



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DE UM SOLO DE  
TABULEIROS COSTEIROS SOB SISTEMAS DE CULTIVO  
DE MILHO INTEGRADO COM UROCHLOA SPP.**

**FRANCE MÁRIO COSTA**

**2021**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**FRANCE MÁRIO COSTA**

**ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DE UM SOLO DE TABULEIROS COSTEIROS  
SOB SISTEMAS DE CULTIVO DE MILHO INTEGRADO COM UROCHLOA SPP.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

Orientador  
Prof. Dr. Marcelo Ferreira Fernandes

SÃO CRISTÓVÃO  
SERGIPE – BRASIL  
2021

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

C837a Costa, France Mário  
Alterações na qualidade de um solo de tabuleiros costeiros sob sistemas de cultivo de milho integrado com *Urochloa* SPP. / France Mário Costa ; Orientador Marcelo Ferreira Fernandes. – São Cristóvão, SE, 2021.  
45 f. : il.

Dissertação (mestrado em Agricultura e Biodiversidade) – Universidade Federal de Sergipe, 2021.

1. Solos - Qualidade. 2. Física do solo. 3. Milho - Solos. I. Fernandes, Marcelo Ferreira, orient II. Título.

CDU: 631.43

**FRANCE MÁRIO COSTA**

**ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DE UM SOLO DE TABULEIROS COSTEIROS  
SOB SISTEMAS DE CULTIVO DE MILHO INTEGRADO COM UROCHLOA SPP.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

APROVADA em 22 de julho de 2021.

Dr. Lucas Dantas Lopes  
University of Nebraska

Dr. Edson Patto Pacheco  
EMBRAPA Tabuleiros Costeiros



Prof. Dr. Marcelo Ferreira Fernandes  
EMBRAPA Tabuleiros Costeiros  
(Orientador)

SÃO CRISTÓVÃO  
SERGIPE – BRASIL

---

*Aos meus pais por me ensinarem a encarar os desafios do dia a dia e buscar vencê-los, por tudo que já fizeram por mim e o que continuarão fazendo em minha vida.*

***Dedico***

## AGRADECIMENTOS

Ao amanhecer de cada dia recebemos uma nova oportunidade de conquistar nossos objetivos, de encarar nossos medos e superá-los, mas tudo isso sem Deus não é possível, então agradeço por cada dia de vida, coragem e dedicação para buscar e alcançar os meus objetivos.

Aos meus pais por todos os ensinamentos, sacrifícios, por estarem sempre comigo me ajudando em tudo aquilo que já precisei. Aos meus irmãos, porque um guerreiro não vence uma batalha sozinho e vocês se fizeram presentes sempre que foi necessário. Aos meus avós maternos e paternos (“*in memoriam*”) por me ensinarem desde muito jovem a encarar os desafios da vida, buscando superá-los com o que nós temos de melhor e sempre respeitando aos outros.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Biodiversidade por todos os ensinamentos.

Ao meu orientador Dr. Marcelo Fernandes por todos os ensinamentos, pelo exemplo de profissionalismo, dedicação, por cada conselho e por todas as orientações.

Ao Dr. Edson Patto e Dr. Lucas Dantas por aceitarem fazer parte da banca de avaliação deste trabalho.

Aos amigos da EMBRAPA Tabuleiros Costeiros e unidade de Nossa Senhora das Dores que me ajudaram na execução deste trabalho.

A minha namorada Mikaelly por todo companheirismo, paciência e apoio para conquistar esse objetivo.

Aos amigos do grupo de estatística experimental e as amizades formadas durante o mestrado.

Aos meus amigos de outras datas que fazem parte da minha vida.

A todos que me ajudaram não apenas nesta etapa, mas durante toda a minha vida, graças a vocês consegui conquistar muitos dos meus objetivos e me sinto capacitado e confiante para encarar as dificuldades que irão surgir ao longo da minha vida.

“A tua palavra é lâmpada que ilumina os meus passos e luz que clareia o meu caminho. Salmos 119:105”.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	i
LISTA DE TABELAS .....	ii
LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS .....	iii
RESUMO .....	iv
ABSTRACT .....	v
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	8
4. ARTIGO 1: ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DE UM SOLO DE TABULEIROS COSTEIROS SOB SISTEMAS DE CULTIVO DE MILHO INTEGRADO COM UROCHLOA SPP.....	14
Resumo .....	14
Abstract.....	15
4.1. Introdução .....	16
4.2. Material e Métodos .....	17
4.3. Resultados .....	20
4.4. Discussão .....	26
4.5. Conclusões .....	27
4.6. Referências Bibliográficas .....	28
Anexos .....	32

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 1

Figura	Página
1	17
2	20
3	22
4	23
5	24

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

Tabela	Página
1	Descrição dos tratamentos que foram utilizados no experimento, siglas e tempo de cultivo contínuo da <i>U. decumbens</i> em meses. .... 18
2	Propriedades físicas do solo analisadas e método adotado..... 19
3	Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis diâmetro médio de agregados (DMA), estabilidade de agregados em água (EAA), porosidade total (POT), densidade do solo (DS), matéria orgânica do solo (MOS) e resistência à penetração (RP) e os escores das amostras de solo ao longo dos eixos 1 e 2 da ordenação por NMS. .... 21
4	Médias ( $\pm 1$ D.P.) das variáveis diâmetro médio de agregados (DMA), estabilidade de agregados em água (EAA), porosidade total (POT), densidade do solo (DS), matéria orgânica do solo (MOS) e resistência à penetração em função do gradiente de tempo de cultivo continuado de <i>Urochloa decumbens</i> (meses) e de três profundidades de solo em sistemas de produção de milho nos tabuleiros costeiros de Sergipe..... 23
5	Tabela. Médias ( $\pm 1$ D.P.) das variáveis diâmetro médio de agregados (DMA), estabilidade de agregados em água (EAA), porosidade total (POT), densidade do solo (DS), matéria orgânica do solo (MOS) e resistência à penetração em função da adoção do sistema de integração entre milho e <i>Urochloa decumbens</i> (M+Ud) e da rotação entre M+Ud e soja (M+Ud/S) e de três profundidades de solo dos tabuleiros costeiros de Sergipe..... 24
6	Médias ( $\pm 1$ D.P.) das variáveis diâmetro médio de agregados (DMA), estabilidade de agregados em água (EAA), porosidade total (POT), densidade do solo (DS), matéria orgânica do solo (MOS) e resistência à penetração em função da escolha da espécie de <i>Urochloa decumbens</i> (Ud) ou <i>U. ruziziensis</i> (Ur) introduzidas em integração com milho e de três profundidades de solo dos tabuleiros costeiros de Sergipe.....25
7	Valores médios da velocidade de infiltração básica e significância (valor <i>p</i> ) referente ao período de permanência da <i>Urochloa decumbens</i> , para a possibilidade de substituir o consórcio milho e braquiária pela rotação com a soja e por fim, se há diferença entre <i>Urochloa decumbens</i> e <i>Urochloa ruziziensis</i> .....25

## LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

UA - Unidade Animal

M - Milho em monocultivo

M+Ud - Milho consorciado com *Urochloa decumbens*

M+Ud/S - Milho consorciado com *U. decumbens* rotacionado com soja

M+Ud/Ud/Ud - Milho consorciado com *U. decumbens* com permanência do pasto nos dois anos seguintes

M+Ur/Ur/Ur - Milho consorciado com *Urochloa ruziziensis* com permanência do pasto nos dois anos seguintes

VIB - Velocidade de infiltração básica de água no solo

DMA - Diâmetro médio de agregados

EAA - Estabilidade de agregados em água

PT - Porosidade total

DS - Densidade do solo

RP - Resistência à penetração no solo

MOS - Matéria orgânica do solo

C/N - Relação carbono/nitrogênio

NMS – Ordenação multidimensional não métrica

## RESUMO

COSTA, France Mário. **Alterações na qualidade de um solo de tabuleiros costeiros sob sistemas de cultivo de milho integrado com *Urochloa spp.*** São Cristóvão: UFS, 2021. 45p. (Dissertação – Mestrado em Agricultura e Biodiversidade).\*

O objetivo deste trabalho foi testar, em ambiente de produção de grãos dos tabuleiros costeiros de Sergipe, as hipóteses de que a qualidade do solo (QS) em profundidade é alterada (i) pelo tempo de permanência continuada de *Urochloa decumbens* em sistemas integrados com milho, (ii) pela inserção da soja em rotação no sistema de integração de milho e *U. decumbens*, e (iii) pela espécie de *Urochloa* utilizada na integração. Para isso foram avaliados cinco tratamentos (plantio direto de milho em monocultivo; integração de milho com *U. decumbens*, M+Ud; rotação entre M+Ud com soja; M+Ud com permanência do pasto nos dois anos seguintes, e integração de milho com *U. ruziziensis* com permanência do pasto nos dois anos seguintes) de um experimento com nove anos. Avaliaram-se amostras de solo coletadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade quanto à resistência mecânica à penetração, diâmetro médio e estabilidade de agregados em água, matéria orgânica, porosidade total e densidade do solo. Os dados foram submetidos a análises univariadas e multivariadas, neste caso, para compor um gradiente sintético de QS. Na camada mais superficial, o aumento do tempo de permanência contínua da *Urochloa* por até 19 meses promoveu a QS, com estabilização observada após esse período. Esse aumento da QS nas demais profundidades foi linear de 0 a 26 meses, decrescendo com a profundidade. Ainda sobre o tempo de permanência da *U. decumbens*, reduziu a resistência à penetração ao longo do período avaliado, com comportamento similar, independente da profundidade avaliada. A inserção da soja em rotação com o milho integrado com *U. decumbens* ou a escolha da espécie de *Urochloa* em integração com o milho não impactaram a QS. A permanência da *Urochloa* no sistema melhorou a qualidade do solo ao longo do perfil, a inserção da rotação com soja e a escolha da espécie da *Urochloa* não interferiram na qualidade do solo de tabuleiros costeiros avaliado.

**Palavras-chave:** Solos cauliníticos, sistemas de cultivo, propriedades físicas, qualidade do solo, rotação milho consorciado – soja.

---

\* Comitê Orientador: Marcelo Ferreira Fernandes – EMBRAPA Tabuleiros Costeiros (Orientador).

**ABSTRACT**

COSTA, France Mário. **Changes in coastal tablelands soil quality under maize cropping systems integrated with *Urochloa* spp.** São Cristóvão: UFS, 2021. 45p. (Dissertation - Master in Agriculture and Biodiversity)\*.

The objective of this work was to test, in a grain production environment in the coastal tablelands of Sergipe, the hypotheses that the soil quality (QS) at depth is altered (i) by the continued residence time of *Urochloa decumbens* in systems integrated with corn, (ii) by the insertion of soybean in rotation in the corn and *U. decumbens* integration system, and (iii) by the *Urochloa* species used in the integration. For this, five treatments were evaluated (no-tillage corn in monoculture; integration of corn with *U. decumbens*, M+Ud; rotation between M+Ud with soybean; M+Ud with pasture permanence in the following two years, and integration of corn with *U. ruziziensis* with permanence on pasture for the next two years) from a nine-year experiment. Soil samples collected from 0-10, 10-20 and 20-40 cm in depth were evaluated for mechanical resistance to penetration, average diameter and stability of aggregates in water, organic matter, total porosity and soil density. Data were submitted to univariate and multivariate analyses, in this case, to compose a synthetic QS gradient. In the more superficial layer, the increase in the continuous permanence time of *Urochloa* for up to 19 months promoted QS, with stabilization observed after this period. This increase in QS at other depths was linear from 0 to 26 months, decreasing with depth. Still about the *U. decumbens* permanence time, it reduced penetration resistance throughout the period evaluated, with similar behavior, regardless of the depth evaluated. The soybean insertion in rotation with corn integrated with *U. decumbens* or the choice of the *Urochloa* species in integration with corn did not affect QS. The *Urochloa* permanence in the system improved the soil quality along the profile, the insertion of rotation with soybeans and the choice of the *Urochloa* species did not interfere in the quality of the coastal tablelands evaluated soil.

**Keywords:** kaolinitic soils, cropping systems, physical properties, soil quality, rotation maize-soybean intercropping.

---

\* Supervising Committee: Marcelo Ferreira Fernandes – EMBRAPA Tabuleiros Costeiros (Orientador).

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O semiárido brasileiro é vulnerável à ocorrência de extremos da variabilidade do clima, e a ocorrência de chuvas durante o período chuvoso não garante que as culturas de sequeiro serão bem sucedidas, pois a ocorrência de veranicos ou período seco dentro da estação chuvosa pode comprometer bastante a agricultura regional (MARENGO et al., 2011).

Segundo estimativas do IBGE para a produção de milho no estado de Sergipe em dezembro de 2020, período que está finalizando a safra no estado, a produtividade ficou em torno de 5,509 toneladas por hectare, muito próximo à média nacional que foi 5,653 toneladas por hectare (IBGE, 2021). Em 2020 não houve problemas com falta de chuvas na maior parte do estado, possibilitando as áreas produtivas expressarem todo seu potencial, por isso essa proximidade com a média nacional, no entanto, em anos com ocorrência de veranicos a produtividade pode ser comprometida.

A adoção de sistemas que proporcionem a conservação do solo e da água tem conquistado espaço no cenário nacional e pode ser uma estratégia para regiões sujeitas ao déficit hídrico. Na integração lavoura/pecuária várias culturas têm sido utilizadas, como a soja, milho, sorgo, algodão, milheto e espécies forrageiras, destacando-se as gramíneas do gênero *Urochloa*. Essas forrageiras acumulam carbono e produzem mais fitomassa do que as culturas agrícolas, sendo importantes para a manutenção da cobertura do solo, proporcionando aumento nos teores de matéria orgânica, melhorando as propriedades do solo e as condições de aeração e capacidade de infiltração de água, permitem maior exploração do perfil do solo pelas raízes, promovem redução dos processos erosivos e mantêm a estabilidade do sistema. (LOSS et al., 2011; CHIODEROLI, 2010).

Na integração lavoura/pecuária, o consórcio entre uma cultura para produção de grãos e uma forrageira possibilita fornecer alimento para exploração pecuária durante o período de entressafra, como também para formação de massa vegetal residual para o sistema de plantio direto, beneficiando as culturas produtoras de grãos. A ILP é uma alternativa para o agricultor ou o agropecuarista, pois em muitas regiões do Brasil o cultivo de grãos tem sido prejudicado devido à baixa disponibilidade hídrica ou irregularidade na precipitação pluvial no período outono/inverno (ZANINE et al., 2006; CALONEGO et al., 2011).

Em áreas com plantio de *U. decumbens* antecedendo a soja em plantio direto, os valores obtidos para infiltração de água foram superiores aos das áreas com cultivo de aveia, milho e nabo forrageiro, esse resultado foi associado à agregação do solo provocado pelas raízes da forrageira que influenciaram na infiltração de água no solo (BONO et al., 2012).

Bono e Macedo (1996), trabalhando com sistemas de recuperação de pastagem com *U. decumbens*, encontraram relação positiva entre a quantidade de raízes com até 60 cm de profundidade e a infiltração de água. Além disso, a cobertura vegetal disponibilizada pela braquiária causa aumento na macroporosidade e reduz o impacto da chuva sobre a superfície do solo. No entanto, se o cultivo for com *U. ruziziensis*, o seu sistema radicular proporciona maior formação, estabilização e agregados mais resistentes, mantendo a estrutura do solo mais estável mesmo sendo submetido a ações que provoquem sua degradação, como operações mecanizadas e pisoteio de animais (FERREIRA et al., 2010; BRANDÃO; SILVA, 2012).

O consórcio de culturas de grãos e forrageiras é possível devido ao diferencial de aproveitamento no tempo e no espaço entre as espécies. As braquiárias contribuem com alto volume de fitomassa total e residual, com elevada relação C/N, características essas que potencializam para compor os sistemas de ILP. Enquanto a inserção da soja na integração lavoura/pecuária tem crescido devido não só aos aspectos econômicos, mas também pela capacidade de fixar nitrogênio ao solo, que pode beneficiar as culturas semeadas em sequência (PEREIRA et al., 2011).

A ILP, como já exposto, é uma estratégia para melhorar a qualidade do solo não só em superfície, mas também ao longo do perfil do solo, além de promover maior infiltração e retenção de água, no entanto, é necessária a permanência da braquiária no sistema por

períodos maiores. Em áreas cultivadas com *U. ruziziensis* após dois anos de cultivo consorciado apresentaram os melhores índices de qualidade estrutural do solo, além disso, o seu consórcio não diminuiu a produtividade de silagem, propiciou disponibilidade de forragem e melhorou os atributos físicos de solo (SANTIANI et al., 2020).

Por este motivo, o objetivo desse experimento foi avaliar a influência do período de permanência da *U. decumbens* no sistema, se a rotação entre o consórcio de milho com braquiária e soja, e se a espécie de *Urochloa ssp.* interferem na qualidade do solo nos tabuleiros costeiros sergipano.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Contextualização do experimento

O semiárido brasileiro é uma sub-região caracterizada pelo déficit hídrico durante maior parte do ano, os municípios que integram essa região atendem ao menos um dos três critérios básicos: a) precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; b) índice de Aridez de Thorntwaite igual ou inferior a 0,50; e c) percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano. Critérios estes que foram estabelecidos pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 2017).

Diversos municípios do agreste sergipano fazem parte do semiárido, no entanto, essa sub-região sergipana caracteriza-se por obter altas produtividades de milho na última década, atingindo produtividade de até 10 toneladas (GOMES et al., 2016). Segundo estimativa da CONAB (2019), o estado de Sergipe teve uma produtividade média de 4,790 toneladas, sendo a maior do nordeste para milho de segundo safra, ficando a cerca de uma tonelada a menos da média nacional que será de 5.880 toneladas. Vale ressaltar que as principais áreas produtoras de milho em Sergipe estão inseridas no semiárido brasileiro e por esse motivo estão sujeitas a instabilidades climáticas, como veranicos e estiagens prolongadas que podem comprometer parcial e até completamente a produtividade na região.

Essa região localizada no nordeste brasileiro caracteriza-se pelo monocultivo de milho, obtendo altas produtividades, com números superiores à média nacional. No entanto, é notória a importância de desenvolver um sistema de rotação de culturas por diversos motivos, entre eles a vulnerabilidade fitossanitária. A soja é uma ótima alternativa por ter mercado consumidor, não depender do uso de fertilizantes nitrogenados, reduzindo os custos com adubação, e ter ciclo de produção curto, favorecendo seu cultivo em áreas com ciclo chuvoso mais curto. Pensando nisso, foram testadas diversas variedades para selecionar aquelas com aptidão para plantio nas regiões do agreste da Bahia e Sergipe, obtendo produtividades em torno de cinco toneladas por hectare (JESUS et al., 2014).

O incentivo à produção de grãos nos estados de Sergipe, Alagoas e Bahia por parte das organizações de assistência técnica tem buscado transformar o monocultivo que é predominante, em cultivos mais diversificados com plantios de soja, feijão, sorgo, entre outras culturas, obtendo mais opções de rentabilidade e aproveitando a localização estratégica para comercialização de grãos para os mercados consumidores. No entanto, os números relacionados à produtividade regional estão expostos à ocorrência de extremos climáticos que podem comprometer a produtividade, acarretando em números bastante inferiores à média nacional (CONAB, 2021).

Além de problemas de estiagem, a região enfrenta durante seis a oito meses um período de escassez de chuvas, provocando déficit hídrico e exposição do solo a intempéries climáticas, fazendo-se necessária a adoção de medidas conservacionistas que busquem reduzir a exposição do solo a situações que provocam sua degradação. O longo período de entressafra, ocorrências sazonais de chuvas e altas temperaturas contribuem para o processo de decomposição da matéria orgânica, o que gera o desafio de elevar os teores em sistemas comerciais no nordeste do Brasil (PEDROTTI et al., 2013).

O longo período de entressafra expõe o solo a diversas intempéries climáticas que podem promover processos de degradação do solo. Portanto sistemas de manejo que promovem cobertura do solo durante esse período podem reduzir processos erosivos que na região dos tabuleiros costeiros podem provocar perdas acumuladas de solo, em torno de  $5,8 \text{ Kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (TARTARI et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2017).

O sistema de semeadura direta é uma prática conservacionista que busca preservar os restos vegetais sobre o solo protegendo-o de processos erosivos, aumentando a mineralização dos resíduos vegetais e a ciclagem de nutrientes como o nitrogênio e potássio (COSTA et al., 2015). Ressalta-se que nas áreas de cultivo de milho, ao fim do ciclo da cultura, são aportados

sobre o solo os restos culturais, que devido às altas temperaturas na região e ao sistema de cultivo convencional com revolvimento do solo e incorporação desse material, deixa-se de formar sobre o solo uma camada de restos culturais que podem reduzir a incidência de raios solares diretamente sobre o solo e evitar o escoamento superficial da água da chuva.

Nessa perspectiva, destaca-se a integração lavoura/pecuária (ILP) em sistema de plantio direto como uma estratégia para possibilitar incremento de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, e a sua decomposição aumentar os teores de nutrientes possibilitando alterações na fertilidade do solo, devido à ciclagem de nutrientes (COSTA et al., 2015). Ainda, segundo esses mesmos autores, o sistema radicular da braquiária pode influenciar de forma positiva, aumentando a porosidade total na formação de macroporos e reduzindo por consequência a compactação do solo.

A *Urochloa decumbens* é utilizada nas regiões tropicais do mundo em sistemas de produção com baixo nível tecnológico e destaca-se por apresentar excelente adaptação a solos com baixa fertilidade, boa produção de massa seca, resistência ao pastejo intensivo e ao pisoteio animal e proteção do solo (KISSMANN, 1991; NETO, 2012).

A *Urochloa ruziziensis* é originária da África, sendo considerada para o sistema plantio direto como a cobertura vegetal ideal para muitos produtores brasileiros. Apresenta crescimento prostrado e é muito sensível ao herbicida glyphosate, o que facilita a dessecação para formação de palhada e o processo de semeadura. Além disso, apresenta alta relação C/N, proporcionando cobertura ao solo por um longo período (GIANCOTTI, 2012; NETO, 2012).

Em solos com baixa fertilidade ou degradados, a interação entre adubação mineral e aporte de matéria orgânica deve ser a estratégia adotada quando se tem como objetivo a produtividade de milho em longo prazo (GUEREÑA et al., 2016). O sistema de integração apresentou maior ciclagem e balanço negativo de potássio em áreas com pastejo, mas não influenciou a produtividade da soja quando a disponibilidade desse nutriente manteve-se alta (FERREIRA et al., 2011).

## 2.2 Caracterização do solo

Os solos caulíníficos abrangem mais de 70% dos solos agrícolas em baixa altitude nos trópicos em diversas partes do mundo, como sudoeste da Índia, África oriental e ocidental e no nordeste do Brasil cobrem em torno de 20% da área, principalmente nos tabuleiros costeiros. Esses solos geralmente apresentam horizontes superficiais arenosos a franco-arenosos e um horizonte B argiloso, com potencial agrícola moderado e baixa resistência a distúrbios mecânicos (PEDROTTI et al., 2019; FERNANDES et al., 2011).

Alguns solos como os argissolos, por características próprias, apresentam uma compactação natural de acordo com o aumento da profundidade, formando horizontes coesos em subsuperfície, prejudicando o desenvolvimento das plantas por impedimentos físicos ou químicos, além de reduzir a velocidade de infiltração de água, podendo potencializar situações que provoquem erosão do solo (CRUZ, 2017).

Os argissolos possuem como característica evidente a mudança abrupta de textura no perfil do solo, do horizonte A ou E para o B textural, com argila de atividade baixa ou alta conjugada com saturação por bases baixas ou caráter alítico, podendo variar na coloração de avermelhados a acinzentados, profundidade variável e terem problemas de drenagem, além disso, são predominantemente caulíníficos, e com acidez variando de moderada a forte (EMBRAPA, 2014). Os ciclos pedogenéticos que promoveram a formação desse solo, também formaram um horizonte coeso em subsuperfície, geralmente entre 30 a 60 cm de profundidade, além disso, as características físicas e químicas estão inter-relacionadas, por isso o manejo da adubação deve ser observado, pois solos caulíníficos são limitados quanto à fertilidade (VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010; SOUZA, 2010; CRUZ, 2017).

Devido à formação do horizonte coeso em subsuperfície, os argissolos podem afetar o desenvolvimento radicular das plantas, comprometendo a produtividade delas ou expondo a

situações de veranicos, e ainda a situações de erosão do solo em ocasiões de fortes chuvas concentradas em um curto intervalo de tempo.

### **2.3 Integração Lavoura/Pecuária (ILP)**

A busca por aumentar a produção de alimentos torna essencial a adoção de medidas visando tornar mais eficiente a produção agrícola e pecuária, além de reduzir as taxas de desmatamento. Uma das medidas que tem conquistado espaço é a integração lavoura/pecuária por conciliar na mesma área o plantio seja consorciado, sequencial ou rotacional, buscando melhor aproveitamento do solo e aumento da produção por unidade de área, além de proporcionar diversas outras vantagens como melhoria das propriedades físicas do solo, quebra de ciclos de doenças, redução no custo de recuperação e renovação de pastagens (MACEDO, 2009; VILELA et al., 2011; GUIMARÃES et al., 2017).

Os sistemas de manejo, devido às atividades mecanizadas, provocam uma deterioração nas características químicas, físicas e biológicas do solo quando comparados com sistemas naturais com florestas. Isso ocorre devido a problemas como a falta de desenvolvimento vegetal e de cobertura do solo durante os períodos de entressafra, expondo o solo a diversas intempéries como a ação do vento, da chuva, compactação e erosão, destacando a importância da manutenção dos restos culturais como fator importante para a conservação do solo. Manter o solo sempre coberto é um dos grandes desafios para a consolidação do plantio direto em regiões tropicais, não só por causa da quantidade, mas também da qualidade da fitomassa das diversas espécies utilizadas, além da capacidade de ciclagem de nutrientes em camadas mais profundas e associadas a sua decomposição e disponibilização para as culturas comerciais (TEXEIRA et al., 2009).

A elevação dos teores de matéria orgânica e melhoria da qualidade do solo são condições obtidas a partir da implantação da ILP em áreas agrícolas com níveis adequados de fertilidade, que evidenciam a capacidade desse sistema em reduzir o impacto ambiental da implantação das atividades produtivas, como também favorecem o aproveitamento dos nutrientes e da água no solo. De maneira geral, nas áreas com sistema de cultivo integrado a qualidade do solo é superior em comparação com as de monocultivo (BALBINO et al., 2011; ASSIS et al., 2015).

Conforme destacado por Chioderoli et al. (2012) e Costa et al. (2015), os sistemas de integração lavoura/pecuária podem melhorar atributos químicos e físicos do solo devido ao maior aporte de restos culturais proporcionados pelo consórcio e pela exploração do perfil solo, provocando um maior incremento de matéria orgânica, cobertura do solo, favorecer a infiltração de água e reduzir ações do processo erosivo.

Os sistemas de manejo com consórcio de milho com espécies de forrageiras têm crescido no Brasil, a integração lavoura/pecuária busca a conservação do solo e da água, porém é preciso entender melhor o que esses sistemas alteram na dinâmica da água no solo, quando são usadas diferentes espécies de plantas forrageiras consorciadas com milho (SATO et al., 2012).

As plantas com elevada relação C/N, podendo citar o milho e as braquiárias, podem ser interessantes estratégias para cobertura de solos tropicais devido a sua elevada produção de fitomassa e decomposição relativamente lenta, reduzindo ou até mesmo evitando a exposição do solo a fatores ambientais (CALVO et al., 2010). Por outro lado, diferentemente das gramíneas, as leguminosas apresentam uma baixa relação C/N, o que facilita o processo de decomposição da biomassa, sendo importante para a ciclagem de nutrientes, como o nitrogênio que é fixado no solo pela leguminosa e formação da matéria orgânica (FERRARI NETO et al., 2011; COTRUFO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2017).

As gramíneas como as braquiárias possuem sistema radicular agressivo, no que se refere à exploração do solo, é do tipo fasciculado, como é característico das plantas do gênero Poaceae, possibilitando melhor estruturação do solo no que se refere à formação de agregados, macroporos e bioporos no solo devido ao desenvolvimento das raízes e também

aspectos da fertilidade do solo pela ciclagem de nutrientes, a exemplo da *U. ruziziensis* que em sistema de ILP apresenta como pontos positivos a boa cobertura do solo e com palatabilidade pelos animais, isso em sistemas que seja adotado o pastejo, reciclagem de nutrientes, e de fácil dessecação, o que facilita o plantio sobre seus restos culturais. (CECCON, 2007; SALTON et al., 2014; SOUZA, 2018). Bono, Macedo e Tormena (2013) observaram que a área com cultivo de *U. decumbens* com manejo de adubação de manutenção a cada dois anos, mesmo em situação de pastejo com alta lotação de animais, não causou incremento na densidade nem na resistência mecânica à penetração do solo.

Existem divergências na literatura quanto à influência da ILP na produtividade das culturas de grãos, Alvarenga et al. (2006) destacam que em ensaios realizados com consórcio nesse sistema, observou-se uma redução na produtividade de milho de 5%, porém eles mesmos relatam casos de não ocorrerem diferenças estatísticas entre milho solteiro e consorciado.

#### 2.4 Propriedades físicas

A manutenção das propriedades físicas do solo é considerada como fator importante para o sucesso dos cultivos, por serem importantes para o desenvolvimento das plantas e estarem relacionadas entre si, ou seja, uma propriedade influenciando outra. O tráfego de máquinas pode causar compactação do solo, o que reduz a quantidade de macroporos, que ocasiona aumento na resistência mecânica à penetração e diminui a infiltração de água no solo. O crescimento radicular pode proporcionar o aumento de matéria orgânica em camadas mais profundas no solo, promovendo a estabilização dos agregados e minimizando a suscetibilidade do solo à compactação (FACHINELLO et al., 2003; FERREIRA et al., 2012).

A porosidade é definida como os espaços porosos do solo ocupados por ar e água. Sua determinação é de grande importância para conhecer as condições do solo para produção vegetal, avaliar a estrutura do solo, estimar a lâmina de irrigação de uma área, influência na infiltração e retenção de água e na temperatura do solo. Os espaços porosos do solo podem ser divididos em três grupos: os macroporos, com diâmetro maior que 100 micrômetros, cuja função é aeração e condução da água no processo de infiltração; os mesoporos, com diâmetros entre 30 a 100 micrômetros, com função de conduzir a água durante o processo de redistribuição no solo, e por fim, os microporos, com diâmetro menor que 30 micrômetros atuando no armazenamento de água (LIBARDI, 2005; CRUZ, 2017).

A porosidade do solo tem relação com a granulometria, com a densidade do solo e com a capacidade de aeração e infiltração e armazenamento de água, pois em solos compactados ou horizontes coesos, este parâmetro é reduzido comprometendo a qualidade físico-hídrica, dessa forma, o manejo do solo deve influenciar positivamente no aumento da porosidade total, pois este está diretamente ligado à retenção e permeabilidade da água no solo (CRUZ et al., 2014). Sistemas de manejo que incrementam a porosidade em profundidade propiciam às plantas um desenvolvimento com melhores condições de enfrentar situações de breve período de estiagem, por o sistema radicular vegetal explorar o perfil do solo em maior profundidade.

A densidade do solo é expressa a partir de uma relação matemática simples entre a massa e o volume ocupado pelo solo. Portanto se mediante a aplicação de força externa ocorrer diminuição do espaço poroso, acarreta em aumento da densidade, o que dificulta a penetração das raízes no solo, sendo influenciada por diversos fatores como sistema de manejo, resíduos presentes na superfície do solo, cobertura vegetal e matéria orgânica, influenciando na qualidade do solo (MOTA et al., 2013; FERREIRA, 2016).

Cruz (2017) afirma que a densidade do solo é um atributo sensível à implantação dos sistemas produtivos, no entanto, tem relação com outros atributos que impedem que ocorra uma alteração drástica, um fator destacado foi o aumento da matéria orgânica em sistema de semeadura direta, porém destaca que nesse mesmo sistema ocorre uma elevação da densidade superficial do solo. Esse aumento da densidade em superfície geralmente está associado a

ações de manejo que ocorrem na área de cultivo. Outro fator que pode ser destacado é o pisoteio animal em sistema ILP, que tenha o pastoreio animal durante o período de entressafra, provocando compactação do solo em superfície, e influenciando na resistência que a raiz da planta irá enfrentar para penetrar no solo.

Os sistemas de manejo afetam a estrutura do solo, que podem estar associadas à formação de camadas compactadas, e a resistência à penetração permite conhecer as camadas compactadas do solo, mudanças nas propriedades físicas ao longo do perfil do solo que podem auxiliar na identificação da vulnerabilidade à ocorrência de processos erosivos. A determinação da resistência à penetração pode destacar o motivo das plantas terem dificuldades para se desenvolverem, pois identifica problemas que afetam o crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas comprometendo a produtividade (SILVA et al., 2020).

A resistência mecânica à penetração é um atributo físico bastante utilizado como avaliação das características física do solo. Tem sido adotados os valores de 2 a 2,5 MPa como limite crítico ao desenvolvimento da maioria dos vegetais (SILVEIRA et al., 2010), ou seja, solos que apresentem resistência acima destes valores podem estar afetando o desenvolvimento radicular das plantas, expondo-as a situações de veranicos e por consequência comprometendo o rendimento vegetal, ressaltando que este atributo está diretamente ligado à umidade do solo. Sendo assim, o teor de água no solo é um fator crucial para análise dessa variável.

A agregação também é utilizada como umas das características físicas associada à qualidade do solo, pois se este estiver bem estruturado favorece a aeração, infiltração e reduz a erosão, sendo que a estabilidade dos agregados pode ser influenciada por outras propriedades do solo, pelo sistema de manejo e o teor de matéria orgânica, por possuir importante ação na agregação de partículas do solo (FERREIRA; FILHO; FERREIRA, 2010).

A mudança da vegetação nativa pelas práticas agrícolas ocasiona perdas de matéria orgânica e dos agregados mais complexos, principalmente se for substituído pela agricultura convencional. Porém a adoção de sistemas de manejo conservacionistas, com adequado manejo de resíduos e com inclusão de gramíneas perenes na rotação de culturas, pode manter ou recuperar a estrutura do solo e reduzir a degradação da matéria orgânica do solo (BAYER et al., 2006; VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

A matéria orgânica do solo é considerada como um ótimo indicador da qualidade do solo, por estar associada a diversos processos como dinâmica da água no solo, ciclagem e retenção de nutrientes e agregação do solo. Portanto o monitoramento da matéria orgânica é importante para identificar os efeitos dos sistemas de manejo no solo, principalmente em solos de textura arenosa, com problemas estruturais e sujeitos a erosão, como são os argissolos (TIRLONI et al., 2012; RIGOLIN et al., 2013).

Sistemas de cultivo que possibilitem incremento de matéria orgânica no solo são ótimas alternativas para manter ou elevar a produtividade de grãos, como destacado por Oliveira et al. (2017), em que atribui a possibilidade de maior produtividade de milho em áreas com incremento de matéria orgânica.

A velocidade com que a água infiltra no solo através da sua superfície é denominada de velocidade de infiltração (VI), no entanto, a taxa de infiltração é reduzida pelo umedecimento do perfil até atingir um valor mínimo quase constante, denominado de velocidade de infiltração básica (VIB). A VIB é influenciada pelas condições do perfil do solo, sistemas de manejo, cobertura do solo, por isso é considerada umas das propriedades que melhor reflete as condições físicas do solo (BERNARDO et al., 2008; GONDIM et al., 2010; SANTOS et al., 2016).

Os testes de infiltração indicam a capacidade do solo em infiltrar e armazenar determinado volume de água ao longo do tempo, no entanto, as condições superficiais do solo e a organização de sua estrutura ao longo do perfil estão entre os fatores que afetam a infiltração de água. O comportamento do processo de infiltração indica o efeito provocado pelo uso do solo, pois o manejo pode afetar condições do solo (SILVA et al., 2020).

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, R. C.; COBUCCI, T.; KLUTHCOUSKI, J.; WRUCK, F. J.; CRUZ, J. C.; GONTIJO NETO, M. M. A cultura do milho na integração lavoura-pecuária. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, n. 233, p. 106-126, 2006.

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; MEDEIROS, J. C.; MADARI, B.E.; OLIVEIRA, J. de M.; WRUCK, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p.309-316, 2015.

BALBINO, L. C.; MARTINEZ, G. B.; GALERANI, P. R. **Ações de transferência de tecnologia de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta**. Planaltina: Embrapa Cerrados; Belém: Embrapa Amazônia Oriental, p. 52, 2011.

BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil Till. Res.**, v. 91, p.217-226, 2006.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2008. p. 625.

BONO, J.A.M.; MACEDO, M.C.M. Sistemas de recuperação de pastagens degradadas sob um Latossolo Roxo e alterações na taxa de infiltração de. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindoia, 1996. **Anais...** Águas de Lindoia, SBCS/ USP/SLCS/CEA/SBM, 1996.

BONO, J. A. M.; MACEDO, M. C. M.; TORMENA, C. L.; NANNI, M. R.; GOMES, E. P.; MULLER, M. M. L. Infiltração de água no solo em um Latossolo Vermelho da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 1845 – 1853, 2012.

BONO, J.A.M.; MACEDO, M.C.M.; TORMENA, C.A. Qualidade física do solo em um Latossolo Vermelho da região sudoeste dos cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.37, p.743-753, 2013.

BRANDAO, E. D.; SILVA, I. F. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho. **Ciência Rural**, v.42, n.7, p.1193-1199, 2012.

CALONEGO, J. C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, n. 6, 2011.

CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 77-86, 2010.

CECCON, G. **Palha e pasto com milho safrinha em consórcio com braquiária**. Circular técnica. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007.

CHIODEROLI, C.A. **Consortiação de braquiárias com milho outonal em sistema plantio direto como cultura antecessora da soja de verão na integração agricultura pecuária**.

2010. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2010.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 37-43, 2012.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento: Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos V. 6 – Safra 2018/2019, Brasília: CONAB, p. 107, 2019.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento: Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. 9º Levantamento Safra 2020/2021, v. 8, p. 121, 2021.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015.

COTRUFO, M. F.; WALLENSTEIN, M. D.; BOOT, C. M.; DENEFF, K.; PAUL, E. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? **Global Change Biology**, v. 19, n. 4, p. 988-95, 2013.

CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, Viçosa, v.38, p.307-314, 2014.

CRUZ, D. L. S. **Influência de sistemas integrados de produção nas características físicas e químicas de um Argissolo**. 2017. 128p. Tese (Doutorado – Programa de Pós-graduação em Agronomia – POSAGRO) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista/RR, 2017.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 4 ed. Brasília: Embrapa, 2014. 376p.

FACHINELLO, J. C.; COUTINHO, E. F.; MARODIN, G. A. B.; BOTTON, M.; DE MIO, L. L. M. **Normas técnicas e documentos de acompanhamento da produção integrada de pêssego**. Pelotas: UFPel/FAEM, 2003. 92p.

FERNANDES, M.F.; BARRETO, A.C.; MENDES, I. C.; DICK, R.P. Short-term response of physical and chemical aspects of soil quality of a kaolinitic Kandiuudalfs to agricultural practices and its association with microbiological variables. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 142, p. 9, 2011.

FERRARI NETO, J.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H. M. Plantas de cobertura, manejo da palhada e produtividade da mamoeira no sistema de plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n.4, p. 978-985, 2011.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES, J.; FERREIRA, V. M.; Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Ciências Agrárias**, v.31, n.4, p.913-932, 2010.

FERREIRA, C. R. **Indicadores da qualidade do solo em uma cronosequência sob sistema plantio direto em Guaíra - PR**. 2016. 91 f. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2016.

FERREIRA, E. V. de O.; ANGHINONI, I.; ANDREGHETTI, M. H.; MARTINS, A. P.; CARVALHO, P. C. de F. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, p. 161-169, 2011.

FERREIRA, L. E.; SOUZA, E. P.; CHAVES, A. F. Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.7, n. 1, p. 33 – 38, 2012.

FERREIRA, R. R. M.; FILHO, J. T.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913 – 932, 2010.

GIANCOTTI, P. R. F. **Período de dessecação de *Brachiaria ruziziensis* e *B. brizantha* antecedendo o plantio direto do girassol**. 2012. 39f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP, 2012.

GONDIM, T. M. de S.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUZA, J. M. de; FEITOSA FILHO, J. C.; SOUSA, J. da S. Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel em solo arenoargiloso. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v.4, n.1, p. 64-73, 2010.

GOMES, J. B. V.; FERNANDES, M. F.; PACHECO, E. P.; BARRETO, A. C.; NORTON, L. D.; CURTI, N. Calcareous soils in the Northeastern of Brazil: Alterations of attributes from different land use history. **Soil & Tillage Research**, v. 155, p.27-34, 2016.

GUEREÑA, D. T.; KIMETU, J.; RIHA, S.; NEUFELDT, H.; LEHMANN, J. Maize productivity dynamics in response to mineral nutrient additions and legacy organic soil inputs of contrasting quality. **Field Crops Research**, v. 188, p. 113- 120, 2016.

GUIMARÃES, F. da S.; CIAPPINA, A. L.; ANJOS, R. A. R.; SILVA, A.; PELÁ, A. Consórcio guandu-milho-braquiária para integração lavoura-pecuária. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia – MS, v. 4, p. 22-27, 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2021. p. 144.

JESUS, W. R. dos S.; REIS, A. S. C.; PROCOPIO, S. O.; CARVALHO, H. W. L. Seleção de cultivares de soja convencionais com aptidão para o cultivo na região agreste de Sergipe e Bahia. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA TABULEIROS COSTEIROS, 4., 2014, Aracaju. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 12.

KISSMANN, K.G. **Plantas infestantes e nocivas**. São Paulo: Basf Brasileira, Tomo 1, 1991. 608p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica de água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. p.329.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C.; Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1269 – 1276, 2011.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura-pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa – MG, v. 28, p. 133-146, 2009.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande – PB, p. 40, 2011.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1196- 1206, 2013.

NETO, J. F. **Descompactação biológica do solo e produção de palhadas de brachiaria em sistema de integração agricultura-pecuária no sudoeste goiano**. 2012. p. 62. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde/GO, 2012.

OLIVEIRA, F. C. C.; PEDROTTI, A.; FELIX, A. G. S.; SOUZA, J. L. S.; HOLANDA, F. S. R.; JUNIOR, A. V. M. Características químicas de um Argissolo e a produção de milho verde nos Tabuleiros Costeiros sergipanos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, n.3, p.354 – 360, 2017.

PEDROTTI, A.; FILHO, R. N. A.; OLIVEIRA, F. C. C.; ASSUNÇÃO, S. J. R.; HOLANDA, F. S. R.; SANTOS, D. Soil organic matter and production of ears of green corn after four years under tillage systems and previous crops in coastal tablelands. **Bioscience Journal**, v. 35, n.3, p. 707-712, 2019.

PEDROTTI, A.; ACIOLE, F. M. S.; SILVA, T. O.; ARAUJO, E. M.; SANTOS, D.; JUNIOR, A. V. M. 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.

PEREIRA, R. G.; ALBUQUERQUE, de A. W.; SOUZA, R. de O.; SILVA, A. D.; SANTOS, J. P. A.; BARROS, E. da S.; MEDEIROS, P. V. Q. Sistemas de manejo do solo: Soja [ *Glycine max* (L.)] consorciada com *Braquiaria decumbens* (STAPF). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n.1, p. 44 – 51, 2011.

RIGOLIN, I. M.; DOS SANTOS, C. H.; CALONEGO, J. C.; TIRITAN, C. S. Estoque de carbono do solo em sistemas vegetais com manejo agrícola diferenciado no oeste paulista. **Colloquium Agrariae**, v. 9, p. 16-29, 2013.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p.70-79, 2014.

SANTIANI, L.; ROSSATO, O. B.; CONTINI, R. P.; VORTMANN, I.; EISENHARDT, J. Consórcio de milho com forrageiras: atributos físicos do solo e produtividade de massa seca. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n.6, p.36-46, 2020.

SANTOS, I. L. N.; FILHO, R. R. G.; CARVALHO, C. M.; SANTOS, K. V.; OLIVEIRA, D. T. B.; SOUZA, L. G. Velocidade de infiltração da água no solo cultivado por milho doce com cobertura de crotalária. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 5, p. 925-934, 2016.

SATO, J. H.; FIGUEIREDO, C. C. de.; LEÃO, T. P.; RAMOS, M. L. G.; KATO, E. Matéria orgânica e infiltração da água em solo sob consórcio milho e forrageiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n.2, p. 189 – 193, 2012.

SILVA, M. de O.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L.; OLIVEIRA, de J.; PEREIRA, D de. F.; COSTA, K. D. da S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838 – 47855, 2020.

SILVEIRA, D. de C.; FILHO, J. F. de M.; SACRAMENTO, J. A. A. S. do.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência á penetração para um Argissolo amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, p.659-667, 2010.

SOUZA, M. I. L. **Qualidade Físico-Hídrica de um Argissolo Vermelho Amarelo sob Agroecossistema e Floresta Natural em Roraima**. 2010. 91p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista/RR, 2010.

SOUZA, I. M. D. **Atributos físicos e químicos do solo e produtividade de milho em consórcio com gramíneas tropicais no sistema de integração lavoura pecuária**. 2018. 48p. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) - UfsCar, Universidade Federal de São Carlos, Araras/SP, 2018.

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste: Resolução nº 107, 2017. Recife: SUDENE, p. 2, 2017.

TARTARI, D. T.; NUNES, M. C. M; SANTOS, F. A. S.; FARIA JÚNIOR, C. A.; SERAFIM, M. E. Perda de solo e água por erosão hídrica em Argissolo sob diferentes densidades de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, n. 3, p. 85-93, 2012.

TEIXEIRA, C.M.; CARVALHO, G.J.; ANDRADE, M.J.B.; SILVA, C.A.; PEREIRA, J.M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho + crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.31, n.4, p.647-653, 2009.

TIRLONI, C.; VITORINO, A. C. T.; BERGAMIN, A. C.; SOUZA, L. C. F. D. Physical properties and particle-size fractions of soil organic mater in crop-livestock integration. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p.1299-1310, 2012.

VALE JÚNIOR, J. F. DO.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Solos Sob Savanas de Roraima: gêneses, classificação e relação e relações ambiental**. Boa Vista: Gráfica Ioris, 2010. p.219.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, p. 213-223, 2011.

VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R; PULRONILK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília – DF, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.

ZANINE, A.M.; SANTOS, E.M.; FERREIRA, D.J.; CARVALHO, G.G.P. Potencialidade da integração lavourapecuária: Relação planta-animal. **Revista Eletrônica Veterinária**, v.7, 2006.

#### 4. ARTIGO 1

### ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DE UM SOLO DE TABULEIROS COSTEIROS SOB SISTEMAS DE CULTIVO DE MILHO INTEGRADO COM *UROCHLOA* SPP.

Periódico submetido (ou a ser submetido): *Revista Soil & Tillage Research*

#### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi testar, em ambiente de produção de grãos dos tabuleiros costeiros de Sergipe, as hipóteses de que a qualidade do solo (QS) em profundidade é alterada (i) pelo tempo de permanência continuada de *Urochloa decumbens* em sistemas integrados com milho, (ii) pela inserção da soja em rotação no sistema de integração de milho e *U. decumbens*, e (iii) pela espécie de *Urochloa* utilizada na integração. Para isso foram avaliados cinco tratamentos (plantio direto de milho em monocultivo; integração de milho com *U. decumbens*, M+Ud; rotação entre M+Ud com soja; M+Ud com permanência do pasto nos dois anos seguintes, e integração de milho com *U. ruziziensis* com permanência do pasto nos dois anos seguintes) de um experimento com nove anos. Avaliaram-se amostras de solo coletadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade quanto à resistência mecânica à penetração, diâmetro médio e estabilidade de agregados em água, matéria orgânica, porosidade total e densidade do solo. Os dados foram submetidos a análises univariadas e multivariadas, neste caso, para compor um gradiente sintético de QS. Na camada mais superficial, o aumento do tempo de permanência contínua da *Urochloa* por até 19 meses promoveu a QS, com estabilização observada após esse período. Esse aumento da QS nas demais profundidades foi linear de 0 a 26 meses, decrescendo com a profundidade. A inserção da soja em rotação com o milho integrado com *U. decumbens* ou a escolha da espécie de *Urochloa* em integração com o milho não impactaram a QS. A permanência da *Urochloa* no sistema melhora a qualidade do solo ao longo do perfil em solo dos tabuleiros costeiros.

**Palavras-chave:** Solos cauliníticos, sistemas de cultivo, propriedades físicas, qualidade do solo, rotação milho consorciado – soja.

**ABSTRACT****CHANGES IN THE QUALITY OF A COASTAL TABLELANDS SOIL UNDER CORN FARMING SYSTEMS INTEGRATED WITH UROCHLOA SPP.**

The this work objective was to test, in a grain production environment in the coastal tablelands of Sergipe, the hypotheses that the soil quality (QS) at depth is altered (i) by the continued *Urochloa decumbens* residence time in integrated systems with corn, (ii) by the soybean insertion in rotation in the corn and *U. decumbens* integration system, and (iii) by the *Urochloa* species used in the integration. For this, five treatments were evaluated (no-tillage corn in monoculture; integration of corn with *U. decumbens*, M+Ud; rotation between M+Ud with soybean; M+Ud with permanence of pasture in the following two years, and integration of corn with *U. ruziziensis* with permanence on pasture for the next two years) from a nine-year experiment. Soil samples collected from 0-10, 10-20 and 20-40 cm in depth were evaluated for mechanical resistance to penetration, average diameter and stability of aggregates in water, organic matter, total porosity and soil density. Data were submitted to univariate and multivariate analyses, in this case, to compose a synthetic QS gradient. In the more superficial layer, the increase in the *Urochloa* continuous permanence time for up to 19 months promoted QS, with stabilization observed after this period. This increase in QS at other depths was linear from 0 to 26 months, decreasing with depth. The soybean insertion in rotation with integrated with *U. decumbens* or the choice of the *Urochloa* species in integration with corn did not influence QS. The *Urochloa* permanence in the system improves soil quality along the profile in coastal tablelands soil.

**Keywords:** kaolinitic soils, cropping systems, physical properties, soil quality, rotation maize-soybean intercropping.

#### 4.1. Introdução

Diversos municípios produtores de milho de Sergipe estão inseridos no semiárido, sub-região brasileira caracterizada pelo déficit hídrico durante maior parte do ano (SUDENE, 2017). Em função do uso de materiais genéticos e tecnologias adequadas para a região, em anos climaticamente regulares, estes municípios têm alcançado produtividades elevadas de até 10 toneladas por hectare de milho sob condição de sequeiro, uma vez que a precipitação durante os meses chuvosos é suficiente para atender a demanda hídrica da cultura nestes municípios (GOMES et al., 2016). Apesar desse potencial produtivo, essas áreas estão propensas à ocorrência de veranicos que podem comprometer fortemente a produtividade. Na última década, esse fenômeno foi expressivo em 2012, 2016 e 2018, e resultou em perdas de mais de 80% da safra de milho, considerando os seis principais municípios produtores de Sergipe, responsáveis por 75% da produção do estado, de acordo com análise realizada a partir de dados do IBGE (2020).

Apesar do alto potencial produtivo apresentado pela soja na região, atingindo produtividades de cinco toneladas por hectare (JESUS et al., 2014), a baixa produção de resíduos para formação de camada morta por esta cultura, bem como a elevada velocidade de decomposição de seus resíduos na superfície do solo, comparativamente com o monocultivo do milho ou com os sistemas em integração com braquiárias (PACHECO e BARROS, 2014), são fatores que requerem atenção em termos de conservação do solo.

Camadas subsuperficiais coesas, de origem pedogenética e de ocorrência comum nos solos de tabuleiros costeiros, podem agravar a vulnerabilidade das culturas aos veranicos nestes solos, uma vez que restringem a infiltração de água, podem promover efeito de enxurrada favorecendo processos erosivos, afetar o aprofundamento das raízes das culturas no perfil do solo, baixa nos teores de matéria orgânica e de nutrientes e, por consequência, reduzindo o potencial produtivo das culturas (CAIRES et al., 2011; VALE JÚNIOR e SCHAEFER, 2010).

Os sistemas de manejo alteram diversas propriedades do solo e, por consequência, influenciam a produtividade das plantas de interesse econômico. Práticas conservacionistas como o plantio direto, realizado sobre cobertura morta abundante, apresentam benefícios como a redução das perdas da água do solo por evaporação, a elevação dos teores de matéria orgânica, e a melhoria das propriedades físicas do perfil do solo, os quais contribuem para incrementar o armazenamento e a eficiência do uso de água do solo (SALTON et al., 2014; LAL, 2015).

A introdução de braquiárias em consórcio com o milho contribui significativamente para a formação de cobertura morta do solo, podendo favorecer a adoção de sistemas de integração lavoura/pecuária e do sistema plantio direto na região produtora de milho de Sergipe (PACHECO e BARROS, 2014). Resultados de estudo de longo prazo têm indicado que estes sistemas são muito eficientes na redução das perdas de produtividade do milho observadas em anos com veranicos (THIMOTHEE, 2019; BARROS et al., 2017).

Além do efeito positivo na economia de água propiciado pela cobertura morta das braquiárias, o sistema radicular vigoroso destas espécies tem sido relatado como capaz de promover melhorias na estrutura do solo e nas taxas de infiltração de água em solos dos tabuleiros costeiros (FERNANDES et al., 2010), o que também pode contribuir para o incremento da disponibilidade de água no perfil do solo. No entanto, é interessante observar que estudos com braquiária como condicionadores de solo dos tabuleiros costeiros têm apresentado resultados contrastantes quanto à eficiência destas pastagens na melhoria das propriedades físicas do solo (FERNANDES et al., 2010; FERNANDES et al., 2011; THIMOTHEE, 2019), podendo esta diferença estar associada ao tempo de permanência continuada das pastagens no sistema de cultivo.

Diferenças em variáveis de agregação do solo não foram aparentes sob sistema baseado na introdução e dessecamento anuais de braquiárias integradas ao cultivo do milho,

mesmo após oito anos de avaliação (THIMOTHEE, 2019), mas apresentaram-se significativas após três anos de conversão de área de cultivo de milho em pousio natural com *Urochloa decumbens* (FERNANDES et al., 2010; FERNANDES et al., 2011). A superioridade de pastagens continuadas de braquiária em promover melhorias nas variáveis físicas e nos teores de matéria orgânica do solo, comparativamente aos sistemas de integração lavoura/pecuária, tem sido relatada em outros ambientes de produção (SALTON et al., 2014; MACHADO e ASSIS, 2010).

Sistemas de manejo em que a braquiária permaneça no sistema após a retirada das plantas para produção de grãos permite que seu sistema radicular continue se desenvolvendo favorecendo a agregação do solo, formação de bioporos e possa se aprofundar aumentando a disponibilidade de água e nutrientes em maior profundidade. A escolha da braquiária é outro fator importante, *U. decumbens* e *U. ruziziensis* apresentam bons resultados referente à melhoria na qualidade do solo, sendo recomendadas por estudos que avaliaram outras espécies em conjunto (NETO et al., 2015; SANTIANI et al., 2020).

A degradação das propriedades físicas do solo devido às práticas agrícolas causa prejuízos não somente ao solo, mas também econômico, podendo comprometer a produtividade de grãos por expor os cultivos à ocorrência de veranicos, por esses motivos, os objetivos desse trabalho foram avaliar o efeito do cultivo continuado da *U. decumbens*, a rotação entre o consórcio milho e braquiária com a soja, e se a espécie de *Urochloa* afeta a qualidade do solo nos tabuleiros costeiros.

## 4.2. Material e Métodos

### 4.2.1. Caracterização do experimento

O experimento em campo foi realizado na estação experimental Jorge Sobral da Embrapa Tabuleiros Costeiros, localizada no município de Nossa Senhora das Dores-SE, sendo conduzido em um Argissolo Vermelho Amarelo, textura argilosa, distrófico sob relevo ondulado (EMBRAPA, 2013), localizado com coordenadas geográficas  $10^{\circ} 27' S$  e  $37^{\circ} 11' W$ , com 200 m de altitude média. Possui clima tropical, com maior índice pluviométrico no inverno, Figura 1. O clima é classificado como As de acordo com Koppen. A precipitação média anual é de 1.150 mm e temperatura média de 26°C.

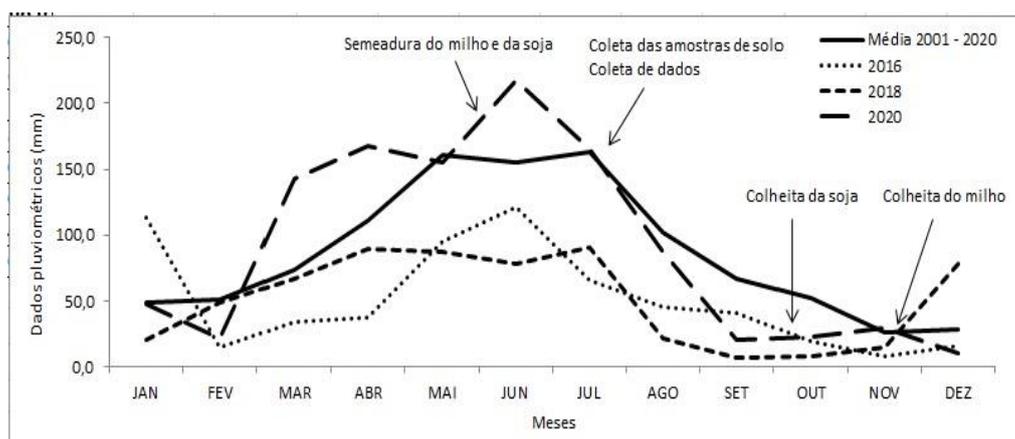


FIGURA 1. Precipitação volumétrica da média histórica de 2001 a 2020 e dos anos 2016 – 2018 – 2020 no Campo Experimental Jorge Sobral, Nossa Senhora das Dores - SE.

O experimento foi implantado em 2012 com delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro blocos e 14 tratamentos, totalizando 56 parcelas, medindo 10 x 40 metros (400 m<sup>2</sup>). No entanto, neste estudo foram analisados cinco tratamentos por serem os que se relacionam com as características envolvidas nos objetivos deste estudo, conforme Tabela 1, com esquema em parcelas subdivididas onde os sistemas de manejo consistiram nas parcelas e as profundidades nas subparcelas.

Para o plantio direto, a dessecação das plantas infestantes e das braquiárias foram realizadas mediante aplicação de herbicida glifosato na dosagem de quatro litros por hectare e a semeadura sendo realizada após uma semana da aplicação. Na semeadura do milho foi utilizado o híbrido Dekalb 177 PRO3 na densidade de 70.000 sementes por hectare, nas parcelas envolvendo consórcio com as braquiárias foi utilizada a técnica da mistura das sementes das pastagens com o adubo, ou seja, foram semeadas na mesma linha de cultivo do milho, sendo o fertilizante distribuído no sulco abaixo das sementes de milho.

No manejo da adubação foram aplicados os nutrientes na proporção de 200, 100, 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, sendo o nitrogênio em cobertura quando o milho atingiu o estágio de quatro folhas totalmente abertas. Todas as operações, desde o preparo do solo até a colheita, foram realizadas de forma mecanizada.

Nos tratamentos envolvendo soja foi semeada a cultivar FT 4280 IPRO na densidade 330.000 sementes por hectare, sendo o manejo de adubação semelhante ao milho, exceto para nitrogênio, pois este nutriente não é utilizado no manejo de adubação da soja devido à inoculação das sementes com bactérias fixadoras de nitrogênio.

TABELA 1. Descrição dos tratamentos que foram utilizados no experimento, siglas e tempo de cultivo contínuo da *Urochloa decumbens* em meses.

Tratamento (Plantio Direto)	Sigla para identificação dos tratamentos	Sequência (2018/2019/2020)	Tempo contínuo de braquiária (meses)
Milho em Plantio Direto	M	M/M/M	0
Consórcio Milho + <i>U. decumbens</i>	M+Ud	M+Ud/M+Ud/M+Ud	9
Consórcio Milho + <i>U. decumbens</i> / Soja	M+Ud/S	S/M+Ud/S	-
Consórcio Milho + <i>U. decumbens</i> / <i>U. decumbens</i> / <i>U. decumbens</i>	M+Ud/Ud/Ud	M+Ud/Ud/Ud	26
Consórcio Milho + <i>Urochloa ruziziensis</i> / <i>U. ruziziensis</i> / <i>U. ruziziensis</i>	M+Ur/Ur/Ur	M+Ur/Ur/Ur	26

#### 4.2.2. Análise das propriedades físicas

Nos tratamentos selecionados foram analisadas as propriedades físicas nas camadas de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 40 cm mediante coleta de amostras deformadas realizadas entre 14 e 16/07/2020, com uso de pá reta. Os dados referentes à resistência a penetração e umidade do solo foram coletados em 23/07/2020, e as amostras indeformadas foram coletadas entre 21 a 23/07/2020, com trado tipo Huland com auxílio de anéis com volume conhecido, sendo acondicionadas em papel alumínio, sacos plásticos identificados, coletando três repetições por parcela para cada profundidade para análise em laboratório, e cada amostra foi analisada em duplicata para obtenção dos resultados. As variáveis físicas avaliadas estão descritas na Tabela 2.

TABELA 2. Propriedades físicas do solo analisadas e método adotado.

Variáveis	Método	Referências
Velocidade de infiltração básica (VIB)	Infiltrômetro de cilindro concêntrico	Bernardo et al. (2005)
Resistência do solo à penetração (RP)	Penetrógrafo eletrônico	
Densidade do solo (DS)	Anel volumétrico	Embrapa (2017)
Porosidade total (PT)	Anel volumétrico	Embrapa (2017)
Diâmetro médio de agregados (DMA)	Via seca	Arshad et al. (1996)
Estabilidade de agregados (EAA)	Via úmida	Embrapa (2017)
Matéria orgânica do solo (MOS)	Carbono orgânico total	Embrapa (2017)

Para determinação das propriedades físicas, os procedimentos seguiram os métodos estabelecidos em EMBRAPA (2017), dessa forma, a densidade do solo foi determinada pelo método do cilindro volumétrico, em que se obtém a massa por pesagem e do volume pela área do anel. Obteve-se a porosidade total pelo método direto, saturando o conjunto amostra-cilindro-tecido-liga e secando em estufa a 105 °C até atingir peso constante, mensurando a massa de água necessária para saturar a amostra de solo com volume total conhecido e dividindo esse valor pelo volume do cilindro da amostra.

A determinação do diâmetro médio de agregados foi realizada seguindo os procedimentos pelo método de peneiramento seco, em que a quantidade e distribuição proporcional dos agregados de diferentes tamanhos foram avaliados submetendo amostra de 100g à vibração horizontal durante cinco minutos no equipamento da Produtest, em um conjunto de peneiras em ordem decrescente de 4 – 0,250 mm e a base, pesando a massa dos agregados retidos em cada peneira. O diâmetro médio foi calculado pela massa de solo retida em cada peneira vezes a média entre as aberturas das malhas da peneira que a massa de solo ficou retida e sua correspondente superior (adaptado de ARSHAD et al., 1996).

O índice de estabilidade dos agregados foi avaliado a partir da resistência que os agregados apresentaram quando submetidos à oscilação vertical das peneiras ajustadas com 3,8 cm de amplitude e 30 oscilações por minuto, em água durante cinco minutos no equipamento da Marconi, sendo estimado pela relação entre os agregados que permaneceram após o peneiramento úmido dividido pela massa de agregados da amostra de 25g que iniciou o processo.

Ainda entre as propriedades físicas, as leituras para obter resistência mecânica à penetração (RP) foram determinadas por meio de penetrógrafo eletrônico produzido pela Falker, avaliando de 0 - 60 cm no solo, no entanto, os resultados obtidos só foram utilizados na profundidade de 0 – 40 cm, sendo realizada em quatro pontos diferentes na parcela, cuja média destes pontos constituíram os resultados. Juntamente com a resistência à penetração, determinou-se a umidade do solo por meio da leitura de sonda de 0 – 1 m, modelo PR2 (FDR), pois estes parâmetros estão inter-relacionados.

A velocidade de infiltração básica (VIB) foi realizada pelo método de infiltrômetro de cilindro concêntrico, que consiste em dois cilindros, um com 40 cm de diâmetro e o outro com 20 cm e ambos com 30 cm de altura, onde estes foram colocados no solo a cinco centímetros de profundidade, adicionou-se água e foram feitas as leituras de infiltração a cada

cinco minutos, sendo reabastecido quando necessário, até obter uma taxa de infiltração constante com no mínimo quatro medidas iguais, sendo realizada em duplicata em cada parcela, adaptado de Bernardo et al. (2005) e Sato et al. (2012).

#### 4.2.3 Análise estatística

Os dados analisados para as variáveis físicas foram às médias de todas as repetições de cada parcela e das duplicatas analíticas de cada amostra, com o objetivo de reduzir as variações dos resultados dentro do tratamento.

A análise de regressão foi utilizada para avaliar a permanência continuada da *U. decumbens* no sistema de manejo. E contrastes foram utilizados para definir se mantém o consórcio milho e braquiária ou insere a rotação com soja. No ano subsequente ao consórcio, esse processo de análise também foi adotado para saber se a espécie da *Urochloa* influencia o sistema, esses processos foram realizados através do programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

A ordenação multidimensional não métrica (NMS) foi adotada para avaliar todos os tratamentos e todas as propriedades físicas estudadas ao mesmo tempo. Antes da análise os dados foram relativizados dentro de cada variável devido à diferença entre elas, na ordenação foi aplicada distância de Sorensen, com modo autopiloto, opção lenta e completa ativada e aplicada rotação de 150° na NMS. Esses processos foram realizados através do programa estatístico PC-ORD v. 6.04 (McCUNE e MEFFORD, 2011).

#### 4.3. Resultados

A ordenação NMS consistiu em uma análise multivariada envolvendo todos os tratamentos e todas as variáveis testadas no estudo. Percebe-se que a ordenação por NMS resultou em dois eixos que explicam 96% da variabilidade original dos dados, e que eles estão majoritariamente associados ao eixo 1, Figura 2, que consegue explicar 69% dos dados, enquanto ao eixo 2 estão associados 27% dos dados. Na Tabela 3 estão apresentadas as variáveis que se correlacionam com cada eixo.

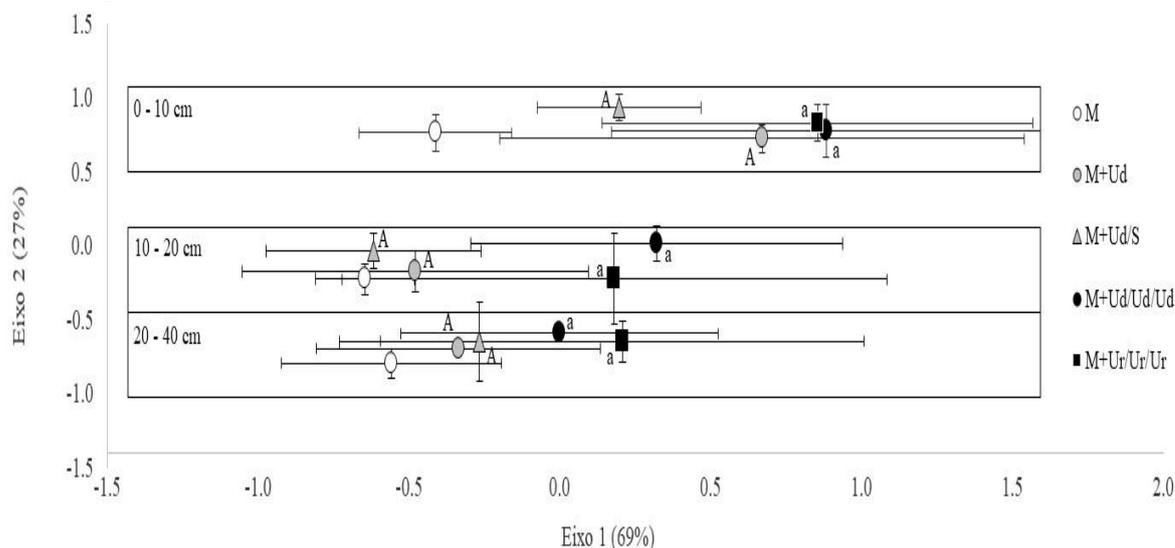


FIGURA 2. Ordenação NMS representando as alterações na qualidade do solo entre sistemas de manejo em áreas de produção de grãos e profundidade do perfil de um Argissolo dos tabuleiros costeiros de Sergipe. Os sistemas avaliados incluíram o monocultivo de milho (M), o consórcio entre milho e *Urochloa decumbens* (M+Ud), a rotação entre M+Ud e soja (M+Ud/S), a rotação entre M+Ud e pastagem de *U. decumbens* por dois anos sucessivos (M+Ud/Ud/Ud) e a rotação entre o consórcio de milho e *U. ruziziensis* e pastagem de *U. ruziziensis* por dois anos sucessivos (M+Ur/Ur/Ur). Valores entre parênteses indicam a percentagem de variabilidade dos dados associadas aos Eixos 1 e 2. Dentro de cada profundidade, letras maiúsculas idênticas indicam ausência de diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos M+Ud e M+Ud/S, e letras minúsculas idênticas indicam ausência de diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre tratamentos M+Ud/Ud/Ud e M+Ur/Ur/Ur, de acordo com a análise de procedimento de permutação de multiresposta com bloco (B-MRPP).

Observa-se na Figura 2 que, independentemente da profundidade, não houve diferença significativa entre os tratamentos M+Ud/Ud/Ud e M+Ur/Ur/Ur. Semelhante ao que ocorre entre os tratamentos envolvendo M+Ud e rotação com soja (M+Ud/S), que apesar de um maior distanciamento entre os tratamentos na camada superficial, não é o suficiente para ocorrer diferença estatística, e se perde ao longo do perfil do solo.

De acordo com a Tabela 3, pode-se observar que a maioria das variáveis estão altamente correlacionadas com o eixo 1, por este motivo, esse eixo foi nomeado como qualidade do solo, ou seja, esse eixo representa que os sistemas de manejo interferem positivamente nas variáveis físicas.

As variáveis DMA e UMI não apresentam correlação ( $p < 0,05$ ) com ambos os eixos, Tabela 3. Entretanto, as variáveis RP e MOS se correlacionaram altamente com ambos os eixos, ou seja, essas variáveis foram afetadas pelo sistema de manejo, bem como pela profundidade do solo, ou seja, a RP aumenta com a profundidade, já a MOS diminui. Enquanto isso, EAA, PT e DS estão correlacionadas ( $p < 0,01$ ) com o eixo 1.

TABELA 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis diâmetro médio de agregados (DMA), estabilidade de agregados em água (EAA), porosidade total (POT), densidade do solo (DS), matéria orgânica do solo (MOS) e resistência à penetração (RP) e os escores das amostras de solo ao longo dos eixos 1 e 2 da ordenação por NMS.

Variável	r eixo 1 (69%)		r eixo 2 (27%)	
DMA	-0,040		-0,074	
EAA	0,976	***	0,199	
PT	0,606	***	0,098	
DS	-0,622	***	0,071	
RP	-0,417	***	-0,980	***
UMI	-0,014		0,089	
MOS	0,756	***	0,546	***

As variáveis EAA e PT estão associadas aos tratamentos com maior permanência da braquiária, pode ser citada também a MOS, só que além das braquiárias, ela sofre influência significativa do eixo 2, que está associado à profundidade. Dessa maneira, pode-se ressaltar que o período avaliado nesse estudo foi suficiente para diferenciar os níveis de matéria orgânica ao longo do perfil do solo. A DS se associa com o eixo 1, porém se aproximou dos tratamentos com menos tempo de braquiária (Tabela 3).

A permanência continuada da *U. decumbens* melhora a qualidade do solo ao longo do perfil, com um aumento mais acentuado durante os primeiros nove meses após sua inserção na camada superficial, melhorando até os 19 meses, com uma tendência de estabilização após isso, como pode ser visto na Figura 3.

A variável qualidade do solo foi obtida a partir da análise multivariada de todas as variáveis descritas no estudo, Figura 3. A qualidade do solo apresentou um comportamento polinomial do segundo grau ( $p < 0,001$ ) para a camada de 0 – 10 cm, ou seja, a permanência da *U. decumbens* por mais tempo melhora a qualidade do solo de forma mais acentuada nos primeiros meses, atingindo o ápice por volta dos 19 meses, conforme o gráfico, mas observa-se que se comparar o último período avaliado, 26 meses, com o segundo ponto, nove meses, percebe-se que esse maior tempo de manutenção da braquiária no sistema pouco agrega positivamente com relação à qualidade do solo.

Na profundidade de 10 – 20 cm para a qualidade do solo houve um aumento linear ( $p < 0,01$ ), sendo que ocorreu um aumento acentuado na qualidade do solo se comparado os nove meses aos 26 meses, destacando que a braquiária pode ser uma alternativa interessante para melhorar a qualidade do solo ao longo do perfil. A influência positiva persistiu na

profundidade de 20 – 40 cm, com aumento linear ( $p < 0,05$ ), mesmo com redução na intensidade de melhorar a qualidade do solo, se comparado com as outras profundidades estudadas, sendo assim, o período de permanência da *U. decumbens* melhora a qualidade do solo ao longo do perfil em Argissolo nos tabuleiros costeiros sergipano, se refletindo em melhores condições para as culturas enfrentarem ocorrências de veranicos sem comprometer a produtividade.

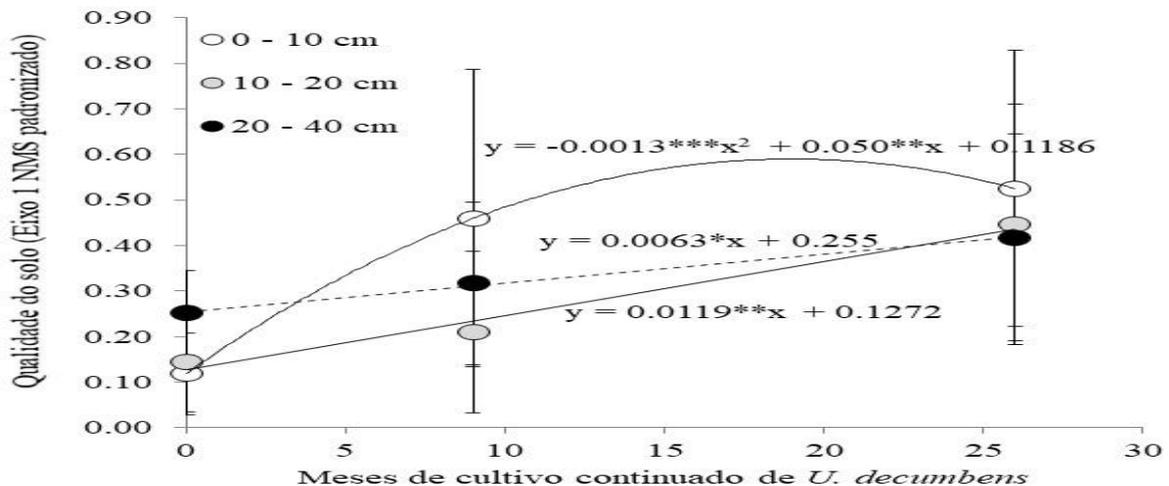


FIGURA 3. Resposta da qualidade do solo ao tempo continuado de cultivo de *U. decumbens* em sistemas de cultivo de milho em diferentes profundidades de um Argissolo dos tabuleiros costeiros de Sergipe. A variável qualidade do solo foi expressa como os escores do eixo 1 da ordenação de NMS, após interpolação dos escores das amostras entre 0,00 e 1,00, considerados como os escores mínimo e máximo observados na população de amostras analisadas. \*, \*\* e \*\*\* indicam significância dos coeficientes das regressões a  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$  e  $p < 0,001$ , respectivamente.

As variáveis EAA e POT apresentaram interação significativa entre o período de permanência de *U. decumbens* e a profundidade. O período de permanência da braquiária não diferiu estatisticamente entre os tratamentos avaliados, no entanto, com a análise de regressão algumas variáveis mostraram significância ( $p < 0,01$ ), e também associada à profundidade, conforme a Tabela 4. Observa-se que a inserção da *U. decumbens* no sistema promove um aumento acentuado nos primeiros meses na estabilidade de agregados de 0 – 10 cm, com tendência de aumento até os 19 meses, no entanto, aos 26 meses os resultados mostram uma tendência de estabilização se aproximando dos valores obtidos aos nove meses, Figura 4 (A).

De acordo com a ANOVA, a variável resistência à penetração do solo respondeu ao período de permanência continuada de *U. decumbens* ( $p < 0,02$ ) e à profundidade ( $p < 0,01$ ), mas não apresentou interação significativa entre estas duas fontes de variação ( $p = 0,94$ ), Tabela 4. A Figura 4 (B) indica que a RP apresenta redução linear em função do tempo de cultivo contínuo de *U. decumbens*, independentemente da profundidade de amostragem.

Na profundidade de 10 – 20 cm o cultivo contínuo promoveu aumento linear ( $p < 0,001$ ) contínuo ao longo do período avaliado na estabilidade de agregados, atingindo média de 15% de estabilidade aos 26 meses, enquanto aos nove meses essa média é de 10% e de apenas 5% na ausência da pastagem, Figura 4. Na profundidade de 20 – 40 cm também houve um aumento linear ( $p < 0,05$ ) mostrando que a inserção da *U. decumbens* no sistema promoveu aumento na estabilidade de agregados ao longo do perfil do solo, independente da profundidade amostrada, e que o maior tempo de permanência da espécie citada acima, promove maior estabilidade dos agregados.

A permanência da *U. decumbens* provocou redução ( $p < 0,02$ ) na RP ao longo do perfil do solo, independente da profundidade o comportamento da redução foi similar, mostrando o potencial que essa espécie apresenta para se desenvolver mesmo em solos coesos, Figura 4 (B). Outro ponto importante é que os valores das leituras ficaram bem abaixo de 2000 kPa, que é considerado na literatura como limite crítico para o desenvolvimento da maioria das plantas.

TABELA 4. Médias ( $\pm 1$  D.P.) das variáveis diâmetro médio de agregados (DMA), estabilidade de agregados em água (EAA), porosidade total (POT), densidade do solo (DS), matéria orgânica do solo (MOS) e resistência à penetração em função do gradiente de tempo de cultivo continuado de *Urochloa decumbens* (meses) e de três profundidades de solo em sistemas de produção de milho nos tabuleiros costeiros de Sergipe.

Meses	DMA (mm)	EAA (%)	POT ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	DS ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	MOS ( $\text{g dm}^{-3}$ )	RP (kPa)
0-10 cm						
0	2,49 ( $\pm 0,15$ )	8,9 ( $\pm 3,6$ )	0,34 ( $\pm 0,023$ )	1,83 ( $\pm 0,04$ )	21,2 ( $\pm 3,2$ )	360 ( $\pm 81$ )
9	2,57 ( $\pm 0,06$ )	23,3 ( $\pm 13,5$ )	0,40 ( $\pm 0,049$ )	1,76 ( $\pm 0,06$ )	22,7 ( $\pm 5,8$ )	238 ( $\pm 32$ )
26	2,65 ( $\pm 0,19$ )	26,4 ( $\pm 13,7$ )	0,37 ( $\pm 0,031$ )	1,72 ( $\pm 0,08$ )	24,5 ( $\pm 3,7$ )	190 ( $\pm 74$ )
10-20 cm						
0	2,55 ( $\pm 0,22$ )	6,0 ( $\pm 4,1$ )	0,38 ( $\pm 0,015$ )	1,78 ( $\pm 0,05$ )	18,8 ( $\pm 1,5$ )	1096 ( $\pm 156$ )
9	2,53 ( $\pm 0,11$ )	9,7 ( $\pm 6,7$ )	0,35 ( $\pm 0,011$ )	1,79 ( $\pm 0,04$ )	19,1 ( $\pm 3,0$ )	1036 ( $\pm 127$ )
26	2,58 ( $\pm 0,05$ )	20,6 ( $\pm 13,4$ )	0,36 ( $\pm 0,024$ )	1,78 ( $\pm 0,08$ )	22,9 ( $\pm 1,8$ )	911 ( $\pm 108$ )
20-40 cm						
0	2,38 ( $\pm 0,29$ )	7,9 ( $\pm 3,4$ )	0,36 ( $\pm 0,019$ )	1,76 ( $\pm 0,03$ )	15,1 ( $\pm 1,4$ )	1503 ( $\pm 176$ )
9	2,48 ( $\pm 0,35$ )	10,8 ( $\pm 6,9$ )	0,36 ( $\pm 0,021$ )	1,76 ( $\pm 0,02$ )	17,5 ( $\pm 3,1$ )	1458 ( $\pm 157$ )
26	2,52 ( $\pm 0,46$ )	16,2 ( $\pm 10,6$ )	0,36 ( $\pm 0,041$ )	1,74 ( $\pm 0,05$ )	18,4 ( $\pm 3,5$ )	1361 ( $\pm 39$ )
p (Prof)	0,567	<b>&lt;0,001</b>	0,386	0,369	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
p (Grad)	0,776	0,195	0,894	0,459	0,352	<b>0,020</b>
p (Int)	0,988	<b>0,027</b>	<b>0,027</b>	0,331	0,867	0,941

p (Prof), p (Grad) e p (Int) correspondem à significância das fontes de variação profundidade do solo (Prof), gradiente temporal de cultivo continuado de *U. decumbens* (Grad) e interação entre estas fontes (Int) a partir de um modelo de ANOVA em parcelas subdivididas, com Grad nas parcelas, Prof nas subparcelas e blocos (não apresentado). Efeitos significativos a  $p < 0,05$  são destacados em negrito.

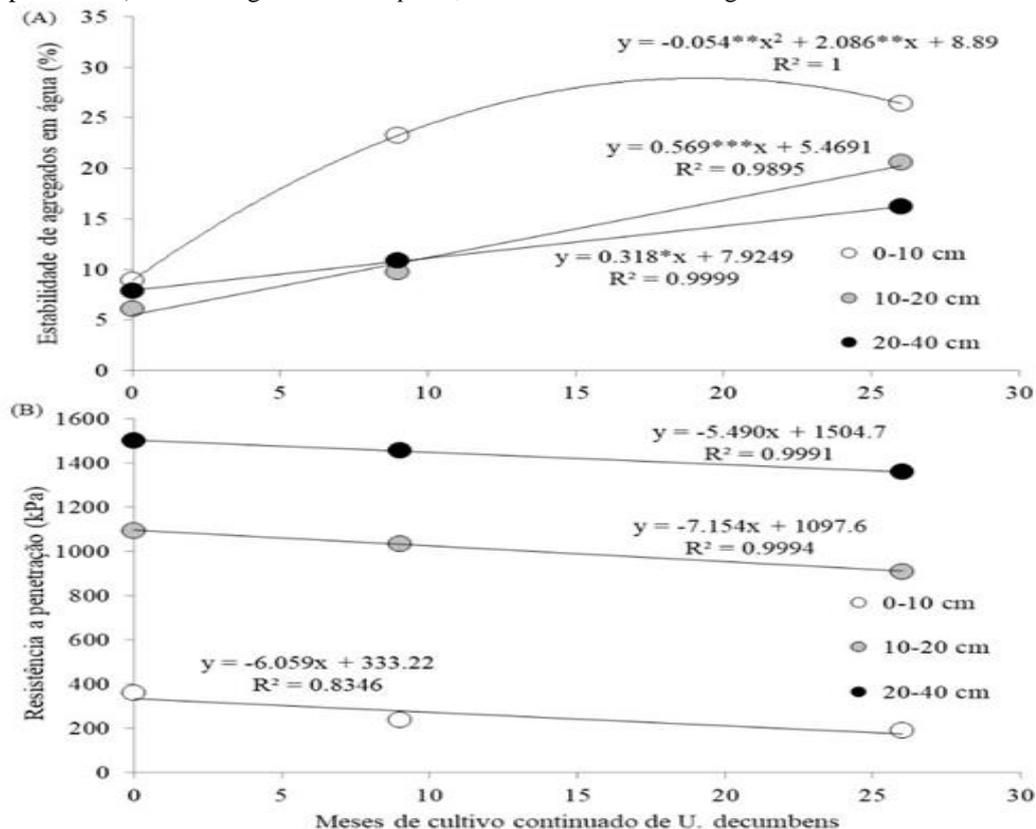


FIGURA 4. Variações da estabilidade de agregados de solo em água (A) e resistência à penetração (B) em função do tempo de cultivo continuado de *Urochloa decumbens* e profundidade do perfil do solo em área de produção de grãos dos tabuleiros costeiros de Sergipe. \*, \*\* e \*\*\* indicam significância dos coeficientes das regressões a  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$  e  $p < 0,001$ , respectivamente. Para a variável resistência à penetração houve significância dos efeitos principais de profundidade e do tempo de cultivo continuado da pastagem, mas não da interação entre estes fatores. A equação de resposta de RP ao tempo de cultivo continuado de *U. decumbens*, independente da profundidade, foi  $-6,2345***x + 978,49$  ( $p = 0,02$ ).

Também sobre a RP, houve diferença estatística entre todas as profundidades avaliadas. E, além disso, o tratamento M diferiu do M+Ud/Ud/Ud, conforme Tabela 3, ou seja, a permanência da pastagem no sistema por mais tempo possibilitou melhor condição de desenvolvimento para as plantas.

Ainda sobre a RP destaca-se que não houve correlação entre ela e a umidade do solo em nenhuma das três profundidades, ou seja, para a data avaliada as variações na RP estão associadas às modificações na qualidade do solo proporcionada pelos tratamentos e não por causa da umidade do solo, Figura 5.

Estão apresentados os resultados das propriedades físicas envolvendo os tratamentos M+Ud com M+Ud/S, em que avaliamos a rotação com a soja, na Tabela 5. No aspecto geral, percebe-se que, os tratamentos não diferem entre si para as propriedades avaliadas, exceto para as variáveis EAA, MOS e RP, que foram significativas ( $p < 0,01$ ) para a profundidade.

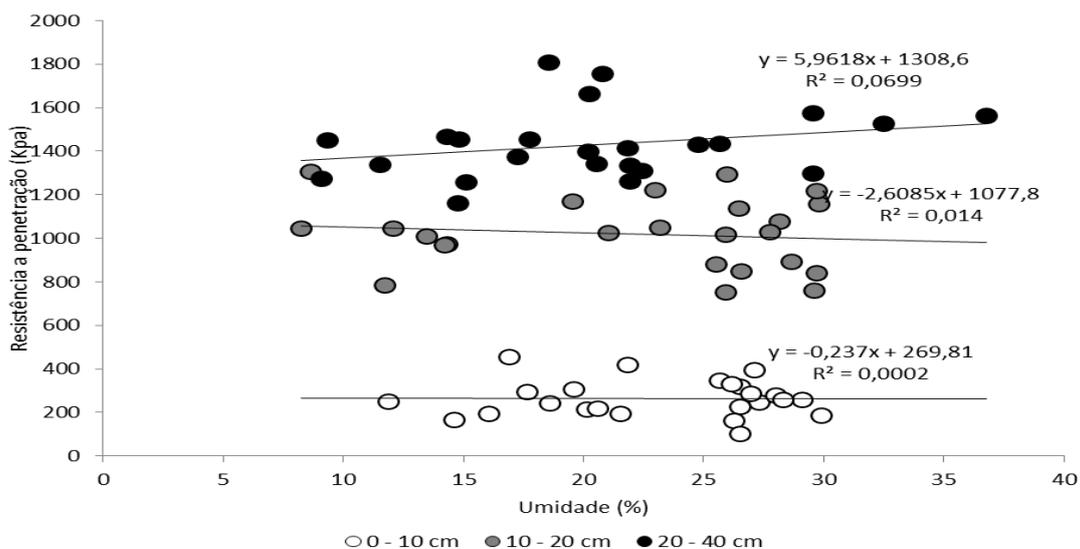


FIGURA 5. Variações da umidade do solo e resistência à penetração em função do tempo de cultivo continuado de *Urochloa decumbens* e profundidade do perfil do solo em área de produção de grãos dos tabuleiros costeiros de Sergipe.

TABELA 5. Médias ( $\pm 1$  D.P.) das variáveis diâmetro médio de agregados (DMA), estabilidade de agregados em água (EAA), porosidade total (POT), densidade do solo (DS), matéria orgânica do solo (MOS) e resistência à penetração em função da adoção do sistema de integração entre milho e *Urochloa decumbens* (M+Ud) e da rotação entre M+Ud e soja (M+Ud/S) e de três profundidades de solo dos tabuleiros costeiros de Sergipe.

Sistemas	DMA (mm)	EAA (%)	POT ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	DS ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	MOS ( $\text{g dm}^{-3}$ )	RP (kPa)
0-10 cm						
M+Ud	2,57 ( $\pm 0,06$ )	23,3 ( $\pm 13,5$ )	0,40 ( $\pm 0,049$ )	1,76 ( $\pm 0,06$ )	22,7 ( $\pm 5,8$ )	238 ( $\pm 32$ )
M+Ud/S	2,72 ( $\pm 0,31$ )	14,3 ( $\pm 0,81$ )	0,36 ( $\pm 0,016$ )	1,82 ( $\pm 0,03$ )	25,4 ( $\pm 2,5$ )	225 ( $\pm 51$ )
10-20 cm						
M+Ud	2,53 ( $\pm 0,11$ )	9,7 ( $\pm 7,0$ )	0,34 ( $\pm 0,011$ )	1,79 ( $\pm 0,04$ )	19,1 ( $\pm 3,0$ )	1036 ( $\pm 127$ )
M+Ud/S	2,80 ( $\pm 0,29$ )	5,3 ( $\pm 2,3$ )	0,37 ( $\pm 0,017$ )	1,78 ( $\pm 0,04$ )	19,3 ( $\pm 2,4$ )	952 ( $\pm 113$ )
20-40 cm						
M+Ud	2,48 ( $\pm 0,35$ )	10,8 ( $\pm 6,9$ )	0,36 ( $\pm 0,021$ )	1,76 ( $\pm 0,02$ )	17,5 ( $\pm 3,1$ )	1458 ( $\pm 157$ )
M+Ud/S	2,62 ( $\pm 0,39$ )	11,5 ( $\pm 3,3$ )	0,37 ( $\pm 0,015$ )	1,76 ( $\pm 0,04$ )	16,7 ( $\pm 3,0$ )	1399 ( $\pm 245$ )
p (Prof)	0,67	<b>&lt;0,01</b>	0,17	0,25	<b>&lt;0,01</b>	<b>&lt;0,01</b>
p (Rot)	0,42	0,93	0,93	0,60	0,77	0,25
p (Int)	0,86	0,10	0,07	0,18	0,60	0,88

p (Prof), p (Rot) e p (Int) correspondem à significância das fontes de variação profundidade do solo (Prof), inclusão ou não de soja em rotação com milho integrado com *U. decumbens* (Rot) e interação entre estas fontes (Int) a partir de um modelo de ANOVA em parcelas subdivididas, com Rot nas parcelas, Prof nas subparcelas e blocos (não apresentado). Efeitos significativos a  $p < 0,05$  são destacados em negrito.

Nas propriedades físicas não foram observadas diferenças estatísticas significativas envolvendo as pastagens e também para a interação, de acordo com a Tabela 6. No entanto, EAA, MOS e RP foram significativas ( $p < 0,01$ ) para a profundidade. Esses resultados mostram que a espécie da pastagem não influenciou nas variáveis físicas analisadas, permitindo que ambas sejam recomendadas para os cultivos de grãos em integração lavoura/pecuária para áreas de Argissolo nos tabuleiros costeiros sergipanos.

TABELA 6. Médias ( $\pm 1$  D.P.) das variáveis diâmetro médio de agregados (DMA), estabilidade de agregados em água (EAA), porosidade total (POT), densidade do solo (DS), matéria orgânica do solo (MOS) e resistência à penetração em função da escolha da espécie de *Urochloa decumbens* (Ud) ou *U. ruziziensis* (Ur) introduzidas em integração com milho e de três profundidades de solo dos tabuleiros costeiros de Sergipe.

Sistemas	DMA (mm)	EAA (%)	POT (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	DS (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	MOS (g dm <sup>-3</sup> )	RP (kPa)
0-10 cm						
M+Ud/Ud/Ud	2,65 ( $\pm 0,19$ )	26,4 ( $\pm 13,7$ )	0,38 ( $\pm 0,031$ )	1,72 ( $\pm 0,08$ )	24,5 ( $\pm 3,7$ )	190 ( $\pm 74$ )
M+Ur/Ur/Ur	2,32 ( $\pm 0,34$ )	23,8 ( $\pm 13,4$ )	0,41 ( $\pm 0,062$ )	1,65 ( $\pm 0,13$ )	26,4 ( $\pm 5,0$ )	268 ( $\pm 75$ )
10-20 cm						
M+Ud/Ud/Ud	2,58 ( $\pm 0,05$ )	20,6 ( $\pm 13,5$ )	0,35 ( $\pm 0,082$ )	1,78 ( $\pm 0,04$ )	22,9 ( $\pm 1,8$ )	911 ( $\pm 107$ )
M+Ur/Ur/Ur	2,56 ( $\pm 0,19$ )	19,2 ( $\pm 15,6$ )	0,35 ( $\pm 0,080$ )	1,77 ( $\pm 0,04$ )	24,1 ( $\pm 7,1$ )	1084 ( $\pm 197$ )
20-40 cm						
M+Ud/Ud/Ud	2,52 ( $\pm 0,46$ )	16,2 ( $\pm 10,6$ )	0,36 ( $\pm 0,041$ )	1,74 ( $\pm 0,05$ )	18,3 ( $\pm 3,5$ )	1361 ( $\pm 39$ )
M+Ur/Ur/Ur	2,42 ( $\pm 0,34$ )	20,5 ( $\pm 14,8$ )	0,38 ( $\pm 0,054$ )	1,71 ( $\pm 0,15$ )	19,6 ( $\pm 3,5$ )	1438 ( $\pm 106$ )
p (Prof)	0,81	0,18	<b>&lt;0,01</b>	<b>&lt;0,01</b>	<b>&lt;0,01</b>	<b>&lt;0,01</b>
p (Esp)	0,15	0,99	0,68	0,73	0,71	0,20
p (Int)	0,66	0,59	0,17	0,52	0,94	0,58

p (Prof), p (Rot) e p (Int) correspondem à significância das fontes de variação profundidade do solo (Prof), espécie de *Urochloa spp.* (Esp) e interação entre estas fontes (Int) a partir de um modelo de ANOVA em parcelas subdivididas, com Esp nas parcelas, Prof nas subparcelas e blocos (não apresentado). Efeitos significativos a  $p < 0,05$  são destacados em negrito.

A velocidade de infiltração básica proporciona um resultado que reflete as condições estruturais do perfil do solo, mesmo sendo determinada na superfície do solo, ao contrário das demais propriedades físicas do solo, que precisam ser avaliadas em profundidade, por este motivo os resultados da VIB estão expostos na Tabela 7. Semelhante aos demais resultados já apresentados, os da VIB também não diferiram estatisticamente, apesar das três hipóteses de análises estatísticas adotadas. Todos os sistemas de cultivo apresentaram valores considerados muito altos para a VIB, variando de 96 a 171 mm/h, de acordo com a classificação estabelecida por Bernardo et al. (2008).

TABELA 7. Valores médios da velocidade de infiltração básica e significância (valor  $p$ ) referente ao período de permanência da *Urochloa decumbens*, para a possibilidade de substituir o consórcio milho e braquiária pela rotação com a soja e por fim, se há diferença entre *Urochloa decumbens* e *Urochloa ruziziensis*.

Tratamento	VIB (mm/h)	Meses
Regressão		
M	103,5	0
M+Ud	120,0	9
M+Ud/Ud/Ud	119,0	26
p	0,78	
ANOVA		
M+Ud	120,0	-
M+Ud/S	96,0	-
p	0,21	
ANOVA		
M+Ud/Ud/Ud	119,0	-
M+Ur/Ur/Ur	171,0	-
p	0,56	

#### 4.4. Discussão

A permanência continuada da *U. decumbens* no sistema promoveu aumento na qualidade do solo, Figura 3, resultado comparado ao trabalho de Santiani et al. (2020), que avaliando sistemas de manejo semelhantes, afirmam que os sistemas com a presença de *U. ruziziensis* apresentaram os melhores índices de qualidade estrutural do solo após dois anos de cultivo consorciado, enquanto o milho solteiro obteve o pior índice. Machado e Assis (2010) também recomendam o cultivo de pastagens em áreas de lavoura por dois anos ou mais, pois pode contribuir para melhoria da qualidade física do solo.

Os resultados positivos e associados à melhoria da qualidade do solo referente ao tratamento com maior período de permanência da *U. decumbens*, diferenciando estaticamente do cultivo de milho sucessivo em plantio direto, corrobora com Fernandes et al. (2011), pois os autores concluíram que o período de “pousio” (três anos) com esta braquiária conseguiu recuperar parcialmente a qualidade do solo quando comparada com a área de floresta nativa, enquanto as práticas agrícolas como plantio direto, consórcio de milho, não tiveram eficiência no mesmo período avaliado.

Estes resultados da *U. decumbens* não diferem dos obtidos por Neto et al. (2015), que trabalhando com diversas braquiárias e avaliando o intervalo hídrico ótimo como indicador da descompactação biológica do solo, concluíram que essa braquiária e a *U. brizantha* podem ser usadas como estratégias de recuperação edáfica nos sistemas de integração lavoura/pecuária.

O cultivo contínuo da *U. decumbens* promoveu redução na RP, independente da profundidade amostrada, esse resultado está associado à capacidade que essas plantas possuem em explorar o perfil do solo, promovendo melhores condições para o desenvolvimento das plantas ou devido à maior inserção de matéria orgânica, evitando que o solo sofra degradação nas propriedades físicas, podendo ser citado o trabalho de Bono et al. (2013), que trabalhando com lotação de 1,6 UA, não influenciou a densidade e a resistência à penetração do solo nas áreas com *U. decumbens* que tiveram adubação de manutenção a cada dois anos.

Outro ponto importante a destacar no gráfico de RP, é que os valores absolutos atingidos nas leituras ficaram distantes de 2000 kPa que é citado na literatura como limite crítico ao desenvolvimento do sistema radicular de grande parte das culturas, Figura 4 (B). (TORMENA et al., 1998; BLAINSKI et al., 2008; PACHECO e CANTALICE, 2011).

A influência do aumento da umidade sobre a redução da RP tem sido amplamente conhecida. No entanto, a ausência de correlação observada entre estas variáveis neste estudo (Figura 5) indica que modificações estruturais no perfil do solo, associadas aos tratamentos, contribuíram efetivamente para as variações observadas na RP. Corroborando com Pedrotti et al. (2019), que avaliando a RP nos tabuleiros costeiros sergipanos, concluíram que os sistemas conservacionistas com plantas de cobertura são alternativas viáveis para obter menores valores de RP.

A estabilidade de agregados foi influenciada positivamente pelo cultivo contínuo da *U. decumbens*, independente da profundidade amostrada isso está associado ao desenvolvimento do sistema radicular das gramíneas que conseguem explorar o perfil do solo e inserir matéria orgânica em profundidade, além disso, a liberação de exsudatos de compostos orgânicos pelo sistema radicular pode promover a formação de agregados mais estáveis (THIMOTHEE, 2019; SANTOS, 2012). Vezzani e Mielniczuk (2011) concluíram que o cultivo contínuo de *Digitaria decumbens* (pangola) por 17 anos promoveu a recuperação da proporção de macroagregados do solo, com menor estoque de carbono, mas destacou a eficiência do sistema radicular dessas plantas na recuperação da agregação de solos degradados.

O sistema radicular de plantas como a *U. ruziziensis* favorece a formação e estabilização dos agregados no solo, proporcionando agregados mais resistentes, evitando que a estrutura do solo sofra grandes variações mesmo exposta a ações antrópicas. O crescimento acentuado na estabilidade de agregados na profundidade de 0 – 10 cm pode ser explicado pelo

aporte de massa vegetal residual sobre a superfície do solo, que sendo decomposta aumenta ciclagem de nutrientes, a matéria orgânica, a atividade microbiana, favorecendo o aumento da quantidade e estabilidade dos agregados do solo (FERREIRA et al., 2010; BRANDÃO; SILVA, 2012; LOSS et al., 2011).

A manutenção do consórcio (M+Ud) ou rotação com soja (M+Ud/S) não apresentaram diferenças nas variáveis físicas avaliadas, o que também persistiu entre os tratamentos, entretanto, esses resultados diferem de outro estudo, que avaliando diversas forrageiras entre elas a *U. ruziziensis*, afirmou que a sucessão milho e soja diminuiu a densidade e aumentou a macroporosidade e porosidade total do solo nas camadas avaliadas que variaram de 0 a 30 cm, não importando qual fosse a forrageira consorciada com o milho, no entanto, esse estudo foi desenvolvido em área irrigada com cultivos sucessivos (MENDONÇA et al., 2012).

O consórcio de milho com *U. decumbens* promove uma melhora expressiva na qualidade do solo, principalmente na camada superficial, resultado que corrobora com Costa et al. (2015) e Calonego et al. (2011). Esse resultado pode ajudar a explicar não ter ocorrido diferença entre a manutenção do consórcio (M+Ud) ou inserir a rotação com soja (M+Ud/S), pois apesar do cultivo da soja produzir massa vegetal residual inferior ao consórcio expondo o solo a intempéries climáticas durante o período de entressafra, os resultados obtidos parecem não serem suficientes para provocar efeitos negativos significativos nas variáveis físicas do solo e, conseqüentemente, na qualidade do solo, quando em rotação com o consórcio M+Ud.

Na Tabela 6, foram abordados os resultados relacionados com a hipótese de ocorrer diferença entre as pastagens avaliadas, nessa tabela fica claro que as espécies das forrageiras não diferiram estatisticamente em nenhuma das variáveis analisadas, conforme ocorreu no estudo de Chioderoli et al. (2012), que também não apresentou diferença entre os tratamentos envolvendo *U. decumbens* e *U. ruziziensis* para as variáveis porosidade total e densidade do solo variando as profundidades de 0 – 30 cm.

As pastagens avaliadas não diferiram estatisticamente, corroborando com Thimothee (2019), que avaliando em Argissolo a influência da *U. decumbens* e *U. ruziziensis* na produtividade de milho constatou que a escolha entre essas espécies não resultou em diferenças na produtividade do milho em monocultivo ou em rotação com a soja. Entretanto, Galdos et al. (2020), em seu trabalho sobre o uso de braquiária para estruturação do solo e lixiviação de nitrato, não recomendam a *U. ruziziensis*, por entenderem que pensando em modulação da estrutura do solo e na retenção de nitrogênio a *U. brizantha* cv. Marandu seja mais eficiente devido à complexa rede de poros e raízes finas.

A espécie da *Urochloa* não interfere na qualidade do solo, no entanto a *U. ruziziensis* para sistemas de plantio direto possui manejo de dessecação facilitado em relação a *U. decumbens*, aspecto que pode ser relevante na tomada de decisão de qual espécie implantar no sistema, visto que essas pastagens possuem características agrônômicas muito semelhantes.

Os valores da VIB expostos na Tabela 7 estão dentro da faixa de resultados obtidos por outros autores como Prando et al. (2010), Cunha et al. (2009) e Santos et al. (2016). Sato et al. (2012), avaliando sistemas de manejo semelhantes aos adotados neste trabalho, mostraram que não foram observadas diferenças entre os consórcios milho com *Urochloa humidicola* e com *Panicum maximum* cv. Aruana, também não ocorreu diferença entre as forrageiras solteiras, no entanto, o cultivo de milho solteiro diferiu dos quatros e teve o maior valor de VIB.

#### 4.5. Conclusões

A permanência contínua de *Urochloa spp.* (26 meses) no sistema melhora a qualidade do solo, independente da profundidade amostrada, se tornando uma estratégia para proporcionar melhores condições para o cultivo de grãos nos tabuleiros costeiros de Sergipe.

A inserção da rotação com soja (M+Ud/S) ou manutenção do consórcio (M+Ud) não diferem com relação às propriedades físicas, independentemente das profundidades amostradas.

Enquanto a escolha da espécie entre *U. decumbens* ou *U. ruziziensis* não interfere na qualidade do solo ao longo do perfil.

#### 4.6. Referências Bibliográficas

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical test for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. **Soil Science Society of America**, p. 123 – 141, 1996 (SSSA Special publication 49).

BARROS, I. de.; PACHECO, E. P.; CARVALHO, H. W. L. Integrated Emergy and Economic Performance Assessments of Maize Production in Semiarid Tropics: Comparing Tillage Systems. **Journal of Environmental Accounting and Management**, p. 207-229, 2017.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. ed. 7. Viçosa: UFV, 2005. p. 611.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2008. p. 625.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 975-983, 2008.

BONO, J.A.M.; MACEDO, M.C.M.; TORMENA, C.A. Qualidade física do solo em um Latossolo Vermelho da região sudoeste dos cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.37, p.743-753, 2013.

BRANDAO, E. D.; SILVA, I. F. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho. **Ciência Rural**, v.42, n.7, p.1193-1199, 2012.

CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 1, p. 45–53, 2011.

CALONEGO, J. C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, n. 6, 2011.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 37-43, 2012.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015.

CUNHA, J. L. X. L.; ALBUQUERQUE, A. W.; SILVA, C. A.; ARAÚJO, E.; SANTOS JUNIOR, R. B. Velocidade de infiltração em um Latossolo Amarelo submetido ao sistema de manejo plantio direto. **Revista Caatinga**, v.22, p.199-205, 2009.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. revista e ampliada. Brasília: Embrapa, 2017. 577p.

FERNANDES, M.F.; BARRETO, A.C.; CHAER, G. M. Impact of Tillage and Maize Cropping System on the Physical Properties of a Kaolinitic Soil in the Brazilian Coastal Tablelands. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Australia, Published on DVD, p. 4, 2010.

FERNANDES, M.F.; BARRETO, A.C.; MENDES, I. C.; DICK, R.P. Short-term response of physical and chemical aspects of soil quality of a kaolinitic Kandudalfs to agricultural practices and its association with microbiological variables. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 142, p. 9, 2011.

FERREIRA, D. F.; Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Ciências Agrárias**, v.31, n.4, p.913-932, 2010.

GALDOS, M. V.; BROWN, E.; ROSOLEM, C. A.; PIRES, L. F.; HALLETT, P. D.; MOONEY, S. J. Brachiaria species influence nitrate transport in soil by modifying soil structure with their root system. **Scientific Reports, Nature**, p.11, 2020.

GOMES, J. B. V.; FERNANDES, M. F.; PACHECO, E. P.; BARRETO, A. C.; NORTON, L. D.; CURI, N. Calcareous soils in the Northeastern of Brazil: Alterations of attributes from different land use history. **Soil & Tillage Research**, v. 155, p.27-34, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, 2020.

JESUS, W. R. dos S.; REIS, A. S. C.; PROCOPIO, S. O.; CARVALHO, H. W. L. Seleção de cultivares de soja convencionais com aptidão para o cultivo na região agreste de Sergipe e Bahia. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA TABULEIROS COSTEIROS, 4., 2014, Aracaju. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 12.

LAL, R. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 70, n. 3, p. 55A-62A, 2015.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; GIACOMO, S. G.; PERIN, A. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.568-76, 2011.

- MACHADO, L. A. Z.; ASSIS, P. G. A. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.4, p.415-422, 2010.
- MCCUNE, B.; MEFFORD, M. J. PC-ORD, Multivariate Analysis of Ecological Data, **Glenneden Beach**, MjM Software Design. Version 6.04, 2011.
- MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, F. C. B. L.; LIMA, R. C.; FILHO, W. V. V.; YANO, E. H. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 251-259, 2012.
- NETO, J. F.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; JUNNYOR, W. S. G.; GONÇALVES, W. G.; ANDRADE, R. Biological soil loosening by grasses from genus *Brachiaria* in croplivestock integration. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 37, n. 3, p. 375-383, 2015.
- PACHECO, E. P.; BARROS, I. Uso de imagens aéreas para avaliação da cobertura do solo em sistemas de produção de grãos no estado de Sergipe. In: Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária, São Carlos – SP, p. 4, 2014.
- PACHECO, E. P.; CANTALICE, J. R. B. Compressibilidade, resistência a penetração e intervalo hídrico ótimo de um argissolo amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros de alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 403-415, 2011.
- PEDROTTI, A.; FILHO, R. N. A.; ASSUNÇÃO, S. J. R.; FILHO, R. R. G.; OLIVEIRA, F. C. C.; HOLANDA, F. S. R.; PISCOYA, V. C.; FILHO, M. C. Soil mechanical resistance penetration after fifteen years with previous crops and tillage systems and productivity of green corn cob in northeast brazil. **Journal of Experimental Agriculture International**, p. 1-9, 2019.
- PRANDO, M. B.; OLIBONE, D.; OLIBONE, A. P. E.; ROSOLEM, C. A. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 693-700, 2010.
- SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p.70-79, 2014.
- SANTIANI, L.; ROSSATO, O. B.; CONTINI, R. P.; VORTMANN, I.; EISENHARDT, J. Consórcio de milho com forrageiras: atributos físicos do solo e produtividade de massa seca. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n.6, p.36-46, 2020.
- SANTOS, G. G. Impacto de sistemas de integração lavoura pecuária na qualidade física do solo. **Goiânia – Brasil**, p.122, 2012.
- SANTOS, I. L. N.; FILHO, R. R. G.; CARVALHO, C. M.; SANTOS, K. V.; OLIVEIRA, D. T. B.; SOUZA, L. G. Velocidade de infiltração da água no solo cultivado por milho doce com cobertura de crotalária. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 5, p. 925-934, 2016.

SATO, J. H.; FIGUEIREDO, C. C. de.; LEÃO, T. P.; RAMOS, M. L. G.; KATO, E. Matéria orgânica e infiltração da água em solo sob consórcio milho e forrageiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n.2, p. 189 – 193, 2012.

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste: Resolução nº 107, 2017. Recife: SUDENE, p. 2, 2017.

THIMOTHEE, J. A. **Impacto de práticas agrícolas sobre a produtividade de grãos e propriedades físicas e químicas de solos caulíníticos dos tabuleiros costeiros sergipano**. 2019. 59 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Biodiversidade) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão/SE, 2019.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 573-581, 1998.

VALE JÚNIOR, J. F. do; SCHAEFER, C. E. G. R. **Solos sob savanas de Roraima: gênese, classificação e relação e relações ambientais**. Boa Vista: Gráfica Ioris, p. 219, 2010.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 213 – 223, 2011.

**ANEXOS**

Foto 1: Visão aérea da área experimental na estação experimental Jorge Sobral da Embrapa Tabuleiros Costeiros, localizada em Nossa Senhora das Dores/SE. (Crédito: Edson Patto Pacheco, 2017).



Foto 2. Desenvolvimento inicial da soja semeada em plantio direto sobre a palhada remanescente da integração lavoura/pecuária na estação experimental Jorge Sobral da Embrapa Tabuleiros Costeiros, localizada em Nossa Senhora das Dores/SE. (Crédito: France Mário Costa, 2020).



Foto 3. Pastagem formada de *Urochloa* ssp. após permanecer no sistema por dois anos na estação experimental Jorge Sobral da Embrapa Tabuleiros Costeiros, localizada em Nossa Senhora das Dores/SE. (Crédito: France Mário Costa, 2020).



Foto 4. Soja dessecada para a colheita e ilustração da palhada que a cultura disponibiliza para o sistema após finalizar seu ciclo na estação experimental Jorge Sobral da Embrapa Tabuleiros Costeiros, localizada em Nossa Senhora das Dores/SE. (Crédito: France Mário Costa, 2020).