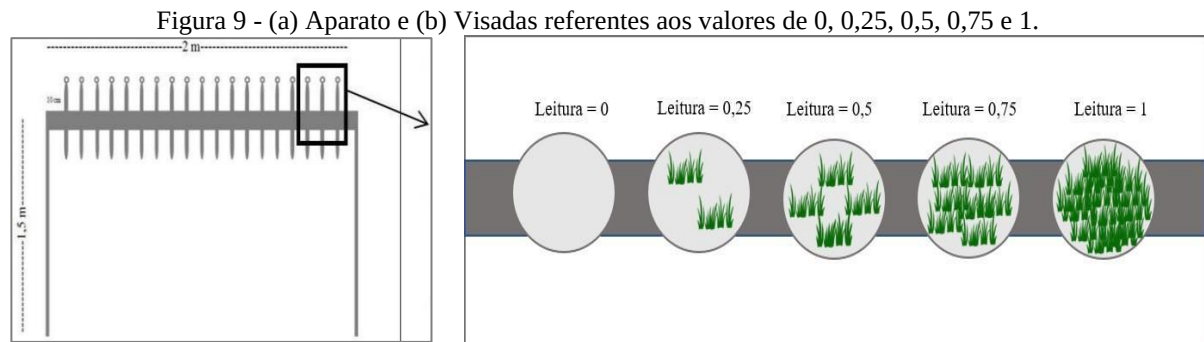


Fonte: autor, 2022.

A avaliação estabeleceu-se na aparência, na resistência e nas propriedades das unidades estruturais do solo, sendo determinada por cinco índices de qualidade estrutural (Q_e) para a classificação da qualidade: de $Q_e = 1$ (melhor qualidade estrutural) a $Q_e = 5$ (pior qualidade estrutural). Valores elevados para Q_e indica a deterioração da qualidade estrutural do solo. É importante ressaltar que pontuações entre 1 e 3 são indicativas de condições aceitáveis de manejo e qualidade física do solo (BALL et al., 2007).

A cobertura vegetal foi avaliada após a colheita do milho verde seguindo o método descrito por Stocking (1988) com adaptações, por Souza et al. (2010) e Lima et al. (2013), através de parâmetros numéricos preestabelecidos e adaptados por Alves (2021). Admitindo-se que a própria posição da cobertura seja casual, foram realizados 5 pontos de leitura em

cada subparcela e em cada ponto de visada foram realizadas 19 leituras, valor correspondente ao número de orifícios do aparato (Figura 9).



Fonte: Lima et al, 2013 adaptado por Alves, 2021.

Após a realização das visadas em campo, foi determinado o índice de cobertura vegetal (ICV) em cada ponto por meio da equação 1:

$$IC (\%) = (\text{número de visões}) / (\text{total de visões}) \times 100 \quad (1)$$

Em que: IC (%) = índice de cobertura vegetal sobre o solo, em porcentagem.

3.1.4 Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com o objetivo de avaliar se havia diferenças nos níveis de produtividade do milho verde sob o efeito de diferentes preparos do solo associados às culturas antecedentes. A normalidade dos dados foi avaliada por meio dos testes Kolmogorov-Smirnov (KENDALL e GEORGE, 2008) e Shapiro-Wilk (SHAPIRO e WILK, 1965) e o pressuposto de homogeneidade de variância por meio do teste de Levene (LEVENE, 1960).

Em razão dos dados não apresentarem homogeneidade e normalidade optou-se por ferramentas com maior sensibilidade e acurácia para evidenciar padrões de comportamento mais complexos. Assim, procedimentos de bootstrapping (1000 re-amostragens; 95% IC BCa) foram implementados para se obter uma maior confiabilidade dos resultados, para corrigir desvios da normalidade da distribuição da amostra e diferenças entre tamanhos dos grupos e, também, para apresentar um intervalo de confiança de 95% para as diferenças entre as médias (HAUKOOS e LEWIS, 2005).

Análises de Post-hoc para os efeitos principais e de interação (Preparo do solo*Cultura antecedente) e comparações entre grupo (between) foram realizados por meio do

teste Bonferroni. Em seguida, as análises de regressão linear múltipla (método *forward*) (EFRON et al., 2004) foram realizadas com o objetivo de investigar qual preparo do solo associado às culturas antecedentes sob determinada estabilidade de agregados promovem maior impacto no índice de cobertura vegetal e na resistência mecânica a penetração, bem como na produtividade. Todos os testes foram realizados utilizando o *software* IBM® SPSS® (versão 25.0, SPSS Inc., USA), cujos dados foram considerados estatisticamente significativos quando $p < 0,05$.

3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.2.1 Estabilidade de Agregados

Os resultados da ANOVA para a estabilidade de agregados para as amostras de solo coletadas demonstraram que para o DMG houve um efeito estatisticamente significativo para a interação entre as duas variáveis (preparo do solo*cultura antecedentes) na profundidade de 0-10 cm ($F(8, 117) = 2,279, p < 0,028$). Já na profundidade de 10-20 cm não apresentaram diferença estatística significativa ($F(8, 117) = 1,053, p < 0,402$).

A interação entre estas duas variáveis para o DMP na profundidade de 0-10 cm apresentaram diferença estatística significativa ($F(8, 117) = 2,177, p < 0,035$) e para a profundidade de 10-20 cm ($F(8, 117) = 2,071, p < 0,045$). Para melhor compreender estes resultados, foram realizadas análises subsequentes (Post-hoc de Bonferroni), sendo as comparações entre as culturas antecedentes analisadas após controlar pelo preparo do solo (Tabela 13).

Tabela 13 - Dados dos Parâmetros da Estatística descritiva dos valores de Diâmetro médio geométrico (DMG) e Diâmetro médio ponderado (DMP) de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe, nas camadas 0-10 e 10-20 cm, submetido a três sistemas de preparo do solo e quatro culturas antecedentes ao cultivo do milho, na safra agrícola de 2022.

Preparo do solo	CA	DMG (mm)		DMP (mm)	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
CC	Caupi	0,24 ^(0,057) Ba	0,21 ^(0,080) Ba	0,46 ^(0,176) Ba	0,39 ^(0,256) Ba
	Guandu	0,28 ^(0,099) Ba	0,33 ^(0,192) Ba	0,56 ^(0,291) Ba	0,62 ^(0,448) Ba
	Crotalária	0,24 ^(0,071) Ba	0,22 ^(0,041) Ba	0,45 ^(0,197) Ba	0,39 ^(0,120) Ba
	Milheto	0,25 ^(0,037) Ba	0,30 ^(0,114) Ba	0,43 ^(0,158) Ba	0,54 ^(0,304) Ba
	Controle	0,21 ^(0,102) Ba	0,50 ^(0,189) Ba	0,38 ^(0,188) Ba	1,34 ^(0,595) Ba
CM	Caupi	0,53 ^(0,467) Aa	0,79 ^(0,702) Aa	1,34 ^(0,922) Aa	1,61 ^(1,279) Aa
	Guandu	0,85 ^(0,738) Aa	0,64 ^(0,487) Aa	1,70 ^(1,281) Aa	1,48 ^(1,028) Aa
	Crotalária	0,64 ^(0,544) Aa	0,94 ^(1,458) Aa	1,37 ^(1,150) Aa	1,06 ^(0,735) Aa

	Milheto	0,89 ^(0,871) Aa	0,84 ^(0,625) Aa	1,78 ^(1,231) Aa	1,83 ^(1,123) Aa
	Controle	1,49 ^(1,066) Aa	0,46 ^(0,110) Aa	2,71 ^(1,105) Aa	1,38 ^(0,321) Aa
PD	Caupi	0,24 ^(0,163) Aa	0,26 ^(0,200) ABa	0,48 ^(0,501) Aa	0,54 ^(0,591) Aa
	Guandu	1,42 ^(1,310) Aa	1,06 ^(1,244) ABa	2,12 ^(1,772) Aa	1,85 ^(1,568) Aa
	Crotalária	1,09 ^(0,823) Aa	0,68 ^(0,262) ABa	2,12 ^(1,111) Aa	1,73 ^(0,598) Aa
	Milheto	0,54 ^(0,551) Aa	0,39 ^(0,251) ABa	1,18 ^(1,136) Aa	0,97 ^(0,708) Aa
	Controle	0,34 ^(0,227) Aa	0,78 ^(0,918) ABa	0,79 ^(0,699) Aa	1,45 ^(1,637) Aa

Legenda: CA: Culturas antecedentes; CC: Cultivo Convencional; CM: Cultivo Mínimo; PD: Plantio Direto. Valores de Desvio Padrão estão sobrescritos em parêntese. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os sistemas de preparo do solo e letras minúsculas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre culturas antecedentes pelo teste de Post-hoc.

O diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) resultantes das amostras coletadas sob a profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm não apresentando diferença estatística significativa para as culturas antecedentes (Tabela 13). Estes resultados demonstram que, as mudanças na estabilidade dos agregados analisadas nesta pesquisa estão estritamente relacionadas as interações entre fatores aqui analisados, mais precisamente as diferenças entre o preparo do solo utilizado.

No entanto, o teste de Post-hoc apresenta o Guandu dentre as culturas antecedentes a que melhor favoreceu o aumento no valor do DMG e DMP, e o feijão-caupi que favoreceu a baixa estabilidade dos agregados com menores valores de DMG e DMP para as duas profundidades. O preparo do solo que apresentou os maiores valores de DMG foi o PD, não diferindo do CM na profundidade de 0-10 cm. Já na profundidade de 10-20 cm o CM foi estatisticamente melhor que o PD em 22,08 %. O PD quando associado ao Guandu apresentou o maior valor dentre as condições avaliadas com (1,42 mm) na profundidade de 0-10 cm e (1,06 mm) na profundidade de 10-20 cm, sendo superior 40,14% e 39,62% ao CM para as profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm respectivamente e superior ao CC em 80,28% e 68,87% nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 respectivamente.

Do mesmo modo do DMG, os maiores valores de DMP foram obtidos no PD associado a cultura antecedente do Guandu com (2,12 mm) na profundidade de 0-10 cm e (1,85 mm) na profundidade de 10-20 cm, não apresentando diferença estatística significativa ao CM. No entanto, os dados de Post-hoc demonstram que o CM foi estatisticamente melhor que o PD em 12,88 % na profundidade de 0-10 cm e 16,51% na profundidade de 10-20 cm. Já em relação ao CC, o PD foi superior em 73,58% e 66,49% para as profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm respectivamente. Contudo, o preparo do solo que apresentou o menor valor de DMG e DMP médio foi o CC, quando associado ao feijão-caupi na profundidade de 10-20 cm, apresentou o menor DMG (0,21 mm) e na profundidade de 0-10 cm (0,24 mm), sendo inferior 54,72 % e 73,42 % ao CM nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm

respectivamente, 19,23 % ao PD na profundidade de 10-20 cm. O menor DMP foi obtido quando associado a cultura do feijão-caupi (0,46 mm) na profundidade de 0-10 cm e (0,39 mm) na profundidade de 10-20 cm, sendo inferior 65,67 % e 75,78 % ao CM na profundidade de 0-10 e 10-20 cm respectivamente, e ao PD redução de 4,17 % na profundidade de 0-10 cm e 27,78 % na profundidade de 10-20 cm. Corroborando com os resultados obtidos por Afshar et al. (2022), que ao analisar a estabilidade dos agregados na produção do milho, em transição de sistema convencional para conservacionistas conferiu maior estabilidade de agregados úmido em sistemas de lavoura reduzida (PD e CM) e menores em sistema convencional.

Resultado semelhantes foram obtidos por Weidhuner et al.(2021), onde os impactos do preparo convencional do solo foram positivamente correlacionados com a diminuição dos agregados do solo. Assim, a mínima perturbação ao solo reflete no aumento da estabilidade dos agregados no PD e CM, e diminuído a proporção de agregados estáveis em água sob CC, observados neste estudo. Ainda segundo resultados obtidos por Patra et al., (2023), as práticas de conservação como o PD, favorece maior DMP dos agregados em aproximadamente 31% maior que o preparo convencional, e quando avaliada a interação do preparo do solo associado ao uso de leguminosas como cultura antecedentes foi observado maior DMP neste sistema.

A maior biomassa da raiz das leguminosas, é outro fator que pode ter contribuído favoravelmente para maior teor de Carbono orgânico facilmente mineralizados pelos microrganismos do solo, seja das raízes em decomposição ou dos exsudatos das raízes vivas, que ajudaram a melhorar a agregação (RAO et al., 2021; TANG et al.,2022). Estas descobertas afirmam o papel das leguminosas no fortalecimento da estabilidade dos agregados do solo baseados em sistemas conservacionistas, e este por sua vez, pode tornar os sistemas de cultivo mais sustentáveis e resistentes a processos erosivos.

Foi realizada análise de regressão linear múltipla (método *forward*) (EFRON et al., 2004) com o objetivo de investigar em que medida o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) obtidos em duas profundidades (0 – 10 cm e 10 – 20 cm) de solos após quatro culturas antecedentes, cultivados com três sistemas de preparo do solo impactam no índice de cobertura vegetal (ICV).

Os impactos no índice de cobertura vegetal a partir de diferentes diâmetros médio geométrico (DMG) de particulados do solo após diferentes culturas antecedentes são explicados com mais detalhes aqui. De modo geral, os resultados de DMG para o preparo do solo convencional não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as culturas antecedentes testadas, tanto na profundidade de 0 a 10 cm de solo ($F(1, 7) = 1.103$, $p < 0$,

463; $R^2_{\text{ajustado}} = 0,049$) quanto na profundidade 10 a 20 cm ($F(1, 7) = 2.016$, $p < 0,257$; $R^2_{\text{ajustado}} = 0,337$). Este resultado demonstra que os valores de diâmetro médio geométrico obtidos por diferentes culturas antecedentes não influenciou significativamente no índice de cobertura vegetal.

O DMG presente nas amostras de solo coletadas nas parcelas submetidas ao cultivo mínimo, apresentou influência significativa sob o índice de cobertura vegetal ($F(1, 7) = 125,779$, $p < 0,000$; $R^2_{\text{ajustado}} = 0,940$). Dentre as culturas antecedentes as parcelas cultivadas a cultura que mais impactou no índice de cobertura vegetal foi a Crotalária com cerca de ($B = 11,203$; $t = 11,215$, $p < 0,000$), demais culturas não representaram impacto significativo (Tabela 14). Considerando que o valor de beta é obtido a partir da análise das variáveis independente isoladamente, os dados demonstram que o ICV aumenta em 11,20 % a cada mm do DMG nos particulados do solo cultivados no cultivo mínimo sob cobertura da Crotalária.

Tabela 14 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo mínimo no Índice de cobertura vegetal a partir do DMG à profundidade de 0 - 10 cm

Preditores	Coefficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	R^2
(Constant)	--	91,923	0,000	--
Caupi	-3.192	-0.648	0.538	0.057
Crotalária	11.203	11.215	0.001	0.947
Guandu	-5.393	-2.174	0.066	0.403
Milheto	-1.078	-0.401	0.701	0.022

Coefficiente β : valor de influência; t : poder de influência; sig.: a existência real da influência; R^2 coeficiente de determinação. DMG-Diâmetro Medio Geométrico.

Os valores de DMG para o sistema de plantio direto apresentaram diferenças significativas entre as culturas antecedentes testadas, na profundidade de 0 a 10 cm de solo ($F(1, 7) = 7.473$, $p < 0,029$; $R^2_{\text{ajustado}} = 0,447$). Buscando compreender qual cultura antecedente foi significativamente atuante no índice de cobertura vegetal na profundidade de 0 a 10 cm, foi observado que o cultivo com Guandu influenciou mais significativamente o ICV ($B = 2.344$, $t = 2.734$, $p = 0,029$), demais preditores não representaram significância (Tabela 15). Considerando que o valor de beta é obtido a partir da análise das variáveis independente isoladamente, os dados demonstram que o ICV aumenta em 2,34 % o seu valor a cada mm do DMG nos particulados do solo na camada de 0-10 cm cultivados no PD sob cobertura do Guandu.

Tabela 15 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao plantio direto no Índice de cobertura vegetal a partir do DMG à profundidade de 0 - 10 cm

Preditores	Coefficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²
(Constant)	--	42,956	0,001	--
Caupi	2,589	0,844	0,427	0,092
Crotalária	-0,317	-0,162	0,876	0,004
Guandu	2,344	2,734	0,029	0,516
Milheto	-0,136	33,163	0,967	0,000

Coefficiente β : valor de influência; *t*: poder de influência; sig.: a existência real da influência; *R*²: coeficiente de determinação. DMG-Diâmetro Medio Geométrico.

A profundidade de coleta de solo em 10 a 20 cm, as parcelas testadas não apresentaram diferença estatística significativa ($F(1, 7) = 0.906$, $p < 0,537$; $R^2_{ajustado} = 0,049$).

Assim como DMG, os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) para o preparo do solo convencional associado às culturas antecedentes para as duas profundidades, DMP 0 – 10 cm ($F(1, 7) = 0.622$, $p < 0,672$; $R^2_{ajustado} = 0.233$) e DMP 10 – 20 cm ($F(1, 7) = 2.032$, $p < 0,255$; $R^2_{ajustado} = 0.340$), também não influenciou o índice de cobertura vegetal.

O cultivo mínimo associado às culturas antecedentes apresentou impacto significativo no índice de cobertura vegetal na profundidade de 0 a 10 cm ($F(2, 6) = 12.974$, $p < 0,007$; $R^2_{ajustado} = 0.750$), porém as amostras coletadas entre 10 a 20 cm não apresentam diferenças significativas. As culturas antecedentes cultivadas que representam uma maior influência no índice de cobertura vegetal a partir das amostras de DMP de 0 a 10 cm do solo foram o feijão-caupi ($B = 6,776$; $t = 3.025$, $p = 0,023$) e a Crotalária ($B = -5,079$; $t = 2,833$, $p = 0,030$). Considerando que o valor de beta é obtido a partir da análise das variáveis independente isoladamente, os dados demonstram que a cada mm do DMG dos agregados do solo na camada de 0-10 cm o ICV aumenta 6,78 % cultivados no cultivo mínimo sob a cobertura do Guandu, e quando cultivado sob a cobertura da Crotalária, o ICV diminui em 5,08 %. A Tabela 16 apresenta demais resultados para as culturas antecedentes.

Tabela 16 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo mínimo no Índice de cobertura vegetal a partir do DMP à profundidade de 0 - 10 cm

Preditores	Coefficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²
(Constant)	--	65,981	0,000	--
Caupi	6,776	3,025	0,023	
Crotalária	-5,079	2,833	0,030	
Guandu	-0,264	-2,432	0,056	
Milheto	0,168	1,513	0,181	

Coeficiente β : valor de influência; t : poder de influência; sig.: a existência real da influência; R^2 : coeficiente de determinação. DMP-Diâmetro Médio Ponderado.

Os valores DMP das amostras coletadas entre 0 e 10 cm apresentam diferença estatística significativa no índice de cobertura vegetal ($F(1, 7) = 10.845$, $p < 0,013$; $R^2_{\text{ajustado}} = 0,552$). As amostras coletadas entre 10 e 20 cm também apresentaram influência significativa na cobertura vegetal ($F(1, 7) = 9.816$, $p < 0,017$; $R^2_{\text{ajustado}} = 0,524$). Com esta tendência, os agregados observados até a profundidade de 20 cm do solo demonstram ter efeito direto no índice de cobertura vegetal em solos cultivados sob o sistema de plantio direto associado ao cultivo de culturas antecedentes.

Dentre as culturas antecedentes o Guandu apresentou maior efeito no índice de cobertura vegetal, contribuindo para valores mais elevados de cobertura do solo tanto na profundidade de 0 a 10 cm ($B = 1.879$, $t = 3.293$, $p < 0,001$) quanto na profundidade de 10 a 20 cm ($B = 2.087$, $t = 3.113$, $p < 0,017$). Considerando que o valor de beta é obtido a partir da análise das variáveis independente isoladamente, os dados demonstram que o ICV aumenta aproximadamente 1,88 % a cada mm do DMP observado nas amostras coletadas na camada de 0-10 cm do solo cultivado sob cobertura do Guandu.

Dependendo da combinação das rotações de culturas, os processos de agregação de particulados a diferiram em suas intensidades e significância na influência do ICV. O uso de preparo do solo específico associado ao uso de culturas antecedentes protetoras do solo no experimento de longo prazo permitiu que a recuperação da cobertura vegetal fosse mais significativa em detrimento as parcelas cultivadas sob o cultivo mínimo, onde o uso da Crotalária favoreceu em 11,20 % o aumento no índice de cobertura vegetal, indicando ser uma opção eficiente na proteção do solo e consequentemente controle de processos erosivos.

Tabela 17 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao plantio direto no Índice de cobertura vegetal a partir do DMP à profundidade de 0 - 10 cm

Preditores	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	R^2
(Constant)	--	44,651	0,001	--
Caupi	0,048	0,178	0,865	0,092
Crotalária	0,051	0,190	0,856	0,037
Guandu	1,879	3,293	0,013	0,608
Milheto	0,155	0,599	0,571	0,007

Coeficiente β : valor de influência; t : poder de influência; sig.: a existência real da influência; R^2 : coeficiente de determinação. DMP-Diâmetro Médio Ponderado.

Os impactos na RMP a partir de diferentes DMG e DMP de particulados do solo associados diferentes culturas antecedentes são explicados com mais detalhes aqui. Os resultados de DMP para o CC não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as culturas antecedentes testadas, tanto na profundidade de 0 a 10 cm de solo, quanto na profundidade 10 a 20 cm para Crotalária ($F(4, 8) = 5.352, p < 0,067; R^2_{\text{ajustado}} = 0,685$); o Guandu ($F(4, 8) = 1.398, p < 0,377; R^2_{\text{ajustado}} = 0,166$); feijão-caupi ($F(4, 8) = 0,891, p < 0,543; R^2_{\text{ajustado}} = -0,57$) e Milheto ($F(4, 8) = 0,108, p < 0,973; R^2_{\text{ajustado}} = -0,806$). Este resultado demonstra que os valores de DMP obtidos por diferentes culturas antecedentes não influenciou significativamente na resistência a penetração.

Dentre as culturas antecedentes no cultivo convencional a que mais impactou na RMP a partir do DMG observado na amostra coletada entre 0-10 cm foi a crotalária com cerca de ($B = -7.594,053; t = -2.733, p = 0,052$), demais culturas não representaram impacto significativo. Considerando que o valor de beta é obtido a partir da análise das variáveis independente isoladamente, os dados demonstram que a RMP de 0-10 cm diminui em aproximadamente 7,59 MPa a cada mm do DMG na camada de 0-10 cm do solo sob cultivo convencional associado a cobertura da Crotalária (Tabela 18).

Tabela 18 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo convencional na RMP (0-10 cm) a partir do DMG à profundidade de 0 -10 e 10-20 cm.

CA	Cultivo Convencional – RMP (0 – 10 cm)							
	DMG (0-10 cm)				DMG (10-20 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	185.992	0.576	0.595	0.563	414.046	1.707	0.163	0.563
Milheto	-7.006	-0.001	0.999	0.101	-2129.735	-0.538	0.619	0.101
Crotalária	-7.594.053	-2.733	0.052	0.803	3946.634	1.261	0.276	0.803
Guandu	2.071.604	2.263	0.086	0.619	99.523	0.302	0.778	0.619

Legenda: CA: Culturas antecedentes; DMG: Diâmetro Médio Geométrico e RMP: Resistência a penetração; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R²: coeficiente de determinação.

A cultura antecedente que mais impactou RMP na profundidade de 10-20 cm foi a Crotalária com cerca de ($B = -9.842,494; t = -2.824, p = 0,048$), demais culturas não representaram impacto significativo (Tabela 19). Considerando que o valor de beta é obtido a partir da análise das variáveis independente isoladamente, os dados demonstram que a RMP diminui 9,84 MPa para o preparo convencional a cada DMG nos particulados na camada de 10-20 cm do solo cultivado sob cobertura da Crotalária.

Tabela 19 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo convencional no RMP (10-20 cm) a partir do DMG à profundidade de 0-10 e 10-20 cm.

CA	Cultivo Convencional – RMP (10 -20 cm)							
	DGM (0-10 cm)				DGM (10-20 cm)			
	Coeficiente Beta	T	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	-235.349	-0.263	0.805	0.360	834.727	1.242	0.282	0.360
Milheto	275.111	0.063	0.953	0.097	-1434.208	-0.466	0.665	0.097
Crotalária	-9.842.494	-2.824	0.048	0.811	5072.692	1.292	0.266	0.811
Guandu	1.365.970	1.893	0.131	0.625	128.429	1.893	0.647	0.625

Legenda: CA: Culturas antecedentes; DMG: Diâmetro Médio Geométrico e RMP: Resistência a penetração; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R²: coeficiente de determinação.

Os resultados de DMG e DMP para o CM apresentaram diferenças significativas entre as culturas antecedentes testadas, a partir da RMP na profundidade de 0 a 10 cm de solo, quanto a profundidade 10 a 20 cm respectivamente para a Crotalária ($F(4, 8) = 7.777$, $p < 0,036$; $R^2_{ajustado} = 0,772$) e ($F(4, 8) = 37.610$, $p < 0,002$; $R^2_{ajustado} = 0,948$) ; feijão-caupi ($F(4, 8) = 7.744$, $p < 0,036$; $R^2_{ajustado} = 0,771$) e ($F(4, 8) = 10.846$, $p < 0,020$; $R^2_{ajustado} = 0,831$); Milheto ($F(4, 8) = 9.382$, $p < 0,026$; $R^2_{ajustado} = 0,807$) e ($F(4, 8) = 14.642$, $p < 0,012$; $R^2_{ajustado} = 0,872$). Este resultado demonstra que os valores de DMG e DMP obtidos por diferentes culturas antecedentes influenciou significativamente na resistência mecânica à penetração.

Dentre as culturas antecedentes as parcelas cultivadas, a cultura que mais impactou a RMP a partir do DMP foi o feijão-caupi com cerca de ($B = 171,590$; $t = 3.874$, $p = 0,018$) na profundidade de 0-10 cm e o Milheto com ($B = 254.768$; $t = 2.927$, $p = 0,043$) na profundidade de 10-20 cm, demais culturas não representaram impacto significativo (Tabela 20). Considerando que o valor de beta é obtido a partir da análise das variáveis independente isoladamente, os dados demonstram que a RMP (0-10 cm) aumenta em 17,59 MPa a cada DMP na camada de 0-10 cm nos agregados do solo no cultivo mínimo sob cobertura do feijão-caupi, e na camada de 10-20 cm o RMP aumenta 254 MPa quando o solo cultivado sob cobertura com Milheto.

Tabela 20 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo mínimo na RMP (0-10 cm) a partir do DMP à profundidade de 0- 10 e 10-20 cm.

	Cultivo Mínimo – RMP (0 – 10 cm)							
	DMP (0-10 cm)				DMP (10-20 cm)			
	Coeficiente e Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	17.590	3.874	0.018	0.886	-165.533	-2.350	0.079	0.886
Milheto	17.976	0.211	0.843	0.904	254.768	2.927	0.043	0.904
Crotalária	-168.598	-2.054	0.109	0.886	45.918	1.881	0.133	0.886

Guandu	-228.181	-.617	0.571	0.455	338.673	1.124	0.324	0.455
---------------	----------	-------	-------	-------	---------	-------	-------	-------

Legenda: CA: Culturas antecedentes; DMP: Diâmetro Médio Ponderado e RMP: Resistencia a penetração; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R^2 : coeficiente de determinação.

A cultura antecedente que mais impactou RMP na profundidade de 10-20cm foi o Caupi tanto na profundidade de 0 a 10 cm com cerca de ($B = -184.920$; $t = -2.649$, $p = 0,057$), como de 10-20 cm com ($B = -312.489$; $t = 2.957$, $p = 0,042$); o Milheto na profundidade de 10 a 20 cm com ($B = -298.125$; $t = -2.829$, $p = 0,047$), e a Crotalária na profundidade de 0 a 10 cm com ($B = 328.953$; $t = 4.568$, $p = 0,010$), demais culturas não representaram impacto significativo (Tabela 21). Considerando que o valor de beta é obtido a partir das variáveis independente isoladamente, os dados demonstram que a RMP (10-20cm) diminui aproximadamente 184 MPa a cada mm do DMG das amostras coletadas na camada de 0-10 cm no cultivo mínimo sob a cobertura do feijão-caupi e aumenta 328 MPa sob a cobertura da Crotalária. Para a profundidade de 10-20 cm do solo a RMP diminui aproximadamente 312 MPa e 298 MPa sob cobertura com feijão-caupi e milho respectivamente como evidenciado na tabela 21.

Tabela 21 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo mínimo na RMP (10-20 cm) a partir do DMG a profundidade de 0-10 e 10-20 cm.

CA	Cultivo Mínimo – RMP (10 – 20 cm)							
	DMG (0-10 cm)				DMG (10-20 cm)			
	Coeficient e Beta	t	Sig,	R^2	Coeficiente Beta	t	Sig,	R^2
Caupi	-184.920	-2.649	0.057	0.916	-312.489	2.957	0.042	0.916
Milheto	-21.758	-0.272	0.799	0.936	-298.125	-2.829	0.047	0.936
Crotalária	328.953	4.568	0.010	0.974	-3.034	-0.947	0.397	0.974
Guandu	424.745	0.724	0.509	0.444	-588.519	-1.105	0.331	0.444

Legenda: CA: Culturas antecedentes; DMG: Diâmetro Médio Geométrico e RMP: Resistencia a penetração; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R^2 : coeficiente de determinação.

A cultura antecedente que mais impactou RMP na profundidade de 10-20 cm a partir do DMP foi o feijão-caupi tanto na profundidade de 0 a 10 cm com cerca de ($B = 188.159$; $t = 4.646$, $p = 0,010$), como de 10-20 cm com ($B = -189.533$; $t = -2.943$, $p = 0,042$); o Milheto na profundidade de 10 a 20 cm com ($B = 214.034$; $t = 3.468$, $p = 0,026$), e a Crotalária na profundidade de 0 a 10 cm com ($B = -127.257$; $t = -3.390$, $p = 0,028$) e na profundidade de 10-20 cm com ($B = 35.136$; $t = 3.148$, $p = 0,035$) demais culturas não representaram impacto significativo. Os dados demostram que a cada mm do DMP observados nas amostras coletadas entre 0-10 cm, a RMP aumenta aproximadamente 188 MPa quando utilizado o

feijão-caupi, e reduzido 127 MPa com a Crotalária. Nas amostras coletadas entre 10-20 cm a RMP diminui aproximadamente 189 MPa sob o feijão-caupi e aumenta em 214 MPa sob cobertura do milho e 35 MPa quando utilizado a Crotalária como evidenciado nos resultados na (Tabela 22).

Tabela 22 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo mínimo na RMP (10-20 cm) a partir do DMP a profundidade de 0-10 e 10-20 cm.

CA	Cultivo Mínimo – RMP (10 – 20 cm)							
	DMP (0-10 cm)				DMP (10-20 cm)			
	Coeficiente e Beta	t	Sig,	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig,	R ²
Caupi	188.159	4.646	0.010	0.916	-189.533	-2.943	0.042	0.916
Milheto	60.669	1.006	0.371	0.936	214.034	3.468	0.026	0.936
Crotalária	-127.257	-3.390	0.028	0.974	35.136	3.148	0.035	0.974
Guandu	-261.932	-0.659	0.546	0.444	373.869	1.154	0.313	0.444

Legenda: CA: Culturas antecedentes; DMP: Diâmetro Médio Ponderado e RMP: Resistência a penetração; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R²: coeficiente de determinação.

O uso de sistemas agrícolas conservacionistas e a rotação de culturas protetoras do solo no experimento de longo prazo permitiu que a menor resistência a penetração fosse mais significativa em detrimento as parcelas cultivadas sob o cultivo mínimo, o qual o DMG (0-10 cm e 10-20 cm) reduziu o valor da RMP (10-20 cm) em aproximadamente 184 MPa a 312 MPa sob a cultura do feijão-caupi. As características das raízes dessa leguminosa e as propriedades físicas do solo podem ajudar a reduzir a compactação do solo ou aumentar a estabilidade dos agregados (HUDEK et al., 2022).

Para investigar em que medida a estabilidade de agregados do solo obtidos pelos DMG e DMP nas profundidades (0-10 cm e 10-20 cm) influenciam na produtividade do milho verde para os dois tratamentos (nitrogenado e inoculado) sob os diferentes preparos do solo associado as culturas antecedentes, foi realizada a análise de regressão linear múltipla (método *forward*) (EFRON et al., 2004).

Considerando que o valor de beta é obtido a partir da análise das variáveis independente isoladamente, os dados demonstram que a produtividade do milho verde aumentou em 762,25 espigas de milho verde por hectare para o tratamento nitrogenado a cada DMG na camada de 10 a 20 cm do solo no cultivo convencional sob o Guandu com cerca de ($B = 762,255$; $t = 0,234$, $p = 0,012$). As demais culturas antecedentes não impactaram na produtividade (Tabela 23).

Tabela 23 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo convencional na produtividade do milho verde sob tratamento nitrogenado a partir do DMG a profundidade de 0-10 e 10-20 cm na safra agrícola de 2022.

CA	Cultivo Convencional 100% N -sem Inoculante							
	DMG (0 – 10 cm)				DMG (10 – 20 cm)			
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²
Caupi	-10.602,01	-1,151	0,314	0,566	-34.780,51	-0,524	0,628	0,566
Guandu	-3.072,232	-0,785	0,458	0,081	762,255	0,234	0,012	0,089
Milheto	-21.975,15	-0,417	0,698	0,245	-36.444,85	-0,983	0,381	0,245
Crotalária	-19.41,161	-0,025	0,981	0,454	-14.108,60	-0,160	0,881	0,454

Legenda: CA: Culturas antecedentes; DMG: Diâmetro Médio Geométrico; Coeficiente β : valor de influência; *t*: poder de influência; sig.: a existência real da influência; *R*²: coeficiente de determinação.

No Cultivo mínimo a cultura antecedente que impactou a produtividade do milho sob o tratamento inoculado a cada DMG na camada de 10-20 cm do solo foi o Milheto com cerca de ($B = - 9.196,90$; $t = - 2,963$, $p = 0,041$), tendo redução em 9.196 espigas de milho verde por hectare no tratamento inoculado (Tabela 24).

Tabela 24 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo mínimo na produtividade do milho verde sob tratamento inoculado a partir do DMG a profundidade de 0-10 e 10-20 cm na safra agrícola de 2022.

CA	Cultivo Mínimo 50% N -com Inoculante							
	DMG (0 – 10 cm)				DMG (10 – 20 cm)			
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²
Caupi	-5.437,77	-1,265	0,275	0,573	11.250,91	1,728	0,159	0,573
Guandu	12.891,90	2,523	0,065	0,931	-10.194,047	-2,198	0,093	0,931
Milheto	-9.196,90	-2,963	0,041	0,779	540,137	0,132	0,901	0,779
Crotalária	37.785,74	2,232	0,089	0,844	-896,060	-1,189	0,300	0,844

Legenda: CA: Culturas antecedentes; DMG: Diâmetro Médio Geométrico; Coeficiente β : valor de influência; *t*: poder de influência; sig.: a existência real da influência; *R*²: coeficiente de determinação.

A cultura antecedente que impactou a produtividade do milho no cultivo mínimo sob o tratamento inoculado a partir do DMP foi o Guandu e o Milheto na profundidade de 0-10 cm com cerca de ($B = - 9.087,097$; $t = - 2624$, $p = 0,059$) e ($B = 6.266,743$; $t = 2,681$, $p = 0,055$) respectivamente. A produtividade diminui em 9.087 espigas de milho verde por hectare sob o Caupi, e o Milheto aumenta a produtividade em 6.266 espigas de milho verde por hectare (Tabela 25).

Tabela 25 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao cultivo mínimo na produtividade do milho verde sob tratamento inoculado a partir do DMP a profundidade de 0-10 e 10-20 cm na safra agrícola de 2022.

CA	Cultivo Mínimo 50% N -com Inoculante	
	DMP (0 – 10 cm)	DMP (10 – 20 cm)

	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	4480,520	1,796	0,147	0,573	-6.833,351	-1,723	0,160	0,573
Guandu	-9.087,097	-2,624	0,059	0,931	4.538,648	1,608	0,183	0,931
Milheto	6.266,743	2,681	0,055	0,779	164,382	0,069	0,949	0,779
Crotalária	-1.6408,05	-1,859	0,137	0,844	4.453,046	1,697	0,165	0,844

Legenda: CA: Culturas antecedentes; DMP: Diâmetro Médio Ponderado; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R²: coeficiente de determinação.

No Plantio Direto observa-se que a cultura antecedente que impactou a produtividade do milho verde sob o tratamento nitrogenado a partir do DMG na profundidade de 10-20 cm foi a Crotalária com cerca de ($B = 10.854,46$; $t = 3,947$, $p = 0,017$), tendo aumento em 10.854 espigas de milho verde por hectare (Tabela 26).

Tabela 26 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao Plantio Direto na produtividade do milho verde sob tratamento nitrogenado a partir do DMG a profundidade de 0-10 e 10-20 cm na safra agrícola de 2022.

CA	Sistema de Plantio Direto 100% N -sem Inoculante							
	DMG (0 – 10 cm)				DMG (10 – 20 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	-3.555,645	-0,148	0,888	0,370	-468,696	-1,085	0,327	0,370
Guandu	-5.555,542	-1,421	0,228	0,428	3.382,948	1,333	0,253	0,428
Milheto	115,635	0,170	0,873	0,290	-542,814	-0,254	0,812	0,290
Crotalária	134,881	0,203	0,849	0,812	10.854,469	3,947	0,017	0,812

Legenda: CA: Culturas antecedentes; DMG: Diâmetro Médio Geométrico; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R²: coeficiente de determinação.

A Crotalária no Plantio Direto foi a cultura que impactou a produtividade do milho verde sob o tratamento nitrogenado a partir do DMP na profundidade de 10-20 cm com cerca de ($B = - 4.330,96$; $t = -3,653$, $p = 0,022$), tendo redução em 4.330 espigas de milho verde por hectare (Tabela 27). Demais culturas antecedentes não impactaram na produtividade.

A estabilidade dos agregados sob os diferentes preparos do solo associado às culturas antecedentes influenciou na produtividade do milho verde principalmente quando associado ao tratamento nitrogenado, com 100% da dose de N recomendada. O DMG na profundidade de 10-20 cm no CC com o uso do Guandu teve um impacto positivo aumentando a produtividade em 762 espigas de milho verde por hectare, enquanto no PD foi a Crotalária que apresentou incremento significativo de 10.854 espigas de milho verde por hectare, apresentando o mesmo valor de DMG quando utilizado o Guandu neste sistema (2,12 mm).

Tabela 27 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência das culturas antecedentes submetidas ao Plantio Direto na produtividade do milho verde sob tratamento nitrogenado a partir do DMP a profundidade de 0-10 e 10-20 cm na safra agrícola de 2022.

CA	Sistema de Plantio Direto 100% N - sem Inoculante							
	DMP (0 – 10 cm)				DMP (10 – 20 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	2.133,006	0,272	0,796	0,370	- 40,104	-0,076	0,942	0,370
Guandu	3.490,638	1,264	0,275	0,428	-2.457,059	-1,307	0,261	0,428
Milheto	-37,341	-0,110	0,918	0,290	71,498	0,096	0,928	0,290
Crotalária	240,307	0,464	0,667	0,812	-4.330,963	-3,653	0,022	0,812

Legenda: CA: Culturas antecedentes; DMP: Diâmetro Médio Ponderado; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R²: coeficiente de determinação.

O DMG na profundidade de 10-20 cm no CC com o uso do Guandu teve um impacto positivo no aumento da produtividade em 762 espigas de milho verde por hectare a partir do DMG (0,33 mm). No entanto, o maior revolvimento do solo refletiu em agregados pequenos (< 0,25 mm) apresentando baixa estabilidade dos agregados neste sistema. Em contrapartida, no PD foi a Crotalária que apresentou incremento significativo de 10.854 espigas de milho verde por hectare a partir do DMG (0,68 mm), e no CM.

Corroborar com os resultados obtidos em Hati et al.(2021) que ao avaliar os impactos de longo prazo dos sistemas de preparo do solo juntamente com a retenção de resíduos e adubação com N na distribuição do tamanho dos agregados, observou que o solo sob PD com retenção dos resíduos da palha e aplicação de 90 kg N de fertilizante continha a maior proporção de macroagregados grandes e o maior DMG e DMP de agregados estáveis à água, enquanto os valores mais baixos foram apresentados no CC sem resíduos da palha e sem a aplicação do N.

Portanto, a redução do revolvimento do solo pelas operações através de práticas conservacionistas como plantio direto a longo prazo juntamente com a retenção de resíduos das culturas e adubação com N têm um potencial substancial para aumentar a agregação do solo garantindo a sustentabilidade do sistema e da produção agrícola.

3.2.2 Qualidade Estrutural do Solo

Os resultados do teste de ANOVA considerando as variáveis de preparo do solo e culturas antecedentes apresentam diferença significativa, tanto para os dados individuais de preparo do solo ($F(2, 117) = 54.684$, $p < 0,000$; $R^2_{ajustado} = 0,631$) quanto para cultura antecedente ($F(4, 117) = 7.895$, $p < 0,000$; $R^2_{ajustado} = 0,631$), assim como a interação entre as duas variáveis (preparo do solo*cultura antecedente) ($F(8, 117) = 4.593$, $p < 0,000$; R^2

ajustado=0,631). A qualidade estrutural do solo (Qe) foi determinante para os três sistemas de preparo do solo associado as culturas antecedentes compreendida entre melhor qualidade estrutural e pior qualidade estrutural (Tabela 29).

Tabela 28 - Dados do Índice de Qualidade estrutural do solo submetido a três sistemas de preparo do solo e quatro culturas antecedentes ao cultivo do milho, na safra agrícola de 2022.

Preparo do solo	CA	Qualidade estrutural (Qe)
CC	Caupí	2,64 ^(0,060) Aab
	Guandu	2,55 ^(0,439) Aa
	Crotalária	2,67 ^(0,100) Aa
	Milheto	2,52 ^(0,524) Ab
	Controle	1,68 Ab
CM	Caupí	2,49 ^(1,136) Bab
	Guandu	2,28 ^(0,583) Ba
	Crotalária	2,11 ^(0,404) Ba
	Milheto	1,40 ^(0,300) Bb
	Controle	2,16 Bb
PD	Caupí	1,00 Cab
	Guandu	1,47 ^(0,436) Ca
	Crotalária	1,89 ^(0,160) Ca
	Milheto	1,00 Cb
	Controle	1,00 Cb

Legenda: CA: Culturas antecedentes; CC: Cultivo Convencional; CM: Cultivo Mínimo; PD: Plantio Direto. Valores de Desvio Padrão estão sobrescritos em parêntese. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os sistemas de preparo do solo e letras minúsculas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre culturas antecedentes pelo teste de Post-hoc.

De modo geral, a melhor Qe está distribuída nos sistemas conservacionistas do solo (CM e PD), enquanto a pior está nos sistemas CC (Tabela 28), que apresentam diferenças estatísticas significativas. Estes resultados indicam que a manutenção dos resíduos vegetais na superfície e a mínima perturbação são fundamentais para a redução da degradação do solo em regiões tropicais conforme observado por Beniaich et al., (2023), visando o desenvolvimento da Agricultura sustentável. Ressalta-se que o solo em todos os tratamentos utilizados apresentou notas entre 1 e 3, indicando condições ainda aceitáveis de qualidade estrutural.

Nos pontos amostrados no sistema de CC e CM em sua maioria foram identificadas duas camadas de solo com diferenças estruturais, enquanto, no sistema de PD foi encontrada a presença de uma única camada. As fotografias com os aspectos estruturais do solo obtidos nos diferentes tratamentos são apresentadas na Figura 10.

Figura 10 - Blocos de solo coletados para a avaliação visual qualitativa da estrutura do solo em campo.



Legenda: CC - Área de Preparo do solo Convencional, (CM) área de Preparo do solo mínimo e (PD) área de Plantio Direto. Fonte: Autora (2022).

Nota-se na Figura que a área de CC apresenta presença de torrões e a maioria dos agregados observado em campo requer esforço considerável para quebrar com uma mão, além da presença de poucos macroporos e fissuras, raízes agrupadas em macroporos e ao redor dos agregados e agregados maiores o que pode ser um indicativo de adensamento das partículas do solo, ou mesmo compactação do solo. Na área cultivada sob o CM, observou-se agregados

sem presença de torrões, a maioria dos agregados apresentaram ser porosos e presença de raízes ambas dentro do agregado. Na área de PD, observou-se em campo que não apresenta torrões, os agregados são pequeno e quebram facilmente com os dedos, e presença de raízes por todo o solo, apresentando uma estrutura mais preservada em condições de cultivo agrícola com sistema radicular proeminente que nos demais sistemas, sendo indicativo de alteração em sistemas de usos agrícolas que influencia na qualidade estrutural dos solos. A Figura 11, apresenta os aspectos estruturais do solo para a camada existente do solo obtidos em parcela do CC.

Figura 11 - Presença de macrofauna e raízes nos agregados do solo observados na avaliação visual qualitativa da estrutura do solo em campo.



Fonte: Autor, 2022.

Para a qualidade estrutural do solo (Q_e) foi possível observar diferenças significativas para a interação do sistema de preparo do solo associado às culturas antecedentes. O Q_e para o CC apresentou os maiores valores médios dos escores obtidos, ao passo do CM e o PD. Esses valores de Q_e obtidos neste estudo corroboram aos de (DA LUZ et al., 2022) que a preservação da estrutura do solo sob preparo reduzido é condicionada pela adoção de zonas de cultivo sem trânsito de máquinas.

Para investigar em que medida da qualidade estrutura do solo obtida sob a metodologia VESS influencia a produtividade do milho verde para os dois tratamentos (nitrogenado e inoculado) sob os diferentes preparos do solo associado às culturas antecedentes, foi realizada a análise de regressão linear múltipla (método *forward*) (EFRON et al., 2004).

A qualidade estrutural proporcionada pelo cultivo convencional associado a todas as culturas antecedentes influenciou a produtividade do milho verde. Para o tratamento

nitrogenado, a produtividade aumenta aproximadamente 20,44% quando utilizado o Guandu, já quando utilizado o Milheto a produtividade diminui em 23,74%. Para o tratamento inoculado, o feijão-caupi aumenta em 10,41%, e o uso do Guandu e Milheto diminuiu a produtividade em 17,41% e 3,84% respectivamente (Tabela 29).

Tabela 29 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência da qualidade estrutural de um Argissolo Vermelho Amarelo dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe, na produtividade do milho submetido ao Sistemas de Preparo do solo convencional e diferentes culturas antecedentes na safra agrícola de 2022.

CA	Cultivo Convencional							
	100% de N				50% de N – com Inoculação			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Qe_Caupí	-20.833.3	-1.34	0.220	0.206	10.416.667	4.583	0.003	750
Qe_Guandu	20.44.352	4.144	0.004	0.710	-1.741.164	-8.080	0.000	0.903
Qe_Milheto	-23.74.454	-8.86	0.000	0.918	-3.848.253	-7.602	0.000	0.892
Qe_Crotalária	2.083.333	0.246	0.812	0.009	-2.916.667	-2.139	0.070	0.395

Legenda: CA: Culturas antecedentes; N: Nitrogênio; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R²: coeficiente de determinação.

A qualidade estrutural proporcionada pelo cultivo mínimo para o tratamento nitrogenado, a produtividade aumenta aproximadamente 2,36% quando utilizado o Milheto e 8,61% considerando a crotalária. já quando utilizado o Guandu a produtividade diminui em 3,90%. Para o tratamento inoculado, a Crotalária aumenta a produtividade em 13,02% (Tabela 30).

Tabela 30 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência da qualidade estrutural de um Argissolo Vermelho Amarelo dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe, na produtividade do milho submetido ao sistema de preparo do solo mínimo e diferentes culturas antecedentes na safra agrícola de 2022.

CA	Cultivo Mínimo							
	100% de N				50% de N – com Inoculação			
	Coeficiente e Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Qe Caupí	226.463	0.610	0.561	0.050	1.022.633	1.256	0.249	0.184
Qe Guandu	-1707.892	-3.909	0.006	0.686	-2532.391	-1.460	0.188	0.233
Qe Milheto	2.361.111	5.194	0.001	0.794	3194.444	1.133	0.294	0.155
Qe Crotalária	8.613.488	48.737	0.000	0.997	13.024.654	30.278	0.000	0.992

Legenda: CA: Culturas antecedentes; N: Nitrogênio; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R²: coeficiente de determinação.

Para o plantio direto sob tratamento nitrogenado, a produtividade aumenta aproximadamente 4,94% quando utilizado a crotalária. já quando utilizado o Guandu a produtividade diminui em 3,90%. Para o tratamento inoculado, o Guandu diminui a produtividade em 1,97% (Tabela 31).

Tabela 31 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência da qualidade estrutural de um Argissolo Vermelho Amarelo dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe, na produtividade do milho submetido ao sistema de Plantio Direto e diferentes culturas antecedentes na safra agrícola de 2022.

CA	Sistema de Plantio Direto							
	100% de N				50% de N – com Inoculação			
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²
Qe Caupí								
Qe Guandu	-390.658	-26.768	0.000	0.990	-197.983	-7.805	0.000	0.897
Qe Milheto	-	-	-	-	-	-	-	-
Qe Crotalária	4.947.917	29.023	0.000	0.992	19010.417	2.186	0.065	0.406

Legenda: CA: Culturas antecedentes; N: Nitrogênio; Coeficiente β : valor de influência; *t*: poder de influência; sig.: a existência real da influência; *R*² coeficiente de determinação.

A metodologia de avaliação visual da qualidade estrutural do solo (VESS) possibilitou a avaliação da qualidade estrutural do solo de forma fácil e rápida nos diferentes tratamentos, indicando melhor Qe sob sistemas conservacionistas. No entanto, para todos os tratamentos o escore variou entre 1 a 2,57 sendo condição aceitável de manejo e qualidade física do solo (1 a 3), enquanto notas de 4 a 5 requerem mudanças no manejo do solo.

3.2.3 Índice de Cobertura Vegetal

Os resultados de teste de ANOVA considerando as variáveis de preparo do solo e culturas antecedentes apresentaram diferença estatística significativa para o índice de cobertura vegetal (ICV), tanto para os dados individuais de preparo do solo ($F = 2, 117$) $= 9.629$; $p < 0,000$) também para cultura antecedente ($F = 4, 117$) $= 3.434$ $p < 0.011$), assim como a interação entre as duas variáveis (Preparo do solo*Cultura antecedente) ($F = 8, 117$) $= 2.693$; $p < 0,010$).

Os dados do teste Post-hoc apresentados na Tabela 33 descrevem as diferenças significativas entre grupo para o índice de cobertura vegetal. A interação entre preparo do solo e culturas antecedentes apresentaram diferenças significativas (Tabela 32). Para o preparo do solo, observa-se que o CM (0,79) e PD (0,80) não apresentaram diferença estatística significativa, corroborando os obtidos por Alves (2021), que ao avaliar o ICV o CM e PD não diferiram estatisticamente. No entanto, o preparo do solo que proporcionou o maior índice foi CM diferindo em 4,94% ao índice de cobertura no PD. O uso da cultura antecedente do Milheto favoreceu o maior ICV, sendo superior 7,50% o ICV proporcionado pela Crotalária, diferindo aos resultados obtidos por Alves (2021), quanto ao uso da cultura antecedente para formação de cobertura do solo, o qual conferiu maior índice com o uso da Crotalária em relação ao Milheto.

Tabela 33 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do estoque de carbono nas profundidades de 0-10 cm e 10 a 20 cm submetido ao cultivo convencional associado às culturas antecedentes no Índice de cobertura vegetal.

CA	Cultivo Convencional					
	(0-10 cm)			(10-20 cm)		
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.
Caupi	0,022	0,520	0,631	-0,056	-2,506	0,066
Guandu	-0,003	-0,113	0,916	-0,076	-2,354	0,078
Milheto	0,039	0,744	0,498	0,076	1,748	0,155
Crotalária	-0,186	-5,466	0,005	0,045	1,164	0,309

Legenda: CA: Culturas antecedentes; Coeficiente β : valor de influência; *t*: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R^2 coeficiente de determinação.

No cultivo mínimo, os dados demonstram que o ICV aumenta em 12 % a cada kg.m^2 na camada de 0-10 cm do solo cultivado sob cobertura do Guandu, e diminui em 0,3% na camada de 10-20 cm do solo cultivado sob cobertura com Milheto. Demais preditores não representaram significância (Tabela 34).

Tabela 34 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do estoque de carbono nas profundidades de 0-10 cm e 10 a 20 cm submetido ao cultivo mínimo associado às culturas antecedentes no Índice de cobertura vegetal.

CA	Cultivo Mínimo					
	(0-10 cm)			(10-20 cm)		
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.
Caupi	0,004	0,301	0,778	-0,026	-2,432	0,072
Guandu	0,124	2,731	0,052	-0,026	-0,595	0,584
Milheto	-0,001	-0,785	0,476	-0,003	-3,160	0,034
Crotalária	8,301	0,360	0,737	-0,091	-1,975	0,120

Legenda: CA: Culturas antecedentes; Coeficiente β : valor de influência; *t*: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R^2 coeficiente de determinação.

No plantio direto observa-se que o ICV diminui 0,5 % a cada kg.m^2 na camada de 0-10 cm do solo cultivado sob cobertura da Crotalária, e na camada de 10-20 cm do solo o ICV aumenta em 0,9 % sob cobertura do feijão-caupi e diminui em 0,3% sob cobertura da Crotalária. A Tabela 35 apresenta demais resultados para as culturas antecedentes.

Tabela 35 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do estoque de carbono nas profundidades de 0-10 cm e 10 a 20 cm submetido ao plantio direto associado às culturas antecedentes no Índice de cobertura vegetal.

CA	Plantio Direto					
	(0-10 cm)			(10-20 cm)		
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.
Caupi	0,004	1,011	0,369	0,009	4,157	0,014
Guandu	0,010	1,436	0,224	8,562	0,072	0,946
Milheto	0,000	-0,206	0,847	0,006	2,478	0,068

Crotalária	-0,005	-22,611	0,000	-0,003	-65,062	0,000
-------------------	--------	---------	-------	--------	---------	-------

Legenda: CA: Culturas antecedentes; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R^2 coeficiente de determinação.

Esses resultados demonstram, em geral que os efeitos do EC da profundidade de 0-10 cm no ICV foram estatisticamente significativos entre as leguminosas. O EC na parcela cultivada com a Crotalária mostrou-se com baixo potencial de produção de biomassa vegetal, diminuindo 0,18% o ICV no CC. Já o EC no Guandu/CM aumenta 0,12% o ICV.

Dada a importância da manutenção da cobertura vegetal para a proteção do solo, controle de erosão hídrica e melhoria da estrutura do solo no aumento da produtividade das culturas, foi realizada regressão linear múltipla (método *forward*) (EFRON et al., 2004) para melhor entender em que medida ICV proporcionado pelas culturas antecedentes influenciam a produtividade do milho verde sob os diferentes preparos do solo associado e os dois tratamentos de adubação (nitrogenado e inoculado). Valores de beta negativo indicam que a variável independente (neste caso ICV) impacta negativamente a variável dependente (produtividade).

Considerando que o valor de beta é obtido a partir da análise das variáveis independente isoladamente, os dados demonstram que a produtividade do milho verde para o tratamento nitrogenado diminui considerando o feijão-caupi em 53,01 espigas de milho verde por hectare a cada índice de cobertura com feijão-caupi, e 76,78 sob o Guandu, 2 espigas sob o Milheto e 1 espiga sob a crotalária. Já para o tratamento inoculado a produtividade do milho verde diminui em 64,96 espigas de milho verde por hectare a cada índice de cobertura do feijão-caupi, 2,76 espigas sob cobertura do milheto e 27,77 espigas sob cobertura da Crotalária (Tabela 36).

Tabela 36 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do índice de cobertura vegetal (ICV) submetido ao cultivo convencional associado às culturas antecedentes na produtividade do milho sob tratamento nitrogenado e inoculado na safra agrícola de 2022.

CA	Cultivo Convencional ICV (%) x Produtividade									
	100% N					50% N – com Inoculação				
	Coeficiente <i>Beta</i>	t	Sig.	R^2	R^2_A	Coeficiente <i>Beta</i>	t	Sig.	R^2	R^2_A
Caupi	-53,015	-0,571	0,045	0,586	-0,09	-64,969	- 16,366	0,000	0,975	0,971
Guandu	-76,780	-32,541	0,000	0,993	0,992	33,093	1,829	0,110	0,323	0,227
Milheto	-2.41,071	-13,748	0,000	0,964	0,959	-276,786	-2,492	0,041	0,470	0,394
Crotalária	-1.11,111	-3,734	0,007	0,666	0,618	-27,778	-16,80	0,000	0,976	0,972

Legenda: CA: Culturas antecedentes; ICV (%): Índice de Cobertura Vegetal; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R^2 coeficiente de determinação.

No cultivo mínimo, os dados demonstram que a produtividade do milho verde aumenta em aproximadamente 128 espigas de milho verde por hectare para o tratamento nitrogenado a cada índice da cobertura com feijão-caupi, e 39 espigas com o milheto. Para o tratamento inoculado a produtividade do milho verde aumenta 807 espigas a cada índice de cobertura com Guandu (Tabela 37).

Tabela 37 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do índice de cobertura vegetal (ICV) submetido ao cultivo mínimo associado às culturas antecedentes na produtividade do milho sob tratamento nitrogenado e inoculado na safra agrícola de 2022.

CA	Cultivo Mínimo ICV (%) x Produtividade							
	100% N				50% N – com Inoculação			
	Coeficiente e Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	128,981	2,633	0,034	0,497	231,953	1,681	0,137	0,288
Guandu	-52,632	-0,443	0,671	0,027	807,018	35,133	0,000	0,994
Milheto	39,265	4,351	0,003	0,730	45,530	0,905	0,396	0,105
Crotalária	13.520,971	0,649	0,537	0,057	23.233,996	0,742	0,482	0,073

Legenda: CA: Culturas antecedentes; ICV (%): Índice de Cobertura Vegetal; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R² coeficiente de determinação.

Considerando que o valor de beta é obtido a partir da análise das variáveis independente isoladamente, os dados demonstram que a produtividade do milho verde aumenta em 117 espigas de milho verde por hectare para o tratamento inoculado a cada índice sob cobertura com milheto, e diminui em 470 o número de espigas por hectare sob cobertura da crotalária (Tabela 38).

Tabela 38 - Resultados dos parâmetros da regressão sobre a influência do índice de cobertura vegetal (ICV) submetido ao Plantio direto associado às culturas antecedentes na produtividade do milho sob tratamento nitrogenado e inoculado na safra agrícola de 2022.

CA	Sistema de Plantio Direto ICV (%) x Produtividade							
	100% N				50% N – com Inoculação			
	Coeficiente e Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	33,105	0,463	0,658	0,030	60,883	1,226	0,260	0,177
Guandu	31,346	0,176	0,865	0,004	118,502	1,418	0,199	0,223
Milheto	-21,036	-2,206	0,063	0,410	117,314	5,986	0,001	0,837
Crotalária	-33,333	-1,222	0,261	0,176	-470,833	-15,692	0,000	0,972

Legenda: CA: Culturas antecedentes; ICV (%): Índice de Cobertura Vegetal; Coeficiente β : valor de influência; t: poder de influência; sig.: a existência real da influência; R² coeficiente de determinação.

3.3 CONCLUSÕES

- O Qe encontra-se compreendidos entre 1 e 3, apresentando situação aceitável de manejo e qualidade física do solo segundo escore da carta proposta por Guimarães (2011).
- Os valores mais elevados de Qe, considerando-se apenas o sistema de preparo do solo foi proporcionado pelo Plantio Direto e os menores pelo Cultivo Convencional, evidenciando que o impacto do revolvimento do solo tem efeito significativo correlacionados com a diminuição da estabilidade dos agregados.
- Os sistemas que proporcionaram melhor estabilidade dos agregados foi o Guandu/PD e Guandu/CM, enquanto o Caupi/CC apresentou a menor estabilidade dos agregados e, portanto, mais susceptível a processos erosivos.
- O índice de cobertura vegetal do Milheto se mostrou mais eficiente em relação a crotalaria, protegendo mais o solo contra agentes erosivos, conferindo maior ICV (0,87 %) sob o PD.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Pedro Henrique Gomes. **Efeito do sistema de preparo e de plantas de cobertura em atributos do solo em experimento de longa duração.** 2021. <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/14928>
- BALL, B. C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L. J. **Field assessment of soil structural quality—a development of the Peerlkamp test.** Soil use and Management, v. 23, n. 4, p. 329-337, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2007.00102.x>
- BENIAICH, A., Guimarães, D. V., Avanzi, J. C., Silva, B. M., Acuña-Guzman, S. F., dos Santos, W. P., & Silva, M. L. N. **Spontaneous vegetation as an alternative to cover crops in olive orchards reduces water erosion and improves soil physical properties under tropical conditions.** Agricultural Water Management, v. 279, p. 108186, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108186>
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. **Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistema de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.22, n.3, p.527-38, 1998. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831998000300019>.
- CAVALIERI-POLIZELI, K. M. V., Marcolino, F. C., Tormena, C. A., Keller, T., & Moraes, A. D. **Soil Structural Quality and Relationships With Root Properties in Single and Integrated Farming Systems.** Frontiers in Environmental Science, p. 820, 2022. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.901302>
- COHEN, Jacob. **The earth is round** (p<. 05). American psychologist, v. 49, n. 12, p. 997, 1994. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.49.12.997>
- CONTE, O., Franchini, J. C., Debiasi, H., & BALBINOT JUNIOR, A. A. **Manejo do solo.** 2020.
- DE PAIVA, Isaías Antonio; RITA, Yohanne Larissa; CAVALIERI-POLIZELI, Karina Maria. **Knowledge and use of visual soil structure assessment methods in Brazil—A survey.** Soil and Tillage Research, v. 204, p. 104704, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104704>
- DEBIASI, H., Franchini, J. C., Conte, O., Balbinot Junior, A. A., Torres, E., Saraiva, O. F., & de OLIVEIRA, M. C. N. **Sistemas de preparo do solo: trinta anos de pesquisas na Embrapa Soja.** 2013.
- EFRON, B., Hastie, T., Johnstone, I., & Tibshirani, R. **Least angle regression.** 2004. <https://doi.org/10.1214/009053604000000067>
- EUNICE A. Mutuku, Vanlauwe, B., Roobroeck, D., Boeckx, P., & Cornelis, W. M. **Visual soil examination and evaluation in the sub-humid and semi-arid regions of Kenya.** Soil and Tillage Research, v. 213, p. 105135, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105135>

- GROHMANN, F. **Análise de agregados de solos**. Bragantina, v. 19, n.13,p. 201-213, 1960. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051960000100013>
- GUIMARÃES, R. M. L., Ball, B. C., Tormena, C. A., Giarola, N. F. B., & da Silva, A. P. **Relating visual evaluation of soil structure to other physical properties in soils of contrasting texture and management**. Soil and Tillage Research, v. 127, p. 92-99, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.01.020>
- HATI, K. M., Jha, P., Dalal, R. C., Jayaraman, S., Dang, Y. P., Kopittke, P. M., ... & Menzies, N. W. **50 years of continuous no-tillage, stubble retention and nitrogen fertilization enhanced macro-aggregate formation and stabilisation in a Vertisol**. Soil and Tillage Research, v. 214, p. 105163, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105163>
- LIN, Lin; VAN DER BOLT, Frank; CORNELIS, Wim. **Visual assessment of soil structural quality across soil textures and compaction levels–Part II: Examination of profile walls vs Intact soil cores**. Geoderma, v. 426, p. 116098, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116098>
- MENDONÇA, V. Z. D., Mello, L. M. M. D., Andreotti, M., Pariz, C. M., Yano, É. H., & Pereira, F. C. B. L. **Liberção de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, p. 183-193, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20150666>
- MUNKHOLM, Lars J.; BALL, Bruce C.; BATEY, Tom. **Applications of visual soil evaluation**. Soil & tillage research, v. 127, 2013.
- NEVES, J. F., da Silva Neves, S. M. A., Júnior, S. S., Scheuer, J. M., & Botti, N. S. **Milho verde na agricultura familiar em Cáceres-MT: Desafios e perspectivas para o desenvolvimento rural**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v. 17, n. 3, 2021. <https://doi.org/10.54399/rbgdr.v17i3.4909>
- PATRA, S., Parihar, C. M., Mahala, D. M., Singh, D., Nayak, H. S., Patra, K., ... & Sena, D. R. **Influence of long-term tillage and diversified cropping systems on hydro-physical properties in a sandy loam soil of North-Western India**. Soil and Tillage Research, v. 229, p. 105655, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105655>
- PEREIRA, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F.J.,& Shitsuka, R. (2018). **Metodologia da pesquisa científica**. [ebook].Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Recuperado de: Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., & Teixeira, W. G. (2017). Manual de métodos de análise de solo.
- RAO, S., Armstrong, R., Silva-Perez, V., Tefera, A. T., & Rosewarne, G. M. **Pulse root ideotype for water stress in temperate cropping system**. Plants, v. 10, n. 4, p. 692, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10040692>
- TANG, X., Qiu, J., Xu, Y., Li, J., Chen, J., Li, B., & Lu, Y. **Responses of soil aggregate stability to organic C and total N as controlled by land-use type in a region of south China affected by sheet erosion**. Catena, v. 218, p. 106543, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106543>

- TEIXEIRA, C. M., Carvalho, G. J. D., Andrade, M. J. B. D., Silva, C. A., & Pereira, J. M. **Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho e milho+ crotalaria no plantio direto do feijoeiro.** Acta Scientiarum. Agronomy, v. 31, p. 647-653, 2009. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i4.1356>
- WEIDHUNER, A., Hanauer, A., Krausz, R., Crittenden, S. J., Gage, K., & Sadeghpour, A. **Tillage impacts on soil aggregation and aggregate-associated carbon and nitrogen after 49 years.** Soil and Tillage Research, v. 208, p. 104878, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104878>
- YODER, Robert E. **A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses.** 1936. <https://doi.org/10.2134/agronj1936.00021962002800050001x>

CONCLUSÕES GERAIS

Para o desenvolvimento do cultivo de Milho Verde nas condições edafoclimáticas presentes nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe, o uso de sistemas conservacionistas devem ser priorizados quando se visa a sustentabilidade das explorações agrícolas por longo período. Desta forma, o PD e CM mostram-se mais eficientes que o sistema convencional de preparo do solo, quando avaliado sob aspectos de qualidade estrutural do solo e produtividade agrícola.

O uso de culturas antecedentes associadas ao manejo conservacionista do solo, mostra-se como um fator importante de ser adotado, visando elevar a matéria orgânica e, conseqüentemente, o aporte de teor de carbono orgânico no solo (resíduos de culturas, exsudatos radiculares, biomassa radicular, etc.) favorecendo a alta produtividade agrícola do milho verde.

O Tempo de permanência do solo em pousio pode está comprometendo as melhorias alcançadas pela interação do preparo do solo e culturas antecedentes no cultivo do milho de uma safra para a outra sob condições edafoclimáticas da região dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe.

O uso da inoculação *Azospirillum* brasilense com 50% da dose de N recomendada permite a fixação biológica de N e melhor aproveitamento dos nutrientes mostrando-se uma alternativa ambientalmente sustentável, porém, nas condições do presente estudo não superou o tratamento nitrogenado com 100% da dose de N em ganhos de produtividade do milho verde.

A qualidade estrutural e a alta produtividade foram alcançadas por meio de sistemas conservacionistas. Dentre as tecnologias de preparo do solo associado ao uso de culturas antecedentes visando a sustentabilidade agrícola, indica-se o CM/Guandu sob adubação nitrogenada. Em contrapartida, não se recomenda o desenvolvimento do milho verde associado ao preparo convencional, pois este foi considerado insustentável quando associado a baixa qualidade estrutural e produtividade do milho verde, conforme estabelecidos neste estudo.

Portanto, confirma-se a hipótese de que sistemas conservacionistas contribuem para menor compactação e melhor qualidade estrutural do solo repercutindo significativamente no aumento da produtividade do milho verde.

APÊNDICE A

Tabela A: Resultado das análises químicas de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe, submetido a diferentes preparos do solo associado às culturas antecedentes ao cultivo do milho na safra agrícola de 2022.

Preparo do solo	CA	Prof.	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	M.O.	P-Rem
		cm	%	mg.dm ⁻³			cmolc.dm ⁻³					%			g.kg ⁻¹		mg/L
1	1	1	4,8	18,03	21,81	13	0,71	0,26	0,4	2,6	1,02	1,42	3,62	28,07	28,17	2,03	54,3
1	1	1	5,1	23,47	29,58	12	0,95	0,35	0,2	2,1	1,36	1,56	3,46	39,31	12,82	1,91	49,8
1	1	1	5	24,38	27,64	12	1,08	0,39	0,2	2,4	1,53	1,73	3,93	39	11,56	1,81	55
1	2	1	5,3	20,65	27,58	11	1,06	0,44	0,1	2,2	1,55	1,65	3,75	41,41	6,06	1,67	49,6
1	2	1	5,1	23,15	25,2	9	1,04	0,44	0,1	2,1	1,54	1,64	3,64	42,29	6,1	1,57	47,3
1	2	1	5,3	19,15	23,31	14	1,22	0,48	0,1	1,9	1,75	1,85	3,65	47,92	5,41	1,44	50,3
1	3	1	5,1	20,88	26,71	8	1,07	0,43	0,1	2,2	1,55	1,65	3,75	41,43	6,06	1,63	50,9
1	3	1	4,9	22	22,3	12	0,98	0,43	0,1	3,2	1,47	1,57	4,67	31,4	6,37	2,09	49,9
1	3	1	4,5	26,35	22,91	11	0,92	0,35	0,2	2,2	1,34	1,54	3,54	37,78	12,99	1,82	60
1	4	1	5,1	28,8	20,8	7	0,96	0,36	0,1	1,9	1,34	1,54	3,54	37,78	12,99	1,82	60
1	4	1	4,8	14,98	26,51	9	0,85	0,34	0,2	2,5	1,23	1,43	3,73	32,93	13,99	1,81	59,4
1	4	1	5	22,48	29,92	16	0,77	0,37	0,2	2,4	1,2	1,4	3,6	33,27	14,29	1,8	50,3
1	1	2	4,6	13,46	22,56	8	0,63	0,31	0,3	2,7	0,97	1,27	3,67	26,55	23,62	1,65	60,8
1	1	2	4,8	21,58	23,28	8	0,89	0,43	0,1	2,2	1,38	1,48	3,58	38,42	6,76	1,66	57,8
1	1	2	5,1	20,84	23,39	9	1,07	0,45	0,1	2,2	1,57	1,67	3,77	41,74	5,99	1,71	59,4
1	2	2	4,9	21,5	20,09	7	0,9	0,37	0,1	2	1,57	1,67	3,77	41,74	5,99	1,71	59,4
1	2	2	4,9	24,22	20,28	5	0,97	0,37	0,1	2	1,4	1,5	3,4	41,24	6,67	1,37	53,7
1	2	2	4,9	17,52	24,17	9	1,1	0,42	0,1	1,8	1,56	1,66	3,36	46,58	6,02	1,54	56,1
1	3	2	5,1	25,56	28,26	9	1,12	0,44	0,1	2	1,63	1,73	3,63	44,78	5,78	1,71	58
1	3	2	5	23,17	19,12	9	0,99	0,43	0,1	2	1,48	1,58	3,48	42,51	6,33	1,39	56,2
1	3	2	4,5	12,88	6,2	5	0,3	0,16	0,4	2,7	0,49	0,89	3,19	15,46	44,94	1,07	48,5
1	4	2	5	24,23	24,51	9	1,02	0,38	0,2	2,2	1,46	1,66	3,66	39,95	12,05	1,54	57,2
1	4	2	4,7	20,17	30,14	11	0,9	0,38	0,2	2,7	1,33	1,53	4,03	33,05	13,07	2,01	59,2
1	4	2	4,8	27,35	31,22	15	0,85	0,4	0,2	2,5	1,32	1,52	3,82	34,56	13,16	1,82	57,8
2	1	1	5,5	21,47	18,99	8	2	1,17	0,1	1,7	3,23	3,33	4,93	65,42	3	2,4	60,5
2	1	1	5,2	19,69	28,59	11	1,76	0,64	0,1	2,1	2,45	2,55	4,55	53,86	3,92	2,53	60
2	1	1	5,2	38,72	34,59	12	1,56	0,62	0,1	2,2	2,28	2,38	4,48	50,88	4,2	2,38	56,9
2	2	1	4,9	24,7	24,55	7	1,56	0,6	0,1	2,8	2,22	2,32	5,02	44,29	4,31	2,9	60,9
2	2	1	5,2	23,57	27,31	8	1,76	0,73	0,1	2,1	2,55	2,65	4,65	54,85	3,77	2,26	57,6
2	2	1	5	26,72	23,51	10	1,61	0,65	0,1	2,4	2,33	2,43	4,73	49,23	4,12	2,27	52,9
2	3	1	5,3	19,15	24,04	10	1,39	0,61	0,1	2	2,05	2,15	4,05	50,6	4,65	1,41	52,1
2	3	1	5	24,15	17,46	7	1,5	0,59	0,1	2,1	2,15	2,25	4,25	50,63	4,44	2,14	59,5
2	3	1	5	25,63	23,21	10	1,31	0,55	0,1	2,3	1,93	2,03	4,23	45,53	4,93	1,97	49,9
2	4	1	5	21,8	21,05	7	1,74	0,65	0,1	1,9	2,45	2,55	4,35	56,23	3,92	2,23	58
2	4	1	4,8	19,67	11,89	10	1,06	0,33	0,2	2,9	1,44	1,64	4,34	33,19	12,2	2,32	57,8

2	4	1	4,8	25,31	17,15	6	1,2	0,39	0,2	2,8	1,65	1,85	4,45	37,19	10,81	2,01	54,3
2	1	2	5,4	18,26	17,76	8	1,76	1,04	0,1	1,8	2,85	2,95	4,65	61,22	3,39	2,05	60,4
2	1	2	5	17,74	27,17	11	1,48	0,64	0,1	1,9	2,17	2,27	4,07	53,21	4,41	1,77	63
2	1	2	5,1	26,72	26,55	10	1,49	0,65	0,1	2,1	2,21	2,31	4,31	51,24	4,33	1,8	53,7
2	2	2	4,9	21,24	24,36	10	1,4	0,57	0,1	2,3	2,02	2,12	4,32	46,86	4,72	2,39	60,5
2	2	2	5,2	20,54	27,44	8	1,68	0,77	0,1	1,8	2,5	2,6	4,3	58,2	3,85	2,09	61,2
2	2	2	5,3	19,94	21,86	10	1,48	0,59	0,1	1,8	2,12	2,22	3,92	54,11	4,5	1,54	58
2	3	2	5,1	19,94	24,18	9	1,5	0,67	0,1	1,8	2,22	2,32	4,02	55,25	4,31	1,44	60,5
2	3	2	4,9	19,75	18,39	9	1,35	0,6	0,1	2,1	2	2,1	4,1	48,8	4,76	1,68	64
2	3	2	5,1	19,54	30,31	10	1,1	0,44	0,1	2,3	1,59	1,69	3,89	40,88	5,92	1,24	49,4
2	4	2	4,8	18,49	18,72	8	1,63	0,72	0,1	2,3	2,4	2,5	4,7	51,01	4	2,03	62,7
2	4	2	4,7	14,92	15,04	10	1,08	0,35	0,1	3	1,47	1,57	4,47	32,85	6,37	1,88	64,7
2	4	2	4,5	17,88	20,39	7	0,92	0,39	0,2	2,4	1,36	1,56	3,76	36,06	12,82	1,87	58,9
3	1	1	4,9	13,46	18,81	8	0,89	0,33	0,2	2,2	1,25	1,45	3,45	36,36	13,79	1,36	50,6
3	1	1	5	19,46	69,43	8	1,43	0,2	0,1	2,1	1,68	1,78	3,78	44,44	5,62	1,44	56,5
3	1	1	5	23,74	16,95	13	1,03	0,4	0,1	2,3	1,49	1,59	3,79	39,34	6,29	1,59	54,3
3	2	1	5	15,33	31,94	10	1,21	0,33	0,1	1,9	1,58	1,68	3,48	45,38	5,95	1,31	56,7
3	2	1	5,2	29,14	16,78	9	1,28	0,47	0,1	2	1,82	1,92	3,82	47,77	5,21	1,45	58
3	2	1	5,1	13,05	17,6	7	1,42	0,57	0,1	1,8	2,02	2,12	3,82	52,97	4,72	1,35	53,7
3	3	1	4,5	23,19	20,62	9	0,94	0,32	0,3	3,3	1,32	1,62	4,62	28,56	18,52	2,13	54,7
3	3	1	4,7	17,85	15,23	8	0,66	0,38	0,3	2,5	1,09	1,39	3,59	30,24	21,58	1,52	51,3
3	3	1	4,6	16,48	8,47	11	0,88	0,34	0,2	2,9	1,26	1,46	4,16	30,34	13,7	2,2	55,9
3	4	1	4,6	17,79	14,83	7	0,73	0,37	0,3	2,8	1,15	1,45	3,95	29	20,69	1,56	52,6
3	4	1	4,9	27,97	16,9	9	1,02	0,46	0,2	2,2	1,55	1,75	3,75	41,38	11,43	1,55	54
3	4	1	4,7	20,06	24,12	9	0,76	0,34	0,3	3,4	1,15	1,45	4,55	25,31	20,69	1,65	61,7
3	1	2	5,3	10,2	18,04	5	0,67	0,26	0,1	1,8	0,96	1,06	2,76	34,64	9,43	0,78	62
3	1	2	5,3	11,09	30,65	6	0,85	0,25	0,1	2,1	1,13	1,23	3,23	34,94	8,13	0,85	60,5
3	1	2	5,4	13,65	22,26	5	0,75	0,32	0,1	1,6	1,1	1,21	2,71	40,77	8,26	0,71	55,9
3	2	2	5,7	11,72	20,41	6	0,86	0,35	0	1,3	1,24	1,24	2,54	48,82	0	0,69	53,8
3	2	2	5,6	23,22	20,74	7	1,14	0,42	0,1	1,6	1,62	1,72	3,22	50,3	5,81	0,81	49,3
3	2	2	5,7	13,28	37,79	5	0,99	0,42	0,1	1,7	1,44	1,54	3,14	45,99	6,49	0,83	55
3	3	2	4,7	17	41,52	7	0,59	0,25	0,3	3,2	0,88	1,18	4,08	21,66	25,42	1,28	53,2
3	3	2	4,8	10,98	21,4	5	0,56	0,28	0,3	3,7	0,87	1,17	4,57	19	25,64	1,1	57,6
3	3	2	4,9	13,6	17,7	6	0,73	0,33	0,2	2,8	1,09	1,29	3,89	28,15	15,5	1,55	57,2
3	4	2	4,4	17,13	33,97	6	0,49	0,24	0,3	2,7	0,77	1,07	3,47	22,3	28,04	0,63	53,7
3	4	2	5	17,63	15,26	8	0,91	0,33	0,2	2,3	1,29	1,49	3,59	35,8	13,42	1,04	51,8
3	4	2	4,7	19,18	32,88	9	0,58	0,19	0,4	3,3	0,82	1,22	4,12	19,88	32,79	1,03	49,3
1	controle	1	4,5	16,62	30,66	9	0,66	0,15	0,4	2,3	0,85	1,25	3,15	27,07	32	0,97	47,5
1	controle	2	4,5	12,3	16,35	7	0,41	0,14	0,4	2,9	0,58	0,98	3,48	16,71	40,82	1,02	50,6
2	controle	1	6,3	41,85	26,96	38	2,45	1,6	0,1	1,2	4,16	4,26	5,36	77,56	2,35	2,13	47,1
2	controle	2	6,2	32,61	18,62	13	2,49	1,64	0,1	1,2	4,21	4,31	5,41	77,89	2,32	1,68	48,2
3	controle	1	4,7	19,39	11,35	11	0,81	0,29	0,1	2,6	1,15	1,25	3,75	30,66	8	1,65	54,3
3	controle	2	4,6	16,9	19,43	9	0,44	0,21	0,3	3,3	0,69	0,99	3,99	17,38	30,3	1,13	48,4

Legenda: Fator 1- preparo do solo: CC (1), CM (2); PD(3); Fator 2 – cultura antecedente(CA): feijão-caupi (1), milho(2), crotalaria(3), guandu(4); Fator 3- prof.(profundidade do solo): 0-10 cm (1) e 10-20 cm (2).

APÊNDICE B

Resultado das regressões que não apresentaram diferença estatística significativa entre as influências dos atributos físicos do solo, Carbono Orgânico do solo, Índice de cobertura vegetal, Estabilidade de agregados do solo e Qualidade de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe, submetido a diferentes culturas antecedentes (Feijão guandu, Feijão-caupi, Crotalária e Milheto) ao milho, e preparo do solo (Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto) e sua influência na produtividade do milho verde.

Tabela a – Regressão do estoque de carbono e produtividade.

CA	Sistema de Plantio Direto 100% ureia - sem Inoculante							
	(0 – 10 cm)				(10 – 20 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
E.C.Caupi	3,980	0,645	0,543	0,670	-18,275	-2,299	0,061	0,670
E.C. Guandu	6,499	0,479	0,649	0,235	-3,370	-,383	0,715	0,235
E.C. Milheto	0,096	0,303	0,772	0,102	1,567	,789	0,460	0,102
E.C. Crotalária	1,949	0,477	0,650	0,336	-0,929	-,350	0,738	0,336

Tabela b – Regressão do estoque de carbono e produtividade.

CA	Sistema de Plantio Direto 50% ureia - com Inoculante							
	(0 – 10 cm)				(10 – 20 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
E.C. Caupi	-0,940	-0,128	0,902	0,179	6,497	0,687	0,518	0,179
E.C. Guandu	2,380	0,470	0,655	0,623	-,772	-,235	0,822	0,623
E.C. Milheto	-0,159	-0,122	0,907	0,012	1,912	0,235	0,822	0,012
E.C. Crotalária	13,449	0,491	0,641	0,170	-10,043	-0,564	0,593	0,170

Tabela c – Regressão do DMP como variável dependente o RMP(10 cm) no CC.

CA	Sistema de Cultivo Convencional							
	DMP (0-10 cm) – RP (10 cm)				DMP (10-20 cm) – RP (10 cm)			
	Coeficiente Beta	T	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	-42.859	-0.412	0.702	0.563	-135.769	-1.810	0.145	0.563
Milheto	-360.435	-0.389	0.717	0.101	690.251	0.560	0.605	0.101
Crotalária	2326.183	2.248	0.088	0.803	-1361.061	-1.187	0.301	0.803
Guandu	-1066.925	-2.215	0.091	0.619	328.944	2.222	0.090	0.619

Tabela d – Regressão do DMP como variável dependente o RMP(20 cm) no CC.

CA	Sistema de Cultivo Convencional							
	DMP (0-10 cm) – RP (20 cm)				DMP (10-20 cm) – RP (20 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	81.564	0.283	0.791	0.360	-226.973	-1.092	0.336	0.360
Milheto	-317.330	-0.441	0.658	0.097	457.502	0.478	0.658	0.097
Crotalária	3022.374	2.328	0.080	0.811	-1786.626	-1.242	0.282	0.811
Guandu	-591.515	-1.557	0.194	0.625	187.045	1.602	0.184	0.625

Tabela e – Regressão do DMP como variável dependente o RMP(40 cm) no CC.

CA	Sistema de Cultivo Convencional							
	DMP (0-10 cm) – RP (40 cm)				DMP (10-20 cm) – RP (40 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	52.768	0.064	0.952	0.418	-836.995	-1.404	0.233	0.418
Milheto	-234.725	-0.432	0.688	0.097	354.638	.491	0.649	0.097
Crotalária	2411.566	2.508	0.066	0.817	-1626.687	-1.527	0.202	0.817
Guandu	-516.205	-2.208	0.092	0.602	158.276	2.203	0.092	0.602

Tabela f – Regressão do DMG como variável dependente o RMP(40 cm) no CM.

CA	Sistema de Cultivo Mínimo							
	DMG (0-10 cm) – RP (10 cm)				DMG (10-20 cm) – RP (10 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	-165.378	-	0.096	0.886	272.969	2.361	0.078	0.886
Milheto	54.151	0.480	0.657	0.904	-361.568	-2.433	0.072	0.904
Crotalária	397.929	2.527	0.065	0.886	-8.152	-1.164	0.309	0.886
Guandu	372.853	.684	0.532	0.455	-528.421	-1.067	0.346	0.455

Tabela g – Regressão do DMG como variável dependente o RMP(0 cm) no PD.

CA	Sistema de Plantio Direto							
	DMG (0-10 cm) – RP (0 cm)				DMG (10-20 cm) – RP (0 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	321.500	0.332	0.756	0.034	81.036	0.098	0.927	0.034
Milheto	-42.524	-0.498	0.645	0.486	-139.680	-0.520	0.630	0.486
Crotalária	-9.772	-1.161	0.310	0.548	-56.779	-1.630	0.178	0.548
Guandu	-15.395	-1.389	0.237	0.566	1.234	0.172	0.872	0.566

Tabela h – Regressão do DMP como variável dependente o RMP(0 cm) no PD.

CA	Sistema de Plantio Direto							
	DMP (0-10 cm) – RP (0 cm)				DMP (10-20 cm) – RP (0 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	-107.355	-0.342	0.750	0.034	-30.631	-0.109	0.918	0.034
Milheto	10.925	0.256	0.811	0.486	68.845	0.736	0.502	0.486
Crotalária	4.869	.742	0.499	0.548	21.855	1.455	0.219	0.548
Guandu	12.272	1.567	0.192	0.566	0.724	0.136	0.899	0.566

Tabela i – Regressão do DMG como variável dependente o RMP(10 cm) no PD.

CA	Sistema de Plantio Direto							
	DMG (0-10 cm) – RP (10 cm)				DMG (10-20 cm) – RP (10 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	671.104	0.584	0.591	0.422	108.345	0.110	0.918	0.422
Milheto	-92.921	-0.315	0.768	0.401	10.265	0.011	0.992	0.401
Crotalária	39.522	1.520	0.203	0.405	-48.170	-0.448	0.678	0.405
Guandu	-77.902	-1.403	0.233	0.364	25.086	0.696	0.525	0.364

Tabela j – Regressão do DMP como variável dependente o RMP(10 cm) no PD.

CA	Sistema de Plantio Direto							
	DMP (0-10 cm) – RP (10 cm)				DMP (10-20 cm) – RP (10 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	-183.836	-0.492	0.648	0.422	-12.438	-0.037	0.972	0.422
Milheto	26.483	0.180	0.866	0.401	61.974	0.192	0.857	0.401
Crotalária	-28.177	-1.390	0.237	0.405	22.761	0.491	0.649	0.405
Guandu	56.083	1.430	0.226	0.364	-13.772	-0.516	0.633	0.364

Tabela k – Regressão do DMG como variável dependente o RMP(20 cm) no PD.

CA	Sistema de Plantio Direto							
	DMG (0-10 cm) – RP (20 cm)				DMG (10-20 cm) – RP (20 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	1193.217	0.390	0.717	0.556	93.524	0.036	0.973	0.556
Milheto	-161.586	-0.265	0.804	0.364	195.431	0.102	0.924	0.364
Crotalária	38.463	1.522	0.203	0.407	-49.457	-0.473	0.661	0.407
Guandu	-168.086	-1.410	0.231	0.334	73.036	0.944	0.398	0.334

Tabela l – Regressão do DMP como variável dependente o RMP(20 cm) no PD.

CA	Sistema de Plantio Direto							
	DMP (0-10 cm) – RP (20 cm)				DMP (10-20 cm) – RP (20 cm)			
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²
Caupi	-261.245	-0.263	0.806	0.556	61.823	0.070	0.948	0.556
Milheto	47.521	0.156	0.884	0.364	57.978	0.087	0.935	0.364
Crotalária	-27.502	-1.397	0.235	0.407	23.182	0.514	0.634	0.407
Guandu	114.971	1.366	0.244	0.334	-47.213	-0.824	0.456	0.334

Tabela m – Regressão do DMG como variável dependente o RMP(30 cm) no PD.

CA	Sistema de Plantio Direto							
	DMG (0-10 cm) – RP (30 cm)				DMG (10-20 cm) – RP (30 cm)			
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²
Caupi	1770.563	0.335	0.754	0.540	101.775	0.023	0.983	0.540
Milheto	-190.208	-0.278	0.795	0.374	170.968	0.079	0.940	0.374
Crotalária	47.426	1.520	0.203	0.405	-57.804	-0.448	0.678	0.405
Guandu	-140.528	-1.413	0.230	0.346	68.396	1.060	0.349	0.346

Tabela n – Regressão do DMP como variável dependente o RMP(30 cm) no PD.

CA	Sistema de Plantio Direto							
	DMP (0-10 cm) – RP (30 cm)				DMP (10-20 cm) – RP (30 cm)			
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²
Caupi	-363.156	-0.212	0.843	0.540	123.072	0.080	0.940	0.540
Milheto	55.450	0.162	0.879	0.374	84.814	0.113	0.915	0.374
Crotalária	-33.813	-1.390	0.237	0.405	27.313	0.491	0.649	0.405
Guandu	93.780	1.335	0.253	0.346	-46.259	-0.968	0.388	0.346

Tabela o – Regressão do DMG como variável dependente o RMP(40 cm) no PD.

CA	Sistema de Plantio Direto							
	DMG (0-10 cm) – RP (40 cm)				DMG (10-20 cm) – RP (40 cm)			
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²
Caupi	1663.832	0.276	0.796	0.517	46.901	0.009	0.993	0.517
Milheto	-168.546	-0.231	0.829	0.338	365.265	0.159	0.881	0.338
Crotalária	71.575	1.419	0.229	0.390	74.181	.355	0.740	0.390
Guandu	-145.273	-1.441	0.223	0.713	136.84	2.093	0.105	0.713

Tabela p – Regressão do DMG como variável dependente o RMP(40 cm) no PD.

CA	Sistema de Plantio Direto							
	DMP (0-10 cm) – RP (40 cm)				DMP (10-20 cm) – RP (40 cm)			
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²
Caupi	-308.999	-0.158	0.882	0.517	156.929	0.090	0.933	0.517
Milheto	50.903	0.140	0.896	0.338	15.215	0.019	0.986	0.338
Crotalária	-46.101	-1.173	0.306	0.390	-23.363	-0.260	0.808	0.390
Guandu	75.829	1.065	0.347	0.713	-109.023	-2.250	0.088	0.713

Tabela q – Regressão da densidade do solo e produtividade tratamento nitrogenado no CM.

CA	Sistema de Cultivo Mínimo							
	Densidade x Produtividade (100% ureia -sem Inoculação)							
	(0 – 10 cm)				(10 – 20 cm)			
	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²	Coeficiente <i>Beta</i>	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²
Caupi	-9539,730	-1,241	0,261	0,204	-11980,430	-1,035	0,340	0,204
Guandu	29334,512	1,937	0,101	0,545	11583,234	0,647	0,542	0,545
Milheto	3229,278	1,233	0,264	0,203	-2942,661	-1,222	0,267	0,203
Crotalária	-20434,005	-1,060	0,330	0,494	-22698,271	-0,377	0,719	0,494

Tabela r – Regressão da densidade do solo e produtividade com tratamento inoculado no CM.

CA	Sistema de Cultivo Mínimo							
	Densidade x Produtividade (50% ureia – com Inoculação)							
	(0 – 10 cm)				(10 – 20 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	-26807,931	-1,569	0,168	0,297	-29326,316	-1,140	0,298	0,297
Guandu	47142,895	0,917	0,395	0,188	11505,762	0,189	0,856	0,188
Milheto	7641,431	1,220	0,268	0,513	-8278,715	-1,438	0,201	0,513
Crotalária	-29908,629	-1,036	0,340	0,506	-39709,633	-0,441	0,675	0,506

Tabela s – Regressão do DMG como variável dependente o ICV no CC.

CA	Sistema de Cultivo Convencional					
	DMG (0-10 cm)			DMG (10-20 cm)		
	Coeficiente Beta	t	Sig.	Coeficiente Beta	t	Sig.
(Constante)	118.165	3.750	0.020	90.877	4.458	0.011
Caupi	-41.739	-.536	0.621	-68.626	-1.582	0.189
Milheto	-40.273	-.336	0.754	54.370	1.781	0.149
Crotalária	-113.924	-1.980	0.119	-114.945	-1.403	0.233
Guandu	-15.898	-.359	0.738	-4.540	-.226	0.832

Tabela t – Regressão do DMP como variável dependente o ICV no CC.

CA	Sistema de Cultivo Convencional					
	DMP (0-10 cm)			DMP (10-20 cm)		
	Coeficiente Beta	t	Sig.	Coeficiente Beta	t	Sig.
(Constant)	87.966	4.298	0.013	79.970	4.282	0.013
Caupi	-5.593	-0.198	0.853	-24.230	-1.602	0.184
Milheto	2.637	0.083	0.938	21.089	1.914	0.128
Guandu	-10.637	-0.705	0.520	-36.080	-1.316	0.259
Crotalária	-31.684	-1.418	0.229	-4.926	-0.560	0.605

Tabela u – Regressão do DMP como variável dependente a produtividade com tratamento nitrogenado no CC.

CA	Sistema de Cultivo Convencional							
	100% ureia -sem Inoculante							
	DMP (0 – 10 cm)				DMP (10 – 20 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	27.262,872	0,957	0,393	0,566	17.989,541	0,877	0,430	0,566
Guandu	3.111,308	0,661	0,538	0,163	3.556	0,668	0,529	0,163
Milheto	-341,005	-,039	0,971	0,245	12.384,143	1,073	0,344	0,245
Crotalária	3.249,762	0,111	0,917	0,454	-8.388,788	-0,260	0,808	0,454

Tabela v – Regressão do DMG como variável dependente a produtividade com inoculado nitrogenado no CC.

CA	Sistema de Cultivo Convencional							
	50% ureia -com Inoculante							
	DMG (0 – 10 cm)				DMG (10 – 20 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	-2237,931	-0,082	0,939	0,396	28881,167	1,408	0,232	0,396
Guandu	-352,985	-0,077	0,941	0,167	-1573,034	-0,668	0,529	0,167
Milheto	16060,964	0,170	0,873	0,105	-22852,270	-0,344	0,748	0,105
Crotalária	19434,345	1,495	0,209	0,647	-11578,076	-0,790	0,474	0,647

Tabela w – Regressão do DMG como variável dependente a produtividade com tratamento nitrogenado no CM.

Sistema de Cultivo Mínimo								
100% ureia -sem Inoculante								
CA	DMG (0 – 10 cm)				DMG (10 – 20 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R2	Coeficiente Beta	t	Sig.	R ²
Caupi	-2031,546	-0,939	0,401	0,395	4417,204	1,349	0,249	0,395
Guandu	-7010,633	-1,201	0,296	0,420	8197,223	1,548	0,197	0,420
Milheto	-2889,785	-2,311	0,082	0,663	1554,909	0,945	0,398	0,663
Crotalária	25211,782	2,136	0,100	0,825	-628,981	-1,197	0,297	0,825

Tabela x – Regressão do DMP como variável dependente a produtividade com tratamento nitrogenado no CM.

Sistema de Cultivo Mínimo								
100% ureia -sem Inoculante								
CA	DMP (0 – 10 cm)				DMP (10 – 20 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R2	Coeficiente Beta	t	Sig.	R2
Caupi	1564,743	1,247	0,280	0,395	-2683,627	-1,345	0,250	0,395
Guandu	4548,159	1,150	0,314	0,420	-4824,329	-1,496	0,209	0,420
Milheto	1757,000	1,865	-0,972	0,663	-936,782	-0,972	0,386	0,663
Crotalária	-11049,642	-1,795	0,147	0,825	2994,899	1,637	0,177	0,825

Tabela y – Regressão do DMP como variável dependente a produtividade com tratamento inoculado no PD.

Sistema de Plantio Direto								
50% ureia - com Inoculante								
CA	DMP (0 – 10 cm)				DMP (10 – 20 cm)			
	Coeficiente Beta	t	Sig.	R2	Coeficiente Beta	t	Sig.	R2
Caupi	-6388,911	-0,991	0,367	0,248	-468,696	-1,085	0,327	0,248
Guandu	1192,426	1,091	0,337	0,684	-1582,521	-2,128	0,100	0,684
Milheto	241,962	0,204	0,848	0,436	809,947	0,312	0,770	0,436
Crotalária	-5603,002	-1,034	0,359	0,429	-8421,829	-0,679	0,534	0,429