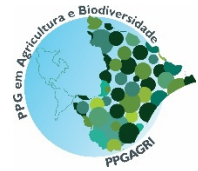


**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**IMPACTO DE PRÁTICAS AGRÍCOLAS SOBRE A
PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E PROPRIEDADES FÍSICAS E
QUÍMICAS DE SOLOS CAULINÍTICOS DOS TABULEIROS
COSTEIROS DE SERGIPE**

JEAN ALEX THIMOTHÉE

2019



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

JEAN ALEX THIMOTHÉE

**IMPACTO DE PRÁTICAS AGRÍCOLAS SOBRE A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS
E PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE SOLOS CAULÍNÍTCOS DOS
TABULEIROS COSTEIROS DE SERGIPE**

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

Orientador

Prof. Dr. Marcelo Ferreira Fernandes

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2019

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

T443i Thimothée, Jean Alex
Impacto de práticas agrícolas sobre a produtividade de grãos e propriedades físicas e químicas de solos cauliniticos dos tabuleiros costeiros de Sergipe / Jean Alex Thimothée ; orientador Marcelo Ferreira Fernandes. – São Cristóvão, SE, 2019.
59 f. : il.

Dissertação (mestrado em Agricultura e Biodiversidade) – Universidade Federal de Sergipe, 2019.

1. Agricultura. 2. Solos. 3. Milho - Plantio. 4. Soja - Plantio. 5. Capim-braquiaria - Plantio. 6 Sergipe. I. Fernandes, Marcelo Ferreira, orient. II. Título.

CDU 631.412(813.7)

JEAN ALEX THIMOTHÉE

**IMPACTO DE PRÁTICAS AGRÍCOLAS SOBRE A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS
E PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE SOLOS CAULÍNÍDICOS DOS
TABULEIROS COSTEIROS DE SERGIPE**

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

APROVADA em 29 de março de 2019.

Dr. GUILHERME MONTANDON CHAER
EMBRAPA Agrobiologia

Dr. EDSON PATTO PACHECO
EMBRAPA Tabuleiros Costeiros

Prof. Dr. MARCELO FERREIRA FERNANDES
EMBRAPA Tabuleiros Costeiros
(Orientador)

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL

Dedico este trabalho aos meus pais, Yvon e Santa, meus irmãos Yves-Sanley e Love-Shirly como gratidão pelo grande apoio, incentivo e intenso amor.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus por me guiar à realização de mais um sonho se mostrando presente a cada dia como fonte de força e do mais puro amor.

Aos meus pais, Yvon Thimothée e Santa Joseph, grandes educadores que, com muito amor, souberam transmitir educação, dignidade e força na busca de melhores oportunidades.

Aos meus irmãos Yves-Sanley e Love-Shirly, pelo incentivo, apoio e amizade valiosa, verdadeira e divertida.

À minha querida família, obrigado pelo amor incondicional. Amo muito vocês!

Ao professor Dr. Marcelo Ferreira Fernandes pela orientação, incentivo, confiança, amizade e ensinamentos transmitidos com dedicação, paciência, bom humor e empolgação.

À Universidade Federal de Sergipe e ao Núcleo de Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade pela oportunidade, conhecimento e formação nesse curso.

Aos professores deste Núcleo pelo conhecimento transmitido.

À Embrapa Tabuleiros Costeiros por fornecer estrutura, tecnologia e profissionais capacitados para condução desse trabalho.

À OEA-GCUB e à CAPES pela concessão das bolsas durante mestrado.

Ao Dr. Edson Patto Pacheco, pelos ensinamentos, acompanhamento e sugestões oportunas e ao Dr. Guilherme Montandon Chaer pelo apoio, disponibilidade de participação na banca de defesa e valiosas críticas.

À Estação Experimental Jorge Sobral da Embrapa Tabuleiros Costeiros e seus funcionários que ajudaram em todas as fases do experimento.

Aos funcionários e servidores da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Robinson Cruz Fontes Júnior e D. Vera Lucia de Araujo por serem prestativos sempre que solicitados, pela dedicação e divertida amizade.

Ao meu amigo e colega João Deverton Santos de Castro que me acompanhava diariamente os trabalhos de campo e laboratório e aos colegas do PPGAGRI que ajudaram com sugestões e participação na apresentação.

Sou grato a todos que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho.

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	5
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
4. ARTIGO: IMPACTO DE PRÁTICAS AGRÍCOLAS SOBRE A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE SOLOS CAULÍNÍTCOS DOS TABULEIROS COSTEIROS.....	34
Resumo.....	34
Abstract.....	35
4.1. Introdução	36
4.2. Material e Métodos	37
4.3. Resultados	43
4.4. Discussão	47
4.5. Conclusões	51
4.6. Referências Bibliográficas	52
ANEXOS	56

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1	Precipitação pluviométrica por decêndios dos anos de 2016 a 2018 e médias históricas de 2001 a 2018 no Campo Experimental Jorge Sobral, Nossa Senhora das Dores, SE. Barras de erros expressam o E.P. da média histórica.

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Descrição dos tratamentos utilizados no experimento	38
2	Contrastes ortogonais de médias de tratamentos e respectivos efeitos de práticas agrícolas avaliados	42
3	Análise de contrastes de médias de diâmetro médio de agregados (DMA), estabilidade de agregados em água (EAA) e teor de matéria orgânica do solo (MOS) sob diferentes práticas agrícolas em solo de tabuleiros costeiros do Agreste de Sergipe	44
4	Análise de contrastes de médias da produtividade de milho e soja de tratamentos sob diferentes práticas agrícolas em solo de tabuleiros costeiros do Agreste de Sergipe em 2017 e 2018.	46

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

C/N: Relação Carbono e Nitrogênio

CT: Conventional Tillage

DMA: Diâmetro Médio de Agregados

DSA: Diameter of Soil Aggregates

EAA: Estabilidade de Agregados em Água

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETENE: Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste

FAO: Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

M.O: Matéria Orgânica

MOS: Matéria Orgânica do Solo

NMS: Non-metric Multidimensional Scaling

NT: No-till

PC: Plantio Convencional

PD: Plantio Direto

VC: Valor Cultural

WAS: Water Aggregate Stability

RESUMO

THIMOTHÉE, Jean Alex. **Impacto de práticas agrícolas sobre a produtividade de grãos e propriedades físicas e químicas de solos cauliniticos dos tabuleiros costeiros de Sergipe.** São Cristóvão: UFS, 2019. 59p. (Dissertação – Mestrado em Agricultura e Biodiversidade).

Os solos cauliniticos, típicos dos tabuleiros costeiros, apresentam estrutura física frágil e são muito vulneráveis à degradação por sistemas de produção de milho empregados no Agreste de Sergipe, caracterizados pelo preparo com revolvimento de solo e pelo baixo aporte de resíduos vegetais. Deste modo, apesar do alto potencial de produção de milho nesta região, alternativas de preparo do solo e manejo de culturas e da cobertura vegetal são essenciais para a promoção da sustentabilidade agrícola da região. O objetivo deste estudo foi quantificar o efeito de diferentes práticas agrícolas sobre a produtividade de grãos e a qualidade do solo nos tabuleiros costeiros do agreste de Sergipe. O estudo foi conduzido em experimento em blocos casualizados, com quatro repetições, no Campo Experimental Jorge Sobral, em N. S. das Dores, SE. Dez tratamentos, com combinações entre os fatores cultura de grãos (milho ou soja), método de preparo do solo (preparo convencional ou plantio direto), sistema de cultivo (monocultivo ou rotação), integração do milho com braquiárias e espécie de braquiárias empregadas na integração (*B. decumbens* ou *B. ruziziensis*) foram avaliados quanto à produtividade de grãos de milho e soja, nos anos de 2017 e 2018, e as seguintes variáveis descritoras da qualidade do solo, em 2018: diâmetro médio (DMA) e estabilidade (EAA) dos agregados do solo e teor de matéria orgânica (MOS). Análise de variância de contrastes ortogonais, constituídos de tratamentos comparando diferentes práticas agrícolas, foi utilizada para quantificar o efeito relativo de cada uma destas práticas sobre a qualidade do solo e produtividade de milho e soja. O plantio direto (PD) apresentou valores maiores de DMA e de EAA do que no plantio convencional. No PC, a rotação de culturas promoveu maiores valores de DMA, em comparação a média dos monocultivos de milho e soja. O método de preparo do solo, a integração de cultivo de grãos com braquiárias, bem como a rotação dos sistemas de cultivos afetam a produtividade de grãos. O maior efeito observado foi associado ao uso ou não de braquiária nos sistemas de produção de grãos, pois a presença de braquiária incrementou 45% e 135% a produtividade de milho e soja respectivamente. A integração de braquiária com milho em rotação com a soja exerce influência sobre os rendimentos de grãos, já que influencia diretamente a formação de palha e, conseqüentemente, na eficiência da cobertura morta, sendo uma tecnologia viável para cultivos de grãos em sistema de plantio direto.

Palavras-chave: Plantio convencional, plantio direto, rotação de culturas, integração braquiárias, milho, soja.

* Comitê Orientador: Dr. MARCELO FERREIRA FERNANDES – EMBRAPA TABULEIROS COSTEIROS (Orientador)

ABSTRACT

THIMOTHÉE, Jean Alex. **Impact of agricultural practices on grain yield and physical and chemical properties of kaolinitic soils in the coastal tablelands of Sergipe.** São Cristóvão: UFS, 2019. 59p. (Master of Science in Agriculture and Biodiversity).

Kaolinitic soils, typical of coastal tablelands, have a fragile physical structure and are very vulnerable to degradation by corn production systems used in Agreste of Sergipe, characterized by preparation with soil revolving and low input of plant residues. Thus, despite the high potential of corn production in this region, alternatives for soil preparation and crop management and plant cover are essential to promote the agricultural sustainability of the region. The objective of this study was to quantify the effect of different agricultural practices on grain productivity and soil quality in the coastal tablelands of Agreste of Sergipe. The study was conducted in an experiment in randomized blocks, with four repetitions, at the Jorge Sobral Experimental Camp, in Nossa Senhoras das Dores, SE. Ten treatments, with combinations between the factors of crop (corn vs soybean), soil tillage method (conventional, CT, vs. no-tillage, NT), cultivation system (monoculture vs. crop rotation), integration of corn with brachiaria (with or without integration) and species of brachiaria in integration (*B. decumbens* vs. *B. ruziziensis*) were evaluated for yield of corn and soybean grains, in the years 2017 and 2018, and the following soil quality descriptors in 2018: mean diameter of soil aggregate (DSA) and water aggregate stability (WAS) and organic matter content (MOS). Analysis of variance of orthogonal contrasts, consisting of treatments comparing different agricultural practices, was used to quantify the relative effect of each of these practices on soil quality and corn and soybean yield. No-till (NT) presented higher values of DSA and WAS than in conventional tillage (CT). In CT, crop rotation promoted higher DSA values, compared to the average of corn and soybean monocultures. Soil tillage method, integration of grain cultivation with brachiaria, as well as rotation of crop systems affect grain yield. The highest effect observed was associated with the use or not of brachiaria in grain production systems, since the presence of brachiaria increased corn and soybean yields by 45% and 135%, respectively. The integration of brachiaria with corn in rotation with soybean exerts influence on the yield of grains, since it directly influences the formation of straw and, consequently, the efficiency of the mulch, being a viable technology for grain crops in no-till system.

Key-words: conventional tillage, no-till, crop rotation, crop integration; corn, soybean.

* Supervising Committee: Dr. MARCELO FERREIRA FERNANDES – EMBRAPA TABULEIROS COSTEIROS (professor adviser)

1. INTRODUÇÃO GERAL

Ao longo dos últimos cem anos, um bilhão de ha de terra fértil literalmente desapareceram. A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) está preocupada com o futuro das áreas restantes. Num relatório de 650 páginas publicado por ocasião do encerramento do ano internacional dos solos, ela revelou que um terço da terra arável do planeta está ameaçado a desaparecer e se nada for feito, a produção de alimentos e a segurança alimentar para a humanidade podem ser comprometidas (MONTANARELLA et al., 2015).

A erosão leva anualmente entre 25 e 40 mil milhões de t de camada superficial, reduzindo consideravelmente o rendimento agrícola e a capacidade do solo de armazenar e reciclar carbono, nutrientes e água. As perdas de produção cerealífera devidas à erosão são estimadas em 7,6 milhões de toneladas por ano (MONTANARELLA et al., 2015). Espesso de 30 cm em média, esta camada fértil é um formidável reator biológico que abriga intercâmbios biológicos e físico-químicos intensos e oferece serviços imensos. O solo fornece elementos essenciais para o crescimento de plantas, filtra água, controla o abastecimento de água subterrânea, regula o ciclo de carbono e nitrogênio e é o habitat de quase 80% da biomassa (DECAËNS et al., 2006). É o meio mais rico em nosso ambiente e também um dos mais frágeis, formado após um processo de alteração e degradação extremamente lenta da rocha. A sua formação demora séculos, a sua degradação devido à crescente atividade humana pode ser medida em décadas.

As análises gerais das relações de “erosão do solo/produtividade” sugerem que a erosão leva a uma perda média geral de 0,3 % no rendimento anual das culturas (CHRISTOFFEL et al., 2003). Se essa taxa de perda permanecer inalterada no futuro, uma redução de 10 % nas colheitas potenciais anuais ocorrerá até 2050. Essa perda de cultivo devido à erosão seria equivalente à remoção de 150 milhões de hectares de área agrícola ou 4,5 milhões de hectares por ano (FOLEY et al., 2011). O ritmo agora é superior ao da pedogênese, o processo pelo qual os solos são formados.

Na Europa, essa degradação já afetou 33 milhões de ha, ou 4 % de terras aráveis (ARWYN et al., 2012). O processo pode ser extremamente rápido. No Brasil, por exemplo, a degradação da terra levou menos de quatro séculos, com a erosão multiplicada por quatro nos

últimos cinquenta anos, e as perdas agora atingem 3 bilhões de t por ano (PANSACK et al., 2008).

No Brasil, a erosão hídrica é considerada o tipo de degradação com maior impacto sobre a capacidade produtiva dos solos. Esses impactos são facilitados por práticas de manejo inadequadas (CARVALHO et al., 2002).

Além de afetar o meio ambiente, a erosão do solo causam importantes impactos econômicos à atividade agrícola em função da perda de nutrientes, queda da produtividade das culturas, entre outros. Dechen et al. (2015) observaram em experimento de cobertura artificial do solo em Latossolo Vermelho distroférico em Campinas (SP), que o Brasil registra perdas de 616,5 milhões de terra ao ano, decorrentes do processo de erosão do solo em lavouras anuais, e custos da ordem de US\$ 1,3 bilhão ao ano.

Por outro lado, o empobrecimento de matéria orgânica é outra ameaça à fertilidade do solo. Os solos inférteis e a escassez de nutrientes para as culturas em algumas áreas contribuem significativamente para fazer uma diferença no rendimento. A diferença de rendimento é maior na América Latina, em grande parte da África Ocidental e Oriental e na Europa Oriental (MONTANARELLA et al., 2015). O equilíbrio de nutrientes do solo pode ser avaliado através de um balanço de massa de nutrientes: entradas de insumos, exportações de produtos e mudanças nos estoques do solo. Um balanço negativo indica a super exploração dos nutrientes do solo. Uma análise global de 57 estudos na África revelou que os balanços de nitrogênio eram amplamente negativos e que os balanços de fósforo foram negativos em 56% dos estudos (BOUWMAN et al., 2009).

Em relação às práticas agrícolas, assim como os problemas normalmente associados ao monocultivo, como o esgotamento químico e microbiológico do solo, o aumento de pragas e doenças e as dificuldades adicionais no controle de plantas daninhas, a associação desta prática com o sistema convencional de preparo, deixam o solo altamente expostos ao processo erosivo. Como resultado deste processo, há perdas de grandes volumes de solos férteis, as quais são acompanhadas de redução da produtividade das lavouras e de danos sociais causados pelo assoreamento dos mananciais d'água, como o déficit hídrico em períodos de estiagem e enchentes devastadoras devido à diminuição de capacidade de vazão dos mananciais.

No Estado de Sergipe, em 2016, a cultura do milho ocupou 172000 ha de superfície plantada, representando o quinto produtor em relação à superfície plantada na região do Nordeste. O Estado de Sergipe distingue-se da tendência de produtividade do Nordeste e aproxima-se cada vez mais da produtividade média do Brasil. Entre 1990 e 2000, a produtividade média de milho de Sergipe foi de cerca de 40 % da do Brasil, enquanto entre 2001 e 2016 esse número aumentou para aproximadamente 61 % (ALMEIDA *et al.*, 2018).

A região do Agreste sergipano, uma das principais produtoras de milho no estado, é caracterizada por relevo ondulado e se situa entre as principais áreas de produção de alimentos na Região Nordeste do Brasil (CARVALHO *et al.*, 2005). A sua aptidão para a cultura do milho é evidenciada pelos solos ricos em nutrientes e pluviosidade média anual na faixa de 600 a 1.000 mm. Os solos predominantes são Cambissolos não hidromórficos com horizonte B incipiente ou Câmbico, Eutróficos, rasos a moderadamente profundos. Os principais problemas ligados ao uso agrícola desses solos estão relacionados ao seu uso intensivo e ao provável quadro de degradação a curto ou médio prazo por erosão hídrica, em função da ausência práticas conservacionistas nos sistemas de produção.

Desse jeito, diferentes sistemas de cultivo propiciam cobertura vegetal dos solos diferenciados e, portanto, condições distintas de exposição do solo aos agentes erosivos (BERTONI e LOMBARDI, 1985). Assim, o manejo do solo tem grande influência no processo de erosão. Em um Cambissolo de Santa Catarina, Schick *et al.* (2000) observaram perdas de solo e água duas vezes maiores em sistemas de plantio convencional do que no plantio direto em rotação soja/milho. Resultados semelhantes foram observados por Silva *et al.* (2005) em um Latossolo no Mato Grosso do Sul em diferentes rotações.

Os sistemas de preparo do solo considerados conservacionistas são aqueles que se caracterizam por uma movimentação reduzida do solo, pela conservação dos resíduos vegetais na superfície e pela elevada rugosidade, o que favorece a redução da erosão hídrica (HERNANI *et al.*, 1997). A conservação dos resíduos culturais na superfície do solo tem a capacidade de controlar melhor as perdas de solo e água do que a incorporação total ou parcial dos resíduos (BERTOL *et al.*, 1997). Apesar da baixa rugosidade superficial, o plantio direto possibilita que os resíduos das culturas sejam ancorados ao solo, apresentando ainda

uma elevada consolidação de superfície, aumentando assim a tensão de cisalhamento e, conseqüentemente, a resistência à erosão hídrica (BERTOL, 1995).

Minella et al. (2009) também mostraram que em áreas sujeitas a alta intensidade de chuva ou aos solos vulneráveis, o plantio direto é principalmente um meio de reduzir a erosão, porque o não revolvimento permite manter um mulch na superfície (CALEGARI et al., 2008). São os resíduos da cultura que, por decomposição, aumentam o teor de matéria orgânica do solo e, portanto, a fertilidade (SISTI et al., 2004). A médio prazo (três a dez anos), a fauna do solo é melhorada pela abundância de matéria orgânica na superfície e as galerias escavadas pelas minhocas criam uma porosidade favorecendo a infiltração da água em vez do escoamento (CALONEGO e ROSOLEM, 2010). A reserva de água do solo é aumentada, especialmente porque o mulch limita o aquecimento do solo e assim reduz a evaporação (BOLLIGER et al., 2006).

Os sistemas de produção com componentes conservacionistas, como o plantio direto, rotação de culturas e sistemas de integração lavoura/pecuária, têm sido amplamente adotados em outras regiões no Brasil para manter a cobertura do solo e preservar a sua matéria orgânica e estrutura, contribuindo efetivamente para sustentabilidade de agrossistemas (OLIVEIRA et al., 2001). Assim, a inclusão de gramíneas e leguminosas forrageiras em integração com o milho tem o duplo propósito de produzir massa verde suplementar para a alimentação animal e palha para cobertura morta do solo, sobretudo na entressafra. Esta estratégia tem sido utilizada com sucesso em experimento com milho integrado com guandu no território Sul Sergipano (Umbaúba) (BARRETO e FERREIRA, 2010).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Tabuleiros Costeiros: características principais do solo, potencial para a produção de grãos, e práticas conservacionistas para a manutenção da sustentabilidade agrícola da região.

O termo Tabuleiros Costeiros é usado para designar uma superfície do tipo tabular, dissecada por vales profundos e encostas com forte declividade. No Zoneamento Agroecológico do Nordeste (SILVA et al., 1993), os tabuleiros costeiros são identificados como uma grande unidade de paisagem composta por várias unidades geoambientais as quais, por definição, são entidades espaciais onde o material de origem, a vegetação natural, o modelado, a natureza e a distribuição dos solos, em função da topografia, constituem um conjunto homogêneo, cuja variabilidade é mínima de acordo com a escala cartográfica.

Numa superfície estimada de 8,42 milhões de hectares, a unidade de paisagem dos tabuleiros costeiros está distribuída por quase todo o litoral do Nordeste do Brasil. Tem como característica comum o conjunto das 17 unidades geoambientais que a compõem, incluindo uma topografia plana a suave ondulada, raramente superior a 3 % e também baixa fertilidade natural e grande profundidade do solo (EMBRAPA, 1994).

Existe uma grande diversidade de classes de solo na unidade de paisagem dos tabuleiros costeiros. Entre as mais importantes contam-se os solos tipo Latossolos Amarelos, os Gleissolos e os Argissolos Acinzentados. De acordo com Demattê et al. (1996), a formação dos solos neste ecossistema está diretamente ligada às condições de drenagem e produz microrrelevos de dimensão e forma variável, caracterizados por uma drenagem permanentemente imperfeita, apesar do relevo, geralmente plano a suave ondulado.

Os Tabuleiros Costeiros são de grande importância na região do Nordeste, pois ocupam apenas 24 % da superfície da região e concentram-se mais de 50 % da população, além de gerar uma grande parte da produção agrícola. Mas alguns fatores são responsáveis pela baixa produtividade nesse ecossistema. Podem citar-se as limitações químicas, destacam-se a baixa capacidade de troca catiônica, a qual é causada pelos baixos teores de matéria orgânica, associado à predominância da caulinita na fração argila, com conseqüente baixa fertilidade natural. Também as limitações físicas, e uma das mais importantes é a ocorrência dos horizontes coesos. O horizonte coeso é um horizonte pedogenético adensado o qual limita a infiltração de água, a aeração e o crescimento radicular (PAIVA et al., 2000).

Os sistemas de produção de grãos dessa região em geral são caracterizados pela predominância do sistema convencional de preparo do solo, através de arações e gradagens e, pelo não uso de sistemas de rotação de culturas. Além disso, nessa região é registrado um

clima com má distribuição de chuvas, que se concentram, em 80 %, num período de seis meses contínuos, em muitas áreas dos estados do Nordeste (ARAÚJO, 2000). Uma alternativa viável do ponto de vista da sustentabilidade em relação ao primeiro sistema seria a adoção do Sistema de Plantio Direto nas áreas de produção de grãos. Tal procedimento já solucionaria o segundo aspecto abordado, pois uma das premissas do plantio direto é a rotação de culturas. Em geral, esses métodos de preparo promovem pouca movimentação do solo e fornecem grandes quantidades de resíduo (SANTOS et al., 1999).

No município de Lagarto-SE, ensaios realizados pela Embrapa Tabuleiros Costeiros mostraram a possibilidade de fazer até duas safras por ano na região, utilizando culturas sucessivas com ciclo curto e a segunda cultura entrando na área deve apresentar uma maior tolerância ao déficit hídrico. Diferentes combinações de culturas foram avaliadas e as mais promissoras foram: soja seguida de sorgo ou soja seguida de girassol. Para estes sistemas de rotação, deve-se notar que a soja nesta região tem mostrado excelente sanidade, resultando em economia, principalmente em termos de aquisição de fungicida e que as variedades têm um ciclo mais curto em comparação com a região Central do Sul do Brasil, o que realmente favorece a segunda safra (PROCOPIO e FERNANDES, 2010).

2.2. Histórico da produção de milho nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe e potencial de diversificação de cultivos.

Segundo Cuenca et al. (2005), a cultura do milho é considerada uma das culturas mais importantes para a economia do Estado do Sergipe, uma vez que esta cultura é fundamental não só para a alimentação, mas também do ponto de vista econômico para as pequenas propriedades e como meio de ocupação da mão-de-obra pouco qualificada.

A produção de milho no Sergipe registrou um crescimento de 82 % entre 1975 e 1989, correspondendo a um aumento do rendimento médio de cerca de 85 %, dos quais 722 kg ha⁻¹ em 1975 a 975 kg ha⁻¹ em 1989. Uma produção muito superior à média do Nordeste, que era de apenas 565 kg ha⁻¹ no ano anterior. No entanto, apesar deste crescimento significativo da produção de milho no Sergipe, este Estado representou apenas 5 % da quantidade de milho produzida no nordeste em 1989 (IBGE 2012).

Um aumento significativo na produção de milho foi observado entre 1990 e 2000, de cerca de 367 %. E por outro lado, o rendimento físico do milho também aumentou significativamente. O rendimento médio da produção de milho cresceu de 624 kg ha⁻¹ em 1990 para 1.107 kg ha⁻¹ em 2000. Apesar do crescimento significativo na produção de milho sergipano observado durante este período, a região representou apenas 3 % da produção de milho no Nordeste (IBGE, 2012).

Mas o estado de Sergipe deu um aumento acentuado na produção de milho, entre 2000 e 2010, superior à registrada nos demais estados produtores tradicionais do Nordeste deste cultivo. Ele passava em 2003, o sexto no ranking de produtores de milho do Nordeste e 2010 em segundo lugar, atrás apenas da Bahia, que é a maior produtora de milho do Nordeste. Dever-se-á notar que os seis municípios que mais se destacaram em termos de produtividade do cultivo de milho no estado em 2010 foram: Carira, Frei Paulo, Nossa Senhora Aparecida, Pinhão, Pedra Mole e Simão Dias (IBGE, 2012).

O milho é plantado durante os meses de abril e maio nos ecossistemas do Agreste e Sertão Nordestinos, o que constitui uma terceira colheita. Nestas duas regiões, localizadas na região semiárida, predominam pequenos produtores que praticam uma produção de subsistência, com poucos investimentos financeiros e tecnológicos, mas essa situação mudou nos últimos anos (PACHECO E HÉLIO, 2012).

O cultivo de milho em Sergipe passou por um processo de modernização bastante recente, principalmente na região Agreste, onde a Embrapa contribuiu bastante (POSSAS et al, 1994). Segundo Oliveira (2011), esse processo de modernização foi iniciado no ano de 2003, no município de Simão Dias, com os primeiros experimentos de competição de cultivares feitos pela Embrapa Tabuleiros Costeiros, processo que posteriormente se espalhou para outros municípios vizinhos. Segundo Pacheco e Carvalho (2012), os investimentos em sementes melhoradas foram um dos fatores que contribuíram para a produtividade física do milho em Sergipe durante a safra de 2010. A porcentagem de área cultivada com essas sementes foi mais que o dobro observado na Bahia, que ocupa o segundo lugar em termos de produtividade de milho no Nordeste.

No entanto, não se pode dizer que o aumento na produtividade e produção de milho no estado tenha sido causado apenas pela adoção de sementes melhoradas pelos agricultores. Também é necessário apontar outros fatores. Esta modificação significativa na produção de milho na região do Agreste e transição Agreste/Sertão foi o resultado de uma combinação de ações e agentes, tais como: o agricultor que chegou a acreditar no potencial de milho na região, às empresas de máquinas e implementos agrícolas e as empresas de fertilizantes e de insumos agrícolas em geral, a oferta de cultivares adaptadas, além atuação dos agentes de crédito que financiaram essas atividades na região (PACHECO e CARVALHO, 2012).

2.3. Práticas agrícolas e qualidade do solo.

A mudança dramática de práticas agrícolas durante os últimos 50 anos é uma das principais forças motrizes para a degradação ambiental nas regiões de produção agrícola, especialmente através de seus impactos no solo e nos recursos hídricos. A produtividade de

alimentos e fibras subiu devido às novas tecnologias, a mecanização, o aumento do uso de produtos químicos e as políticas governamentais que favoreceram a maximização da produção. Embora essas mudanças, tenham tido muitos efeitos positivos na agricultura, também houve custos significativos. Destaca-se entre estes, a degradação do solo e dos recursos hídricos (LAL e STEWART, 1990). Nas últimas décadas, há um interesse crescente em sistemas de produção agrícola que otimizam a produção enquanto conservam o solo, a água, a energia e a proteção do meio ambiente (ZALIDIS et al., 2002). Esse interesse pela agricultura sustentável está ganhando apoio e aceitação em comparação da agricultura convencional.

A qualidade do solo é um componente essencial da agricultura sustentável. Embora o termo qualidade do solo seja relativamente novo, é bem conhecido que os solos variam em qualidade e que a qualidade do solo muda em resposta ao uso e manejo. O sistema de solo é caracterizado por atributos que variam dentro dos limites e se inter-relacionam funcionalmente entre si. Portanto, esses atributos podem ser usados para quantificar a qualidade do solo (LARSON e PIERCE, 1994). Além disso, o solo é um sistema aberto, com entradas e saídas, que é delimitado por outros sistemas coletivamente chamados de ambiente (JENNY, 1941). A sustentabilidade, então, embora multidimensional, certamente se concentra tanto na qualidade do solo, nas relações entre seu uso e manejo, quanto no meio ambiente (LARSON e PIERCE, 1994).

Muitas práticas agrícolas causam alterações nos atributos do solo que resultam em mau funcionamento do solo e, por fim, na degradação do solo e dos recursos hídricos. O principal objetivo da avaliação da qualidade do solo é prever, a partir do conhecimento das propriedades do solo, a capacidade do solo de suportar funções específicas de qualidade/saúde para a cultura, os animais e humanos (HARRIS e BEZDICEK, 1994).

O desafio para a comunidade agrícola é entender o complexo do efeito das práticas agrícolas na qualidade ambiental e pensar de forma holística sobre as abordagens de manejo nas escalas de fazendas e bacias hidrográficas. Os impactos agrícolas sobre a qualidade do solo e dos recursos hídricos de uma região devem ser estudados dentro do contexto das características e particularidades da ampla área em que essas atividades ocorrem. Além disso, o pequeno tamanho das propriedades agrícolas cria uma rede complexa na qual os cientistas devem ser capazes de estudar e avaliar a qualidade do solo, e os interessados devem ser capazes de adotar planos de manejo sustentável. Portanto, existe a necessidade de

desenvolver uma abordagem coordenada e multidisciplinar para avaliar a qualidade do solo e dos recursos hídricos e avaliar suas potencialidades e limitações.

2.4. Sistemas de preparo do solo

A preparação do solo tem como principal objectivo criar condições ótimas para a germinação, a emergência e o estabelecimento de plantas. Deve também permitir aumentar a infiltração de água, a fim de minimizar a perda de água e a erosão dos sedimentos. Além disso, esta preparação deve permitir combater a população inicial de plantas invasoras.

A preparação convencional do solo é realizada em duas etapas: o preparo primário e o preparo secundário. O preparo primário consiste em uma operação mais grosseira efectuada com arados ou grades pesadas, a fim de afrouxar o solo e incorporar adubos, correctivos, plantas daninhas e resíduos de vegetais. Enquanto que a segunda etapa consiste em uma operação de destorroamento e de nivelamento da camada arada do solo por meio de gradagens do terreno.

No entanto, esse tipo de preparo do solo pode aumentar o potencial de degradação ambiental (REICOSKY et al., 2011; LAL, 2015), macroporosidade no subsolo (KINOSHITA et al., 2017) e formação de crostas na superfície do solo após o preparo do solo (UNGER, 1992). Assim, o plantio convencional pode diminuir a profundidade do crescimento radicular e da infiltração de água no solo e aumentar a erosão do solo (BAUMHARDT et al., 2015). A erosão do solo é um dos maiores desafios dos sistemas de plantio convencional, com impactos agrícolas e não-agrícolas: redução de profundidade do solo, prejudicando a produtividade da terra e transporte de sedimento (BAUMHARDT et al, 2015).

O preparo convencional do solo também é prejudicial às propriedades biológicas do solo. Estudos recentes mostraram que o preparo convencional acelera a decomposição biológica da biomassa vegetal devido à maior disponibilidade de oxigênio e expondo o carbono orgânico do solo mais antigo, reduz o conteúdo de matéria orgânica na camada superficial do solo (KUMAR et al., 2017), aumenta as emissões de CO₂ (MELLAND et al., 2017) e diminui a capacidade do solo de reter nutrientes e condições físicas do solo (MARTÍNEZ et al., 2016; ALHAMEID et al., 2017).

Na década de 1930, o plantio direto começou a ser adotado nos Estados Unidos da América (EUA) como uma opção para reduzir a erosão eólica e hídrica, o que gerava níveis de erosão catastróficos durante o Dust Bowl (KASSAM et al., 2015). Além de reduzir a erosão do solo, a conversão do manejo do solo do plantio convencional para o plantio direto também melhora a saúde do solo e proporciona benefícios ambientais e econômicos adicionais (SOANE et al., 2012; WITTEWER et al., 2017).

A saúde do solo define-se como a capacidade contínua do solo de funcionar como um ecossistema vivo que sustenta plantas, animais e seres humanos. Quando administrado com outras práticas de conservação, como a diversificação do sistema de cultivo através da inclusão de culturas perenes e culturas de cobertura, o plantio direto pode aumentar o conteúdo da matéria orgânica, da biomassa microbiana e a atividade enzimática (SHARMA et al., 2013; KINOSHITA et al., 2017).

Alvarez e Steinbach (2009) mostraram que esses efeitos positivos observados são parcialmente favorecidos pelo aumento da biomassa produzida pelas culturas de cobertura. Além disso, os efeitos do plantio direto nos processos do solo e da ausência de incorporação de resíduos no solo contribuem para a diminuição da mineralização da matéria orgânica do solo. As práticas de manejo de conservação também podem estimular a formação e a preservação de agregados estáveis à água (BOTTINELLI et al., 2017), o que melhora a retenção e o movimento da água no sistema do solo (DAIRON et al., 2017). A longo prazo, o plantio direto também pode aumentar a continuidade e a conectividade dos poros do solo, o que afeta a difusão e a permeabilidade do ar no solo (MARTÍNEZ et al., 2016).

Segundo Silveira e Stone (1999), a produtividade do milho foi, na média dos seis anos, 9 e 7 % superior às obtidas no preparo com grade e no plantio direto, respectivamente, em um Latossolo Vermelho distrófico, no município de Santo Antônio de Goiás, sob preparo do solo com arado de aiveca; sem dúvida pela não ocorrência dos aspectos negativos da compactação subsuperficial (pé-de-grade) que se verifica no preparo com grade aradora e da compactação superficial que ocorre no plantio direto.

O preparo do solo com arado de aiveca forneceu produtividades de milho maiores ou similares às obtidas com o preparo com grade ou no plantio direto em Latossolo Roxo no Paraná (ALBINO e OLIVEIRA, 1992). Por outro lado, Bennati et al. (1984) no estado de São

Paulo, em Latossolo Roxo, e Zaffari et al. (1991) na Paraíba, em Latossolo Vermelho-Amarelo, não encontrou diferenças significativas em relação à produtividade do milho, entre a preparação do solo com arado de discos e a plantio direto.

Segundo resultados obtidos por Voceros e Lindstrom (1984), o solo sob plantio direto apresentou, após três a quatro anos, maior porosidade do que o preparo com arado de aiveca, em condições de clima temperado. O que se observa em plantio direto, quando o solo está constantemente coberto de material vegetal. Existe, então, uma forte concentração de matéria orgânica na camada superficial, favorecendo uma atividade biológica intensa, resultando em produtos que desempenham um papel na formação e estabilização (agentes cimentantes) dos agregados. A atividade conjunta dos microrganismos, da fauna e da vegetação tem efeitos benéficos nessa agregação, que se traduz em maior porosidade e menor densidade do solo.

Os sistemas de preparo do solo, segundo Silveira e Stone (2003), não tiveram efeito significativo sobre a produtividade da soja, na média dos seis anos, concordando com os resultados obtidos também por Kluthcouski et al. (2000). Mas Albino e Oliveira (1992) constataram do seu lado que o plantio direto e o preparo com arado contribuíram para produtividades de soja maiores ou equivalentes às obtidas com o preparo com grade.

Hernani et al. (1997) na região de Dourados (MS) e Santos et al. (2000) no Rio Grande do Sul, mostraram que, sob plantio direto, a produtividade do trigo foi superior à obtida com o preparo do solo com arado de disco, de aiveca, ou com grade aradora. Em contrapartida, Albino e Oliveira (1992) constataram que o plantio direto e a preparo com arado forneceram produtividades de trigo maiores ou similares às obtidas com o preparo com grade.

2.5. Rotação de culturas

Desde meados do século XIX, sabe-se que a absorção de nutrientes específica da planta influencia o tipo e a quantidade de nutrientes no solo após a colheita, afetando assim o rendimento da cultura subsequente cultivada no mesmo campo (LIEBIG et al. 1842, DAUBENY, 1845). A importância da disponibilidade de nutrientes, juntamente com a limitação do crescimento das plantas pelo recurso mais escasso, foi descrita por Liebig et al. (1842) e hoje é amplamente conhecido em agronomia como “Lei de Liebig do Mínimo”.

Mesmo sem uma compreensão profunda das relações físicas subjacentes, os agricultores desenvolveram práticas agrícolas apropriadas há séculos atrás para evitar a deficiência de nutrientes e aumentar os rendimentos, desenvolvendo o chamado sistema de três campos. O sistema de três campos é um exemplo histórico bem conhecido de um sistema agrícola da Idade Média e indica a importância dos efeitos da rotação de culturas (WRIGHTSON, 1921; ABEL, 1978).

A rotação de culturas descreve a sequência de diferentes culturas agrícolas cultivadas no mesmo campo. No cultivo de diferentes culturas em sequência cronológica, é possível obter efeitos positivos da safra atual para a próxima safra (BULLOCK, 1992).

Esses efeitos de rotação de culturas podem ser medidos fisicamente por experimentos de campo de longo prazo e são bem descritos em publicações científicas (CURL, 1963; BERZSENYI et al, 2000; KARLEN et al., 2013). Esses efeitos são importantes para a prática agrícola, em termos de planejamento de culturas e fornecimento de nutrientes para as plantas (BLANCO-CANQUI e LAL, 2009). Cientistas do solo veem uma relação clara entre rotações de culturas e sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (KARLEN et al., 1994, BALL et al., 2005, MUNKHOLM et al., 2013).

Silveira e Stone (2001) observaram-se, em relação às rotações de cultura, que as produtividades obtidas no cultivo anual de milho, soja ou trigo, não diferiram significativamente daquelas obtidas quando se utilizaram intervalos maiores de cultivo. Esses resultados concordam com os obtidos por Santos et al. (1994) para a soja no Paraná, e também por Santos et al. (1995) para o trigo. Mascarenhas et al. (1998) também observaram, no estado de São Paulo, que a produtividade da soja em monocultura ou em rotação não diferiu significativamente.

No entanto, Corrêa et al. (1986) para as culturas de milho e soja na região dos cerrados e Mascarenhas et al. (1993) para o milho no estado de São Paulo observaram resultados diferentes com aumentos da produtividade em cultivos bienais ou trienais em comparação ao cultivo anual. No Rio Grande do Sul, Santos et al. (1998) notaram também que o trigo semeado com apenas um inverno de rotação de culturas ou após o seu cultivo durante dois invernos consecutivos produz mais do que o trigo em monocultura contínua.

Fontaneli et al. (2000), em Passo Fundo, Estado do Rio Grande do Sul, observaram diferenças significativas no rendimento dos grãos de soja, devido ao tipo de cultura precedente (avaliações em 1992). Isto indica que os sistemas de rotação das culturas que envolvem a aveia branca, aveia preta pastejada, aveia preta + ervilhaca pastejada e trigo, utilizados como restos de inverno, apresentaram efeitos significativos sobre a soja, nesta variável. Contudo, para os anos seguintes (1993 a 1995) e para a média acumulada dos anos, as médias não foram significativamente diferentes entre si no que respeita ao rendimento dos grãos.

2.5. Rotação de culturas

Desde meados do século XIX, sabe-se que a absorção de nutrientes específica da planta influencia o tipo e a quantidade de nutrientes no solo após a colheita, afetando assim o rendimento da cultura subsequente cultivada no mesmo campo (LIEBIG *et al.* 1842, DAUBENY, 1845). A importância da disponibilidade de nutrientes, juntamente com a limitação do crescimento das plantas pelo recurso mais escasso, foi descrita por Liebig *et al.* (1842) e hoje é amplamente conhecido em agronomia como “Lei de Liebig do Mínimo”.

Mesmo sem uma compreensão profunda das relações físicas subjacentes, os agricultores desenvolveram práticas agrícolas apropriadas há séculos atrás para evitar a deficiência de nutrientes e aumentar os rendimentos, desenvolvendo o chamado sistema de três campos. O sistema de três campos é um exemplo histórico bem conhecido de um sistema agrícola da Idade Média e indica a importância dos efeitos da rotação de culturas (WRIGHTSON, 1921, ABEL, 1978).

A rotação de culturas descreve a seqüência de diferentes culturas agrícolas cultivadas no mesmo campo. No cultivo de diferentes culturas em seqüência cronológica, é possível obter efeitos positivos da safra atual para a próxima safra (BULLOCK, 1992). Por exemplo, a melhoria das condições fitossanitárias reduz a pressão de doenças e a infestação por parasitas. O raciocínio subjacente é a alteração de culturas que cria um intervalo de tempo em que nenhum hospedeiro está disponível para parasitas ou doenças específicas da cultura. Outro exemplo é a melhoria na disponibilidade de nutrientes da cultura subsequente. As culturas

estão usando diferentes nutrientes ou deixando diferentes nutrientes nos resíduos ou obtendo os nutrientes de diferentes horizontes do solo.

Esses efeitos de rotação de culturas podem ser medidos fisicamente por experimentos de campo de longo prazo e são bem descritos em publicações científicas (CURL, 1963, BERZSENYI et al, 2000, KARLEN et al., 2013). Eles são importantes para a prática agrícola, em termos de planejamento de culturas e fornecimento de nutrientes para as plantas (FORSYTH, 1804, WRIGHTSON, 1921, RUSSELL e RUSSELL, 1973, BLANCO-CANQUI e LAL, 2009). Cientistas do solo vêem uma relação clara entre rotações de culturas e sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (KARLEN et al., 1994, BALL et al., 2005, MUNKHOLM et al., 2013).

Silveira e Stone, 2001 observaram-se, em relação às rotações de cultura, que as produtividades obtidas no cultivo anual de milho, soja ou trigo, não diferiram significativamente daquelas obtidas quando se utilizaram intervalos maiores de cultivo. Esses resultados concordam com os obtidos por Santos et al. (1994) para a soja no Paraná, e também por Santos et al. (1995) para o trigo. Mascarenhas *et al.* (1998) também observaram, no estado de São Paulo, que a produtividade da soja em monocultura ou em rotação não diferiu significativamente.

No entanto, Corrêa et al. (1986) para as culturas de milho e soja na região dos cerrados e Mascarenhas et al. (1993) para o milho no estado de São Paulo observaram resultados diferentes com aumentos da produtividade em cultivos bienais ou trienais em comparação ao cultivo anual. No Rio Grande do Sul, Santos et al. (1998) notaram também que o trigo semeado com apenas um inverno de rotação de culturas ou após o seu cultivo durante dois invernos consecutivos produz mais do que o trigo em monocultura contínua.

Fontaneli et al. (2000), em Passo Fundo, Estado do Rio Grande do Sul, observaram diferenças significativas no rendimento dos grãos de soja, devido ao tipo de cultura precedente (avaliações em 1992). Isto indica que os sistemas de rotação das culturas que envolvem a aveia branca, aveia preta pastejada, aveia preta + ervilhaca pastejada e trigo, utilizados como restos de inverno, apresentaram efeitos significativos sobre a soja, nesta variável. Contudo, para os anos seguintes (1993 a 1995) e para a média acumulada dos anos,

as médias não foram significativamente diferentes entre si no que respeita ao rendimento dos grãos.

2.6. Sistemas integrados com Brachiaria

Sistema misto de exploração de lavoura e de pecuária, chamado sistema integrado lavoura-pecuária, têm chamado a atenção pelas vantagens que apresenta em relação aos sistemas isolados de agricultura ou de pecuária. Esse sistema é realizado depositando a semente da forrageira na linha de semeadura da cultura produtora de grãos, com objetivo de fornecer forragem para alimentação animal, durante o período da seca (após a colheita dos grãos), e palhada para viabilizar a semeadura direta na safra seguinte (BORGHI e CRUSCIOL, 2007).

Para ser viabilizada tecnicamente e economicamente, a semeadura direta não deve ser enfocada apenas como um método alternativo de semeadura ou manejo do solo. Necessita ser tratada como um sistema de produção, abrangendo um complexo ordenado de práticas agrícolas inter-relacionadas e interdependentes que incluem, além do não revolvimento do solo, a rotação diversificada de culturas, o uso de plantas de cobertura para formar e manter a palhada sobre o solo e, mais recentemente, a integração lavoura-pecuária (CRUSCIOL e BORGHI, 2007).

Segundo Andreotti et al. (2008), para a consolidação deste sistema, é de importância fundamental o estabelecimento de cultura para a produção de palha em quantidade adequada à cobertura do solo. No entanto, isto representa um problema sobretudo nas regiões mais quentes e sujeitas a restrições hídricas, devido à dificuldade dos estabelecimentos das culturas produtoras de palha e ao processo acelerado de decomposição desta última. Torna-se então necessário conhecer a espécie vegetal a utilizar no programa de consorciação de culturas no que respeita à sua produção de matéria seca e ao seu tempo de decomposição, porque estes interferem diretamente com a quantidade de palha no solo e, por conseguinte, com os seus atributos químicos, particularmente a CTC, que afetam diretamente a dinâmica de cátions no solo. De acordo com Silva et al. (2004), a interferência das forrageiras no estado nutricional da cultura e no rendimento dos grãos em sistemas de consórcio depende sobretudo das condições do solo, de clima, das cultivares e do manejo utilizado.

O objectivo de qualquer produtor de grão que utilize o sistema de plantio direto é a palha fornecida pelas forrageiras (LOPES et al., 2009), pois desempenha um papel importante de cobertura do solo na fase de implantação da cultura e ao longo do tempo. O sistema de plantio direto proporciona diversas vantagens, tais como a absorção, a retenção e o armazenamento de água no solo, o que explica o aumento da produtividade das culturas e o desenvolvimento das forragens. Mais umidade e menos temperatura do solo no sistema de plantação direta explicam os valores mais elevados de C no solo neste sistema (PERES et al., 2008).

Outro sistema que deve ser sublinhado é o de “Santa Fé” para o cultivo de culturas anuais, particularmente o milho, com forrageiras do gênero *Brachiaria*. Este sistema é realizado todos os anos, o plantio da forragem pode ser realizado ao mesmo tempo que a cultura anual ou entre 10 a 20 dias após emergência desta. Assim, o plano de actividades do produtor não necessita de ser alterado e não é necessário equipamento especializado para a sua implantação (SOUSA et al., 2008).

O desenvolvimento inicial das culturas anuais nestes sistemas exerce uma alta competição sobre as forragens, favorecendo o aumento da capacidade de produção dos grãos, fibras, carne, leite, madeira e agro-energia de baixo custo, em função da energia sinérgica criada entre árvores, pastagem e lavoura. Assim, o solo é manejado de forma sustentável e economicamente viável quando associado aos modelos mais especializados (NASCIMENTO e CARVALHO, 2011).

2.7. Cobertura morta

A cobertura morta é definida como uso de materiais vegetais que são aplicados a superfície do solo, ao contrário de materiais que são incorporados no perfil do solo (CHALKER-SCOTT, 2007). É uma técnica de conservação de água que aumenta a infiltração de água no solo, retarda a erosão do solo e reduz o escoamento superficial (ADEKALU et al., 2007). A cobertura morta é um método eficaz de manipular o ambiente de cultivo para aumentar o rendimento das culturas e melhorar a qualidade do solo, sendo controlando a temperatura, mantendo a umidade e reduzindo a evaporação do solo (CHAKRABORTY et al., 2008).

A cobertura morta exerce efeitos profundos nos microclimas, na produtividade agrônômica e no rendimento das culturas (ATREYA et al., 2008). Diversos trabalhos de pesquisa descreveram os impactos dos materiais de cobertura morta no ambiente agrícola. Os materiais de cobertura morta influenciam grandemente os microclimas que têm impactos positivos ou negativos na fisiologia das plantas e no rendimento das culturas. Descobriu-se que a cobertura morta aumentava o conteúdo de clorofila nas lavouras (YANG et al., 2006). Sekhon et al., (2005) encontraram aumento no teor de clorofila da folha de soja sob cobertura morta.

A camada da cobertura pode inibir certas doenças de plantas também. Segundo Stoner (1990), a cobertura morta com serradura aliviada a podridão da raiz (*Armillaria mellea*) e o uso de folhas de plantas de Brassica mostrou-se promissor na redução de vários lepidópteros e afídeos que habitam culturas de crucíferas. A redução de doenças foi significativamente correlacionada com o aumento da atividade biológica do solo (MCMILLEN, 2013).

A barreira física da cobertura morta reduz a germinação e a nutrição de muitas espécies de ervas daninhas. Assim, os materiais de cobertura, dependendo de suas características, podem suprimir as ervas daninhas, doenças, insetos e pragas. Segundo Moore et al. (1994), a cobertura morta com tritcale reduziu as plantas daninhas em comparação com o solo nu, e a redução das plantas daninhas impactou positivamente no rendimento da soja.

Embora a cobertura morta tenha muitas vantagens, ela tem algumas desvantagens. Às vezes, as coberturas naturais não são boas para o controle de ervas daninhas (BOYHAN et al., 2006). Certos tipos de cobertura, como palha, feno e grama contém sementes, que podem se tornar ervas daninhas. Materiais orgânicos de cobertura morta, como aparas de madeira e casca, podem ocorrer como acidificantes do solo (CHALKER-SCOTT, 2007).

Demasiada cobertura morta pode levar ao excesso de umidade, criando novos problemas, como pragas, condições anaeróbicas e apodrecimento das raízes que podem danificar as plantas. Palhas geralmente contaminam o solo e esgotar o nitrogênio da sementeira devido a seu alto ratio carbono/nitrogênio (KASIRAJAN e NGOUAJIO, 2012). Além disso, quando os materiais são ricos em carbono, como quando a palha ou os hastes são usados para cobertura morta, o nitrogênio do solo pode ser usado por microorganismos para

decompondo esses materiais. Assim, o nitrogênio pode estar temporariamente não disponível para crescimento de plantas (risco de imobilização de N).

2.8. Indicadores de qualidade do solo

Vários requisitos para os indicadores de qualidade do solo foram identificados em algumas abordagens (mas nem todas) para avaliar a qualidade do solo. Todas as publicações que listam tais requisitos mencionam pelo menos uma condição conceitual, tal como que um indicador escolhido deve estar relacionado a uma determinada ameaça do solo, função ou serviço ecossistêmico e ser relevante. No entanto, isso não é de grande utilidade se a avaliação da qualidade do solo não estiver direcionada para uma ameaça específica do solo, função ou serviço ecossistêmico.

2.8.1. Indicadores físicos (*Agregação do Solo*)

Segundo Grohmann (1972), nas condições naturais, as partículas primárias do solo são agrupadas em unidades compostas chamadas de agregados, que formam um arranjo com formas definidas, constituindo a estrutura do solo.

O cultivo do solo causa uma diminuição na estabilidade estrutural do horizonte de superfície devido tanto à fragmentação causada pelo preparo do solo quanto ao enfraquecimento das forças entre os constituintes minerais e orgânicos devido à evolução do ambiente físico-químico após o cultivo (CASTRO et al., 1999). Nóbrega et al. (2001) observaram que grandes quantidades de resíduos culturais com moderada relação C/N poderiam ajudar a estabilizar a estrutura do solo por períodos mais longos, atribuindo este efeito ao reforço interno dos agregados oriundos de secreções bacterianas.

Esse fato foi verificado por Campos et al. (1995), que relataram que compostos orgânicos e ação microbiana têm efeito sobre a estabilidade de agregados, devido à alta correlação entre o teor de carbono orgânico e a atividade microbiana com o diâmetro médio dos agregados. Para que os agregados sejam constituídos, é necessário que os colóides do solo sejam floculados e que todos os componentes do agregado sejam estabilizados por um agente cimentante (HILLEL, 1980). A intensificação da estabilidade dos agregados está intimamente ligada à capacidade da matéria orgânica de se juntar às partículas minerais do solo, criando as ligações argila-metal-húmicas (EDWARDS e BRENNER, 1967).

O plantio convencional é um dos principais impulsionadores da destruição do solo através da quebra física da estrutura do solo em comparação com o plantio mínimo (DUIKER e BEEGLE, 2006). Como resultado, o solo torna-se suscetível à erosão devido à desintegração dos agregados do solo (BRONICK e LAL, 2005). Embora o plantio convencional produza melhor distribuição estrutural do que a plantio mínimo e o plantio direto, os componentes da estrutura do solo no plantio convencional são muito fracos para resistir à folga da água, resultando em deterioração estrutural (SIX et al., 2000, VERHULST et al., 2010).

Na agricultura de conservação, o solo é protegido por cobertura permanente de resíduos e isso protege o solo do impacto da erosão da chuva, da água e do vento (SIX et al., 2000). No plantio convencional, não há proteção do solo pela cobertura do solo, o que aumenta as chances de destruição adicional.

2.8.2. Indicadores químicos (*Matéria orgânica e CTC*)

A matéria orgânica do solo é composta por uma mistura de resíduos de plantas e animais que estão em várias fases de decomposição, produtos de destruição, microrganismos, pequenos animais e seus restos decompostos (DEMÉTRIO, 1988). O ciclo da matéria orgânica é geralmente rápido e a taxa anual de humificação média dos materiais vegetais é de 10 a 20 %. Segundo Borges (1993), a taxa anual de mineralização é de cerca de 0,5 a 4 % e varia com o tipo de vegetação e clima.

A importância da matéria orgânica é grandemente reconhecida na literatura para os diferentes processos físicos, químicos e biológicos que desempenha ao nível do solo. Tem um papel determinante na nutrição mineral das plantas, devido às suas influências sobre as propriedades do solo. Portanto, aumenta a CTC e, por consequência, a retenção de nutrientes. Favorece a absorção de vários oligoelementos, melhorando a agregação, aumentando a retenção de água, diminuindo o efeito dos elementos tóxicos e contribuindo para o desenvolvimento dos microrganismos (CANTARELLA et al., 1992). A diminuição da matéria orgânica pode perturbar esses diferentes processos de forma drástica, o que pode comprometer o desempenho das funções do solo, causando desequilíbrios no sistema e, conseqüentemente, desencadeando o processo de degradação. Uma acumulação de matéria

orgânica no sistema pode ser realizada apenas se houver uma taxa de entrada de C superior à taxa de decomposição (RENATO et al., 2006).

A dinâmica da matéria orgânica está estreitamente ligada ao processo de degradação dos solos em ambientes tropicais (FELLER et BEARE, 1997). A permutação da vegetação nativa em zonas de produção agrícola pode diminuir consideravelmente os teores de matéria orgânica do solo (MOS), devido à menor fornecimento de resíduos e ao aumento da taxa de decomposição. O que leva ao aumento das perdas das camadas superficiais do solo por erosão (CHRISTENSEN, 2000; CARTER, 2001). A perda de MOS contribui para o processo de degradação favorecendo a desestruturação do sistema, provocando um aumento das perdas de nutrientes, uma diminuição das produções de biomassa, água e solo (RENATO et al., 2006).

Os sistemas de cultivo convencionais, que utilizam a aração e gradagem, são considerados como os sistemas com maior poder de degradação, o que resulta geralmente em uma redução dos teores de MOS (RECKE et al., 1999). Silva et al. (1994) utilizaram 220 amostras de três diferentes classes de solo da região do Cerrado, cultivados continuamente com soja e utilizando uma grade pesada. Grandes perdas de MOS foram encontrados em cinco anos de cultura. As reduções variaram entre 80, 76 e 41 % em relação aos teores iniciais para Neossolos Quartzarênicos (15 % de argila), Latossolos Vermelho Amarelos textura média (15-30 % de argila) e Latossolos Vermelho Amarelos argilosos (>30 % de argila), respectivamente. No entanto, outros estudos mostraram resultados diferentes com o cultivo convencional. Freitas et al., (2000) não observaram perdas de MOS após 25 anos de cultivo de culturas diversas (hortaliças, arroz, milho e feijão), em um Latossolo Vermelho distrófico.

O sistema de plantio direto afecta menos a taxa de decomposição de MOS, uma vez que não revolve o solo e deixa os resíduos vegetais à superfície, o que favorece a manutenção e a acumulação de MOS (BAYER e MIELNICZUK, 1999). Dado que a MOS está associada a atributos importantes da qualidade do solo, tais como a actividade biológica, a agregação do solo, o ciclo de nutrientes, a resistência à erosão, a dinâmica da água, etc., a sua preservação pelo sistema de plantio direto constitui uma das principais vantagens da utilização desse sistema. Alguns estudos demonstraram aumentos significativos dos níveis de MOS em

comparação com os sistemas convencionais (BAYER et al., 2000). Em outros estudos, não se observaram diferenças significativas entre estes sistemas (ROSCOE e BURHAN, 2003).

A disparidade observada nos resultados de pesquisa deve-se sobretudo às diferenças entre as condições experimentais e o sistema de plantio direto. Outro factor a considerar é o clima. Alguns estudos mostraram que, na região sul do Brasil, é observado geralmente aumentos significativos dos níveis de C no sistema de plantio direto (BAYER e MIELNICZUK, 1997; 1999), o que pode estar relacionado com as condições climáticas da região subtropical, onde as taxas de decomposição de C são mais baixas, em comparação com a região tropical como no Cerrado e na Amazônia (BAYER e MIELNICZUK, 1999).

Em contrapartida, experimentos realizados na região do Cerrado, em geral, não revelaram níveis significativamente mais elevados de C para o sistema de plantio direto em relação ao sistema convencional, o que pode ser atribuído ao aumento da intensidade do processo de decomposição da MOS em função das temperaturas elevadas (ROSCOE e BURHAN, 2003).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEL W. **Geschichte der deutschen Landwirtschaft vom frühen Mittelalter bis zum 19 Jahrhundert**, Ulmer, Stuttgart. 1978.

ADEKALU, K.; OLORUNFEMI, I.; OSUNBITAN, J. Grass mulching effect on infiltration, surface runoff and soil loss of three agricultural soils in Nigeria. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 4, p. 912–917, mar. 2007.

ALHAMEID, A.; IBRAHIM, M.; KUMAR, S.; SEXTON, P.; SCHUMACHER, T.E. Soil Organic Carbon Changes Impacted by Crop Rotational Diversity under No-Till Farming in South Dakota, USA. **Soil Science Society of America Journal**, v. 4, p. 868, 2017.

ALMEIDA, M. R. M. DE; GALVÃO, D. M. DE O.; BATISTA, N. C. S.; SILVA, A. A. G. DA; CARVALHO, H. W. L. DE. Relatório de avaliação dos impactos das tecnologias geradas pela Embrapa. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, p. 25, 2018.

ALVAREZ, R.; STEINBACH, H. S. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. **Soil and Tillage Research**, v. 104, n. 1, p. 1–15, jun. 2009.

ANDREOTTI, M.; ARALDI, M.; GUIMARÃES, V. F.; FURLANI, E.; BUZETTI, S. Produtividade do milho safrinha e modificações químicas de um latossolo em sistema plantio direto em função de espécies de cobertura após calagem superficial. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 109–115, 18 mar. 2008.

ARAÚJO, Q. R. DE. **Solo de Tabuleiros Costeiros e qualidade de vida das populações**. Ilhéus ed. [s.l.] Editus, Editora da UESC, 2000.

ARWYN JONES; PANOS PANAGOS; SARA BARCELO; FAYCAL BOURAOUI; CLAUDIO BOSCO; OLIVIER DEWITTE; FRANK VERHEIJEN; EVA VIESTOVA; YUSUF YIGINI. **The State of Soil in Europe: A contribution of the JRC to the European Environment Agency's Environment State and Outlook Report: SOER**. Luxembourg: European Union, 2012.

ATREYA, K.; SHARMA, S.; BAJRACHARYA, R. M.; RAJBHANDARI, N. P. Developing a sustainable agro-system for central Nepal using reduced tillage and straw mulching. **Journal of Environmental Management**, v. 88, n. 3, p. 547–555, 1 ago. 2008.

BALBINO, L.C.; OLIVEIRA, E.F. Efeito do sistema de preparo do solo no rendimento de grãos de trigo, soja e milho. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20, 1991, LONDRINA. **Anais...** Londrina: SBEA, v. 2, p. 1354–1360, 1992.

BARRETO, A. C.; FERREIRA, M. Cultivo de Milho Consorciado com Guandu em Sistema de Plantio Direto em Solos dos Tabuleiros Costeiros. **Circular Técnica**, 61. Embrapa, p. 6, 2010.

BAUMHARDT, R.; STEWART, B.; SAINJU, U. North American Soil Degradation: Processes, Practices, and Mitigating Strategies. **Sustainability**, v. 7, n. 3, p. 2936–2960, 11 mar. 2015.

BAYER, C.; J. MIELNICZUK; L. MARTIN-NETO; C.A. CERETTA. Effect of no-tillage cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil Tillage Res**, n. 54, p. 95–104, 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas**, v. 21, p. 105–112, 1997a.

_____. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: SANTOS, G. A; CAMARGO, F A O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. p. 9–26, 1999.

BENATTI JUNIOR, R.; BENATTI JUNIOR, R.; FRANÇA, G.V. Avaliação dos efeitos de sistemas de cultivo na produção de milho e nas propriedades edáficas em Latossolo Roxo, no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas**, v. 8, n. 1, p. 139–144, 1984.

BERTOL, I. **Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas de solo**. Porto Alegre (RS), Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, maio 1995.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 409–418, set. 1997.

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livrocere ed. Sao Paulo: Embrapa Milho e Sorgo (CNPMS), 1985.

BERZSENYI, Z.; GYÓRFFY, B.; LAP, D. Effect of crop rotation and fertilisation on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment. **European Journal of Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 225–244, 1 jul. 2000.

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Crop Residue Removal Impacts on Soil Productivity and Environmental Quality. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 28, n. 3, p. 139–163, 3 abr. 2009.

BOLLIGER, A.; MAGID, J.; AMADO, J. C. T.; SKÓRA NETO, F.; RIBEIRO, M. DE F. DOS S.; CALEGARI, A.; RALISCH, R.; NEERGAARD, A. DE. Taking Stock of the Brazilian “Zero-Till Revolution”: A Review of Landmark Research and Farmers’ Practice. In: **Advances in Agronomy**. [s.l.] Academic Press, 2006. v. 91p. 47–110.

BORGES, G.O. Resumo histórico do plantio direto no Brasil. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Plantio direto no Brasil. Passo Fundo, Fundação ABC / Aldeia Norte. p. 13–18, 1993.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 163–171, fev. 2007.

BOTTINELLI, N.; ANGERS, D. A.; HALLAIRE, V.; MICHOT, D.; LE GUILLOU, C.; CLUZEAU, D.; HEDDADJ, D.; MENASSERI-AUBRY, S. Tillage and fertilization practices affect soil aggregate stability in a Humic Cambisol of Northwest France. **Soil and Tillage Research**, v. 170, p. 14–17, jul. 2017.

BOUWMAN, A. F.; BEUSEN, A. H. W.; BILLEN, G. Human alteration of the global nitrogen and phosphorus soil balances for the period 1970-2050: NITROGEN AND PHOSPHORUS SOIL BALANCES. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 23, n. 4, p. 16, dez. 2009.

BOYHAN, G. E.; HICKS, R.; HILL, C. R. Natural Mulches Are Not Very Effective for Weed Control in Onions. **HortTechnology**, p. 523–526, jan. 2006.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1–2, p. 3–22, jan. 2005.

BULLOCK, D. G. Crop rotation. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 11, n. 4, p. 309–326, 1 jan. 1992.

CALEGARI, A.; HARGROVE, W. L.; RHEINHEIMER, D. D. S.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S. DE; FÁTIMA GUIMARÃES, M. DE. Impact of Long-Term No-Tillage and Cropping System Management on Soil Organic Carbon in an Oxisol: A Model for Sustainability. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 4, p. 1013, 2008.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 242–249, out. 2010.

CAMPOS B. C. DE; REINET D.J.; NICOLODI R.; RUEDELL J.; PETRERE C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **R. bras. Ci. Solo. Campinas**, n. 19, p. 121–126, 1995.

CANTARELLA, H.; ABREU, C. DE; BERTON, R. S. Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo. **Encontro sobre matéria orgânica do solo: problemas e soluções**, p. 63–122, 1992.

CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. **Sustainable management of soil organic matter**, p. 9–22, 2001.

CARVALHO, D. F. DE; MONTEBELLER, C. A.; CRUZ, E. S. DA; CEDDIA, M. B.; LANA, Â. M. Q. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 385–389, dez. 2002.

CARVALHO, H. W. L. DE; CARDOSO, Milton José; LEAL, Maria de Lourdes da Silva dos; SANTOS, Manoel Xavier; TABOSA, José Nildo; SOUZA, Evanildes Menezes de. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho no nordeste brasileiro. **Pesq. agropec. bras.**, p. 7, 2005.

CASTRO, O. M. DE; CAMARGO, O. A. DE; VIEIRA, S. R.; FILHO, J. V. Effect of two types of lime on some soil physical attributes of an oxisol from Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 30, n. 15–16, p. 2183–2195, set. 1999.

CHAKRABORTY, D.; NAGARAJAN, S.; AGGARWAL, P.; GUPTA, V. K.; TOMAR, R. K.; GARG, R. N.; SAHOO, R. N.; SARKAR, A.; CHOPRA, U. K.; SARMA, K. S. S.; KALRA, N. Effect of mulching on soil and plant water status, and the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semi-arid environment. **Agricultural Water Management**, v. 95, n. 12, p. 1323–1334, dez. 2008.

CHALKER-SCOTT, L. Impact of Mulches on Landscape Plants and the Environment — A Review. **Journal of Environmental Horticulture**, v. 25, n. 4, p. 239–249, 1 dez. 2007.

CHRISTOFFEL DEN BIGGELAAR; RATTAN LAL; HARI ESWARAN; VINCE BRENEMAN; PAUL REICH. Crop yield losses to soil erosion at regional and global scales: Evidence from plot-level and GIS data. **Land Quality, Agricultural Productivity, and Food Security**. p. 262–279, 2003.

CORRÊA, L. A.; SILVA, A. F.; CRUZ, J. C.; SILVA, B. G.; COELHO, A. M. Sistema de produção de milho em monocultivo. **Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo**, p. 99–101, 1986.

CRUSCIOL, C.; BORGHI, E. Consórcio de milho com braquiária: produção de forragem e palhada para o plantio direto. 2007.

CUENCA, M. A. G.; NAZÁRIO, C. C.; MANDARINO, D. C. Aspectos Agroeconômicos da Cultura do Milho: Características e Evolução da Cultura no Estado de Sergipe entre 1990 e 2003. p. 29, 2005.

CURL, E. A. Control of plant diseases by crop rotation. **The Botanical Review**, v. 29, n. 4, p. 413–479, 1 out. 1963.

DAIRON, R.; DUTERTRE, A.; TOURNEBIZE, J.; MARKS-PERREAU, J.; CARLUER, N. Long-term impact of reduced tillage on water and pesticide flow in a drained context. **Environ Sci Pollut Res**, 2017.

DAUBENY C. Memoir on the rotation of crops, and on the quantity of inorganic matters abstracted from the soil by various plants under different circumstances. **Philos. Trans. R. Soc. Lond**, n. 135, p. 179–252, 1845.

DAVID PIMENTEL. **World Soil Erosion and Conservation**. Ecology and Conservation, Life Sciences ed. USA: Cambridge University Press, 1993.

DECAËNS, T.; JIMÉNEZ, J. J.; GIOIA, C.; MEASEY, G. J.; LAVELLE, P. The values of soil animals for conservation biology. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. S23–S38, nov. 2006.

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. DE F.; MARIA, I. C. D. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p. 224–233, abr. 2015.

DEMATTÊ, J. L. I.; MAZZA, J. A.; DEMATTÊ, J. A. M. Caracterização e gênese de uma topossequência latossolo amarelo-podzol originado de material da formação barreiras - estado de alagoas. **Scientia Agricola**, v. 53, n. 1, p. 20–30, jan. 1996.

DEMÉTRIO, R. Efeitos da aplicação de matéria orgânica sobre a biomassa-C microbiana do solo e o crescimento e absorção de nitrogênio em milho (*Zea mays* L.). 1988.

DUIKER, S. W.; BEEGLE, D. B. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. **Soil and Tillage Research**, v. 88, n. 1, p. 30–41, 1 jul. 2006.

EDWARDS, A.P.; BREMNER, J.M. Microaggregates in soils. **J. Soil Sci.**, v. 18, p. 64–73, 1967.

EMBRAPA. **Plano diretor do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros (CPATC)**. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros, , 1994.

ETENE. **Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste**, 2018. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/documents/80223/3732326/Informe_Agronegocio_01_Ago2018.pdf/9c0f9315-e069-9b42-08de-03330f7fee16>. Acesso em: 8 jul. 2019

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, n. 1–4, p. 69–116, 1997.

FOLEY, J. A. *et al.* Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337–342, out. 2011.

FONTANELI, R.S.; SANTOS, H.P.; VOSSO, M.; AMBROSI, I. Rendimento e nodulação de soja em diferentes rotações de espécies anuais de inverno sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 35, n. 2, p. 349–355, 2000.

FREITAS, P. L. DE; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M.-C.; FELLER, C. Nature and level of organic stock in clayey oxisols under different land use and management systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 157–170, jan. 2000.

GROHMANN, F. Superfície específica do solo de unidades de mapeamento do estado de São Paulo: I - Estudo de perfis com horizonte B textural e horizonte B latossólico. **Bragantia**, v. 31, n. ÚNICO, p. 145–165, 1972.

HARRIS, R.F.; BEZDICEK, D.F. Descriptive aspects of soil quality/health. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. Defining soil quality for a sustainable environment. **Madison, SSSA**, v. 35, p. 23–35, 1994.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um latossolo roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 4, p. 667–676, dez. 1997.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York: Academic Press, 1980.

IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola | **Estatísticas**, 2011.

_____. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola | **Estatísticas**, 2012.

_____. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola | **Estatísticas**, 2018.

JENNY, H. Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology. **Dover Publications, New York**, p. 281, 1941.

KARLEN, D. L.; CAMBARDELLA, C. A.; KOVAR, J. L.; COLVIN, T. S. Soil quality response to long-term tillage and crop rotation practices. **Soil and Tillage Research**, v. 133, p. 54–64, 1 out. 2013.

KASIRAJAN, S.; NGOUAJIO, M. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 2, p. 501–529, abr. 2012.

KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R.; KIENZLE, J. Overview of the Worldwide Spread of Conservation Agriculture. **Field Actions Science Reports**, n. Vol. 8, 6 out. 2015.

KINOSHITA, R.; SCHINDELBECK, R. R.; VAN ES, H. M. Quantitative soil profile-scale assessment of the sustainability of long-term maize residue and tillage management. **Soil and Tillage Research**, v. 174, p. 34–44, dez. 2017.

KLUTHCOUSKI, J. ET AL. Sistema Santa Fé – Tecnologia Embrapa: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional. **Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão**, p. 28, 2000.

KUMAR, S.; DWIVEDI, S. K.; KUMAR, R.; MISHRA, J. S.; SINGH, S. K.; PRAKASH, V.; BHATT, B. P. Productivity and energy use efficiency of wheat (*triticum aestivum*) genotypes under different tillage options in rainfed ecosystem of middle indo-gangetic plains. **Indian Journal of Agronomy**, v. 1, n. 62, p. 31–38, 2017.

LAL, R. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 70, n. 3, p. 55A-62A, 5 jan. 2015.

LAL, R.; STEWART, B. A. Soil degradation: A global threat. **Advances in Soil Science**, v. 11, p. 129–172, 1990.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The Dynamics of Soil Quality as a Measure of Sustainable Management, In *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Special Publication 35. **Soil Science Society of America and American Society of Agronomy**, p. 37–51, 1994.

LIEBIG J.; PLAYFAIR L.P.; WEBSTER J.W. **Chemistry in its Application to Agriculture and Physiology**. J. Owen, 1842.

LOPES, J. P.; MACHADO, E. C.; DEUBER, R.; MACHADO, R. S. Análise de crescimento e trocas gasosas na cultura de milho em plantio direto e convencional. **Bragantia**, v. 68, n. 4, p. 839–848, 2009.

MARTÍNEZ, I.; CHERVET, A.; WEISSKOPF, P.; STURNY, WG.; ETANA,; STELLER, M.; FORKMANN, J.; KELLER, T. Two decades of no-till in the Oberacker long-term field experiment: Part 1. Crop yield, soil organic carbon and nutrient distribution in the soil. **Soil Tillage Res.**, p. 141–151, 2016.

MASCARENHAS, H. A. A.; NAGAI, V.; GALLO; PEREIRA, J. C. V. N. A.; TANAKA, R. T. Sistemas de rotação de culturas de milho, algodão e soja e seu efeito sobre a produtividade. **Bragantia**, v. 52, n. 1, p. 53–61, 1993.

MASCARENHAS, H. A. A.; NOGUEIRA, S. S. S.; TANAKA, R. T.; MARTINS, A. L. M.; CARMELLO, Q. A. C. The effect of crotalaria cropped in the winter and of crop rotation on the yield of summer crops. **Scientia Agricola**, v. 55, n. 3, p. 534–537, 1998.

MCMILLEN, M. The Effect of Mulch Type and Thickness on the Soil Surface Evaporation Rate. **Horticulture and Crop Science**, 1 jun. 2013.

MELLAND, A. R.; ANTILLE, D. L.; DANG, Y. P. Effects of strategic tillage on short-term erosion, nutrient loss in runoff and greenhouse gas emissions. **Soil Research**, v. 55, n. 3, p. 201–214, 26 abr. 2017.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; WALLING, D. E.; REICHERT, J. M. Changing sediment yield as an indicator of improved soil management practices in southern Brazil. **CATENA**, Sediment Sources and Sediment Delivery under Environmental Change. v. 79, n. 3, p. 228–236, 15 dez. 2009.

MONTANARELLA, L. *et al.* **Status of the World's Soil Resources**: food and agriculture organization of the United Nations (FAO). p. 94, 2015.

MOORE, M. J.; GILLESPIE, T. J.; SWANTON, C. J. Effect of Cover Crop Mulches on Weed Emergence, Weed Biomass, and Soybean (*Glycine max*) Development. **Weed Technology**, v. 8, n. 3, p. 512–518, set. 1994.

MUNKHOLM, L. J.; HECK, R. J.; DEEN, B. Long-term rotation and tillage effects on soil structure and crop yield. **Soil and Tillage Research**, v. 127, p. 85–91, mar. 2013.

NASCIMENTO, R. S.; CARVALHO, N. L. Integração lavoura-pecuária. **Monografias ambientais** – REMOA/UFSM, Santa Maria, v. 4, n. 4, p. 828–847, 2011.

NÓBREGA, J. C. A.; LIMA, J. M. DE; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; MOTTA, P. E. F. DA. Fosfato e micorriza na estabilidade de agregados em amostras de latossolos cultivados e não-cultivados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1425–1435, nov. 2001.

OLIVEIRA, J. O. A. P.; VIDIGAL FILHO, P. S.; TORMENA, C. A.; PEQUENO, M. G.; SCAPIM, C. A.; MUNIZ, A. S.; SAGRILO, E. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 443–450, jun. 2001.

OLIVEIRA, O. S. **Relações entre tecnologia e sustentabilidade da produção de milho em Sergipe a partir de indicadores Biológicos da qualidade do solo**. São Cristóvão: UFS, 2011. P. 105. (Dissertação – Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão/SE. 2011.

PACHECO, C. A. P.; HELIO, W. L. DE C. O milho em Sergipe. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**. Sergipe, 2012.

PAIVA, A. D. Q.; SOUZA, L. D. S.; RIBEIRO, A. C.; COSTA, L. M. D. Propriedades físico-hídricas de solos de uma toposseqüência de tabuleiro do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 11, p. 2295–2302, nov. 2000.

PANSAK, W.; HILGER, T. H.; DERCON, G.; KONGKAEW, T.; CADISCH, G. Changes in the relationship between soil erosion and N loss pathways after establishing soil conservation systems in uplands of Northeast Thailand. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 128, n. 3, p. 167–176, 1 nov. 2008.

PERES, R.M.; GUERRA, P.; REZENDE, G. **Integração Lavoura-Pecuária**. In: Encontro técnico sobre leguminosas. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 2008.

POSSAS, M. L.; FILHO, S. S.; SILVEIRA, J. M. DA. Um enfoque evolucionário à inovação tecnológica na agricultura: considerações preliminares. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 11, n. 1/3, p. 9–31, 1 jan. 1994.

PROCÓPIO, S. DE O.; FERNANDES, M.F. **Desafios para aumentar a produtividade e a sustentabilidade da produção de grãos na região dos tabuleiros costeiros do Nordeste**. 2010.

RENATO ROSCOE; FÁBIO MARTINS MERCANTE; JULIO CESAR SALTON. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**: modelagem matemática e métodos auxiliares. MS: Dourados, 2006.

RESCK, D.; VASCONCELLOS, C. A.; VILELA, L.; MACEDO, M. Impact of conversion of Brazilian Cerrado to cropland and pastureland on soil carbon pool and dynamics. **Global Climate Change and Tropical Ecosystems**, p. 169–196, 1999.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 70, n. 2, p. 107–119, abr. 2003.

SANTOS, H. P. D.; LHAMBY, J. C. B.; PRESTES, A. M.; LIMA, M. R. D. Efeito de manejos de solo e de rotação de culturas de inverno no rendimento e doenças de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 12, p. 2355–2361, dez. 2000.

SANTOS, H.P. DOS; IGNACZAK, J.C.; LHAMBY, J.C.B.; WOBETO, C. Análise econômica de quatro sistemas de rotação de culturas para trigo, num período de dez anos, em Passo Fundo, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 9, p. 1167–1175, 1995.

SANTOS, H.P. DOS; LHAMBY, J.C.B.; PRESTES, A.M.; REIS, E.M. Características agronômicas e controle de doenças radiculares de trigo, em rotação com outras culturas de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 33, n. 3, p. 277–288, 1998.

SANTOS, H.P. DOS; PEREIRA, L.R.; REIS, E.M. Rotação de culturas em Guarapuava. XIII. Efeitos de sistemas de sucessão de culturas sobre o rendimento de grãos e sobre outras

características agronômicas de soja, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 29, n. 6, p. 907–916, 1994.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR, A. A. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 427–436, jun. 2000.

SEKHON, N. K.; HIRA, G. S.; SIDHU, A. S.; THIND, S. S. Response of soybean (*Glycine max* Mer.) to wheat straw mulching in different cropping seasons. **Soil Use and Management**, v. 21, n. 4, p. 422–426, 1 dez. 2005.

SHARMA, P.; SINGH, G.; SINGH, R. P. Conservation tillage and optimal water supply enhances microbial enzyme (glucosidase, urease and phosphatase) activities in fields under wheat cultivation during various nitrogen management practices. **Archives of Agronomy and Soil Science**. v. 59, p. 911–928, 2013.

SILVA, A. A.; JAKELAITIS, A.; FERREIRA, L. R. Manejo de plantas daninhas no Sistema Integrado Agricultura-Pecuária. **Manejo integrado: integração agricultura-pecuária**, p. 117–170, 2004.

SILVA, C. G. DA; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F. DE. Atributos físicos, químicos e erosão entressulcos sob chuva simulada, em sistemas de plantio direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 144–153, abr. 2005.

SILVA, F. B. R.; RICHE, G. R.; TONNEAU, J. P.; SOUZA NETO, N. C. DE; BRITO, L. T. DE L.; CORREIA, R. C.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B. DA; SILVA, A. B. DA; ARAÚJO FILHO, J. C. DE; LEITE, A. P. **Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e grossocioeconômico Petrolina**: EMBRAPA-CPATSA; Recife: EMBRAPA-CNPS, Coordenadoria Regional Nordeste, , 1993.

SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 18, p. 541–547, 1994.

SILVEIRA, P. M. DA; STONE, L. F. Tillage systems and crop rotation on yield of corn, soybean and wheat. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 240–244, ago. 2003.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P. DOS; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 76, n. 1, p. 39–58, 1 mar. 2004.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, n. 14, p. 2099–2103, dez. 2000.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; LIMA, C. V. S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; CARVALHO, P. C. F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas**, v. 32, p. 1273–1282, 2008.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. DA. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 1, p. 83–91, jan. 1999.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do solo*. **Viçosa**, v. 25, n. 2, p. 395–401, 2001.

UNGER, P. W. Infiltration of Simulated Rainfall: Tillage System and Crop Residue Effects. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 1, p. 283, 1992.

VERHULST, N.; GOVAERTS, B.; VERACHTERT, E.; CASTELLANOS-NAVARRETE, A.; MEZZALAMA, M.; C, W.; DECKERS, J.; D SAYRE, K. Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems? *In: Advances in Soil Science: Food Security and Soil Quality*. [s.l: s.n.]. p. 137–208.

VOORHEES, W. B.; LINDSTROM, M. J. Long-Term Effects of Tillage Method on Soil Tilth Independent of Wheel Traffic Compaction 1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, n. 1, p. 152, 1984.

WITTEWER, R. A.; DORN, B.; JOSSI, W.; HEIJDEN, M. G. A. VAN DER. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 41911, dez. 2017.

YANG, Y.; LIU, X.; LI, W.; LI, C. Effect of different mulch materials on winter wheat production in desalinized soil in Heilonggang region of North China. **Journal of Zhejiang University SCIENCE B**, v. 7, n. 11, p. 858–867, nov. 2006.

ZAFFARONI, E.; BARROS, H.H. DE A.; NÓBREGA, J.A.M.; LACERDA, J.T. DE; LACERDA, J.T. DE. Efeito de métodos de preparo do solo na produtividade e outras características agrônômicas de milho e feijão no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas**, v. 15, n. 1, p. 99–104, 1991.

ZALIDIS, G.; STAMATIADIS, S.; TAKAVAKOGLU, V.; ESKRIDGE, K.; MISOPOLINOS, N. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the

Mediterranean region and proposed assessment methodology. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 88, n. 2, p. 137–146, fev. 2002.

4. ARTIGO

IMPACTO DE PRÁTICAS AGRÍCOLAS SOBRE A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE SOLOS CAULINÍTIOS DOS TABULEIROS COSTEIROS

Periódico a ser submetido): Revista Brasileira de Ciência do Solo

RESUMO

A proposição de sistemas de produção que minimizem o impacto sobre o solo e maximizem a utilização de água pelas culturas é essencial para a manutenção da produção de grãos no Agreste dos tabuleiros costeiros. O objetivo deste trabalho foi quantificar o efeito de diferentes práticas agrícolas sobre a qualidade do solo e a produtividade de milho e soja na região. Dez tratamentos de um experimento em blocos casualizados (4 repetições), conduzido há oito anos em Nossa Senhora das Dores, SE, foram combinados em contrastes ortogonais em análise de variância. Os contrastes compararam os efeitos da cultura (milho vs. soja), método de preparo do solo (convencional, PC, vs. plantio direto, PD), sistema de cultivo (monocultura vs. rotação), integração do milho com braquiárias (com vs. sem integração) e espécie de braquiária em integração (*B. decumbens* vs. *B. ruziziensis*). Amostras de solo foram coletadas (0 a 20 cm de profundidade) em três épocas em 2018, e analisadas quanto a estabilidade em água (EAA), diâmetro médio (DMA) de agregados do solo e teor de matéria orgânica (MOS). Para a análise de variância utilizaram-se as médias das três amostragens. As produtividades de milho e soja foram determinadas em 2017 e 2018. O preparo do solo foi a única prática agrícola com efeito sobre a EAA, explicando 84% da variabilidade associada aos tratamentos. Menores valores desta variável foram encontrados sob PC. O efeito deletério de PC também ocorreu sobre DMA, porém menos expressivo (35% da variabilidade associada aos tratamentos), e apenas sob monocultivo. O efeito das práticas agrícolas sobre a produtividade das culturas dependeu dos regimes de precipitação nos anos avaliados. Sob restrição hídrica, não houve diferença entre PC e PD quanto a produtividade de milho; porém, sob boa distribuição de chuvas, PC foi 17% superior a PD. A rotação milho/soja, em sistemas integrados ou não a braquiárias, reduziu a perda de produtividade do milho, quando observada sob PD. A integração de braquiária com milho incrementou as produtividades de milho (45%) e soja (135%) em ano com restrição hídrica, antecedido por ano chuvoso. Embora o preparo do solo e, em menor extensão a rotação em PC, sejam as únicas práticas a impactar a qualidade do solo após oito anos de cultivo, a integração de braquiárias, o preparo do solo e a rotação de culturas impactam expressivamente a produtividade de milho e soja, sendo este efeito fortemente dependente do regime de chuvas nos anos de cultivo.

Palavras-chave: plantio convencional, plantio direto, rotação de culturas, integração, milho, soja

ABSTRACT**IMPACT OF AGRICULTURAL PRACTICES ON GRAIN YIELD AND PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF KAOLINITIC SOILS ON THE COASTAL TABLELANDS.**

The proposition of agriculture production systems that minimize the impact on the soil quality and maximize the use of water by the crops is essential for the maintenance of the grain production in the Agreste of the coastal tablelands in Northeastern Brazil. The objective of this work was to quantify the effect of different agricultural practices on soil quality and corn and soybean yield in the region. Ten treatments of a randomized block experiment (4 replications), carried out for eight years Nossa Senhora das Dores, Sergipe State, Brazil, were combined in orthogonal contrasts in an analysis of variance. The contrasts compared the effects of the crop (corn versus soybean), soil tillage method (conventional, CT, vs. no-tillage, NT), cultivation system (monoculture vs. crop rotation), integration of corn with brachiaria(with or without integration) and species of brachiaria in integration (*B. decumbens* vs. *B. ruziziensis*). Soil samples were collected (0 to 20 cm depth) in three seasons in 2018, and analyzed for water aggregate stability (WAS), mean diameter of soil aggregate (DSA) and soil organic matter content (SOM). For the analysis of variance the means of the three samplings were used. The corn and soybean yields were determined in 2017 and 2018. Soil tillage method was the only agricultural practice with effect on WAS, explaining 84% of the variability associated with the treatments. Lower values of this variable were found under CT. The deleterious effect of CT also occurred on DSA, but less expressive (35 % of the variability associated with treatments), and only under monoculture. The effect of agricultural practices on crop productivity depended on precipitation regimes in the evaluated years. Under water restriction, there was no difference between CT and NT regarding corn productivity; however, under good rainfall distribution CT was 17 % higher than NT. The corn / soybean rotation, in systems either with or without integration with *Brachiaria*, reduced the yield loss of corn, when this was observed under NT. The integration of *Brachiaria* increased the yield of corn (45 %) and soybean (135 %) in year with water restriction, preceded by rainy year. Although soil tillage method and, to a lesser extent, crop rotation under CT, are the only practices impacting soil quality after eight years of cultivation, the integration of *Brachiaria*, soil tillage method and crop rotation significantly impact the productivity of corn and soybean. However, the size and direction of this effect on crop productivity is strongly dependent on the rainfall regime in the years of cultivation.

Key-words: conventional tillage, no-till, crop rotation, crop integration; corn, soybean.

4.1. Introdução

Os solos cauliniticos compreendem mais de 70 % dos solos agricultáveis de baixa altitude nos trópicos e são caracterizados pelo alto grau de intemperismo, pela presença de um horizonte superficial de textura arenosa a franco-arenosa e de um horizonte B argiloso, e pela dominância da caulinita (>90 %) na fração argila (JUO e FRANZLUEBBERS, 2003). Esses solos abrangem extensas áreas nas regiões subúmidas do leste e oeste africano, do sudoeste da Índia e da região Nordeste do Brasil, essencialmente nos tabuleiros costeiros (HAYNES, 1970; JUO e FRANZLUEBBERS, 2003).

O potencial agrícola destes solos é moderado, em função de características como fraca agregação e baixos teores de matéria orgânica e de nutrientes (GOMES *et al.*, 2012). Deste modo, o manejo do solo através de práticas agrícolas que conjuguem sistemas de cultivo com alto aporte de resíduos e baixo revolvimento mecânico do solo são essenciais para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas implantados nestes solos (NYAMADZAWO *et al.*, 2009; FERNANDES *et al.*, 2011; GOMES *et al.* 2012).

O Agreste e o Sertão de Sergipe são importantes polos regionais de produção de milho. Entre 2003 e 2017, a produção de milho saltou de 81 para 815 mil t, um aumento de cerca de 900 %. O incremento na produção está associado ao crescimento de 30 % da área plantada, que passou de cerca de 124 mil para 160 mil ha no período analisado. Apesar deste elevado aumento de produção, os métodos de preparo de solo convencionais e o sistema de cultivo com monocultura do milho são dominantes, o que pode comprometer, no longo prazo, a sustentabilidade das explorações agrícolas da região (IBGE, 2018).

Diversos autores têm relatado que a superioridade do plantio direto (PD) em relação ao plantio convencional (PC) é expressa tanto em termos econômicos, através de ganhos de produtividade em diversas culturas, quanto em termos de conservação do solo, pela melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas (NANDAN *et al.*, 2018; XIAO *et al.*, 2019).

A redução da qualidade do solo em função do preparo intensivo e do baixo aporte de resíduos tem sido associada ao decréscimo de produtividade de milho em trabalhos nos tabuleiros costeiros de Sergipe (FERNANDES *et al.*, 2011; BARRETO *et al.*, 2012). Chaer *et al.* (2009) demonstraram experimentalmente que o uso sucessivo de operações de revolvimento do solo (aração e gradagem) afetaram negativamente diversas propriedades físicas e químicas relacionadas às principais funções do solo (armazenamento e fluxo de água no solo, armazenamento e suprimento de nutrientes, trocas gasosas e atividade biológica). Experimentos de longo prazo demonstraram alto potencial de sequestro de carbono com plantio direto associado ao uso de culturas de cobertura e rotação de culturas (BOLLIGER *et al.*, 2006).

Parte do problema para a adoção do sistema plantio direto nos tabuleiros costeiros se deve ao regime pluviométrico que restringe o período de exploração a uma safra, dificultando o cultivo de coberturas vegetais na entressafra. Uma alternativa a isto pode ser o uso de consórcios entre plantas que apresentem alta complementaridade temporal (WILLEY, 1979), como é o caso do milho com as braquiárias, plantados simultaneamente, a exemplo do que se observa nos modelos de integração lavoura-pecuária (VILELA et al., 2011; CHIODEROLI et al., 2012; PARIZ et al., 2017).

O crescimento de braquiárias e a suspensão de operações de preparo do solo resultam em recuperação de variáveis relacionadas à estrutura do solo, após três anos, a valores idênticos aos encontrados em área de mata utilizada como referência (FERNANDES et al., 2011).

É importante ressaltar que estudos recentes com soja na região têm mostrado um potencial satisfatório de produtividade desta cultura, o que a torna uma alternativa viável para compor sistemas de produção em rotação com o milho, proporcionando a diversificação da agricultura local (PROCÓPIO et al., 2017).

Diante do exposto, hipotetiza-se que o manejo adequado do solo e da cobertura vegetal, que propiciem o uso eficiente da água pelas culturas e promovam melhorias das propriedades do solo, contribuem para manter ou elevar a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas de produção de grãos nos tabuleiros costeiros do Nordeste brasileiro.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi quantificar o efeito de diferentes práticas agrícolas sobre variáveis físicas e químicas do solo e sobre a produtividade de milho e soja nos tabuleiros costeiros do Agreste de Sergipe.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na Estação Experimental Jorge Sobral da Embrapa Tabuleiros Costeiros, em Nossa Senhora das Dores, região Agreste de Sergipe (SE), com coordenadas geográficas 10°29'30''S e 37°11'36''O, e altitude média de 204 m. A área experimental possui um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, de textura argilosa e o relevo é ondulado (EMBRAPA, 2013). A temperatura média anual é de 26 °C e a precipitação de 1.150 mm por ano. Os valores de precipitação por decêndios dos anos de 2016 a 2018, bem como as médias históricas entre 2001 e 2018, são apresentadas na Figura 1. Na camada de 0 a 20 cm de profundidade, o solo da área analisada apresenta teor de matéria orgânica de 18.26 g kg⁻¹ e pH em água de 5.13.

O experimento foi instalado em 2012 e constituído de 10 tratamentos, conforme a Tabela 1, e quatro repetições dispostas no delineamento em blocos ao acaso.

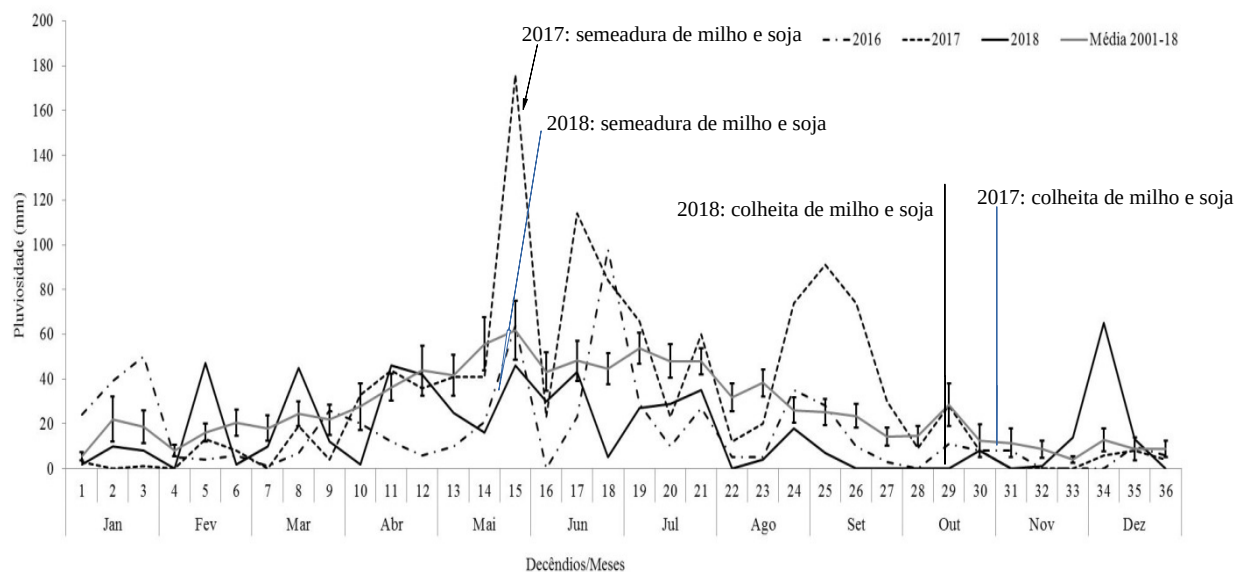


Figura 1. Precipitação pluviométrica por decêndios dos anos de 2016 a 2018 e médias históricas de 2001 a 2018 no Campo Experimental Jorge Sobral, Nossa Senhora das Dores, SE. Barras de erros expressam o E.P. da média histórica.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos utilizados no experimento

Tratamento	Descrição
T1: PC M	Monocultura de milho com preparo convencional do solo
T2: PC S	Monocultura de soja com preparo convencional do solo
T3: PC M/S	Rotação entre milho e soja com preparo convencional do solo
T4: PD M	Monocultura de milho com plantio direto
T5: PD S	Monocultura de soja com com plantio direto
T6: PD M/S	Rotação entre milho e soja com plantio direto
T7: M+Bd	Milho integrado com <i>B. decumbens</i> em plantio direto
T8: M+Br	Milho integrado com <i>B. ruzizensis</i> em plantio direto
T9: M+Bd/S	Milho integrado com <i>B. decumbens</i> e rotação com soja com plantio direto
T10: M+Br/S	Milho integrado com <i>B. ruzizensis</i> e rotação com soja com plantio direto

O preparo do solo utilizado no PC foi composto de uma aração e duas gradagens. O solo de todos os tratamentos de integração com braquiárias foram manejados com uso de plantio direto.

As parcelas experimentais foram compostas por áreas de 320 m² (8 x 40), sendo que todas as operações do plantio a colheita foram realizadas mecanicamente.

Em 2017 e 2018, foram plantadas as cultivares de milho AG7088 e Syngenta Impacto, respectivamente, e para a soja foram utilizadas as cultivares FT1192 e FT3190. A semeadura da soja foi realizada em 31 de maio de 2017 e em 23 de maio de 2018, e a do milho em 30 de maio de 2017 e 22 de maio de 2018. A semeadura foi realizada com semeadora-adubadora de 4 linhas para plantio direto, com sulcadores tipo disco duplo. A densidade de semeadura do milho foi de 70.000 sementes ha⁻¹, a da soja de 320.000 sementes ha⁻¹, com espaçamento entre linhas de 0,5 m, para ambas as culturas. As braquiárias foram semeadas com 10 kg de sementes ha⁻¹, com valor cultural (VC) de 50 %. Nos tratamentos com braquiária, as sementes do capim foram misturados ao fertilizante, e a máquina regulada para distribuição da mistura de fertilizante e sementes na profundidade de 6 cm.

A adubação do milho foi realizada na proporção de 150 100 80 kg ha⁻¹ de N P K, sendo todo N fornecido em cobertura, quando as plantas apresentavam quatro folhas, e a soja com 00 100 80 kg ha⁻¹ de N P K. Ureia, superfostato triplo e cloreto de potássio foram utilizadas como fertilizantes. As colheitas mecânicas das parcelas foram realizadas no dia 7 de novembro de 2017 e 16 de outubro de 2018 para a soja, e no dia 9 de novembro de 2017 e 19 de outubro de 2018 para o milho, quando os grãos de milho e soja apresentaram cerca de 13% de umidade. O controle de plantas invasoras foi feito por meio da aplicação de glifosato com pulverizador de barras com tração mecânica.

4.2.2. Amostragem e análises de solo

4.2.1. Coleta e processamento de amostras de solo

Amostras de solo foram coletadas em 16 de abril, 13 de agosto e 12 de novembro de 2018, correspondentes as fases anterior ao plantio, ciclo das culturas e posterior a colheita. As amostragens foram realizadas com um trado holandês até a profundidade de 20 cm, obtendo-se cinco amostras simples por parcela, as quais foram homogeneizadas para obtenção de amostra composta. Para as análises químicas, as amostras foram processadas por meio de destorroamento, secagem ao ar e peneiramento em malha de 2 mm de abertura. O processamento das amostras para análises físicas foi realizado após destorroamento manual para quebra de torrões maiores, secagem ao ar e peneiramento malha de 8 mm. Após

beneficiamento, as amostras peneiradas foram acondicionadas em latas de alumínio e armazenadas a temperatura ambiente.

4.2.2. Análises químicas e físicas

A análise de matéria orgânica do solo foi realizada pelo método da oxidação por via úmida com dicromato de potássio (EMBRAPA, 2017).

O diâmetro médio ponderado de agregados (DMA) do solo foi determinado pelo método de peneiramento seco das amostras em peneiras aninhadas com diâmetros decrescentes de 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm e 0,125 mm. Foram utilizadas 50 g de amostra de solo para cada teste, sendo as análises de cada amostra realizadas em duplicata. O conjunto de peneiras com as amostras foi submetido a agitação horizontal mecânica, em equipamento da marca Produtest, por 5 min. As frações de solo retidas em cada peneira foram pesadas em balança de três casas decimais. O cálculo do DMA foi determinado pela soma das razões entre as porcentagens da massa de amostra total empregada retida em cada peneira e a média entre as aberturas das malhas de peneiras de retenção de cada fração e sua correspondente superior (ARSHAD et al., 1996).

A estabilidade de agregados em água (EAA) foi determinada pelo peneiramento úmido de frações de solo com classe de diâmetro de 1 a 2 mm. Previamente ao peneiramento, 25 g destas frações foram pré-umedecidas por capilaridade para evitar o rompimento dos agregados devido a absorção súbita de água. Em seguida, estas frações foram transferidas para a peneira de 1 mm de malha, posicionada em equipamento de peneiramento úmido da marca Marconi. O processo de peneiramento foi realizado com ajustes de amplitude de oscilação de 3,8 cm, 30 oscilações por min, por 5 min. Os agregados retidos foram cuidadosamente coletados sob jato de água para frascos de vidros de tara pré-determinada e colocados para secar em estufa de ventilação forçada a 105 °C, por 24 h. As amostras secas foram pesadas e, em seguida, adicionadas de cerca de 50 ml de solução de NaOH 1 mol L⁻¹ para promover a dispersão dos agregados, sob agitação por 2 h, em em equipamento oscilatório com rotação de 200 rpm. Uma vez obtida a dispersão dos agregados, as amostras foram vertidas sobre a peneira de 1 mm de malha e lavadas para remoção do material disperso. A massa da fração areia retida na peneira foi então determinada após sua coleta e secagem a 105 °C por 24 h. A EAA foi determinada pela razão entre a massa seca de agregados retidos após peneiramento

úmido e a massa total de amostra utilizada, após descontar a massa de areia (> 1 mm) de ambas.

4.3. Análise dos dados

Os dados analisados para as variáveis de solo foram as médias das três datas de amostragens. Esta abordagem teve por objetivo obter um valor médio representativo das diferentes fases de cultivo, de modo a minimizar o efeito de variações sazonais de curto prazo sobre a resposta das variáveis ao manejo de solo e cobertura vegetal avaliados.

A análise de variância foi utilizada para avaliar o efeito de diferentes práticas agrícolas sobre as variáveis de solo, utilizando-se como fontes de variação nove contrastes ortogonais de médias de tratamentos e blocos. Os contrastes ortogonais, suas combinações de médias de tratamentos e os efeitos testados são apresentados na Tabela 2.

Uma vez que nos tratamentos com rotações de culturas, a fase milho deu-se nos anos ímpares e a fase soja, nos pares, os contrastes para comparação foram realizados de acordo com a disponibilidade dos dados de produtividade destas culturas nos diferentes anos.

O uso da abordagem com contrastes ortogonais permitiu determinar e comparar o tamanho relativo do efeito de cada uma das práticas agrícolas testadas sobre as variáveis do solo e produtividades de grãos. É importante ressaltar que o contraste 6, utilizado para comparar o efeito da integração de braquiárias em sistemas de produção de grãos, de fato comporta parcialmente um efeito relacionado ao método de preparo de solo, já que alguns tratamentos incluídos na média dos sistemas não integrados foram manejados com PC, ao passo que todos os dos sistemas integrados foram obtidos com PD.

Tabela 2. Contrastes ortogonais de médias de tratamentos e respectivos efeitos de práticas agrícolas avaliados

Contrastes ortogonais	Efeitos de práticas agrícolas
C1: $(\mu_{T1}+\mu_{T2}+\mu_{T3})/3$ vs $(\mu_{T4}+\mu_{T5}+\mu_{T6})/3$	Método de preparo de solo; PC vs. PD
C2: $(\mu_{T1}+\mu_{T2})/2$ vs μ_{T3}	Sistema de cultivo de grãos em plantio convencional; rotação (M/S) vs. monocultura (M ou S)
C3: $(\mu_{T4}+\mu_{T5})/2$ vs μ_{T6}	Sistema de cultivo de grãos em plantio direto; rotação (M/S) vs. monocultura (M ou S)
C4: μ_{T1} vs μ_{T2}	Cultura em monocultivo em PC; milho vs. soja
C5: μ_{T4} vs μ_{T5}	Cultura em monocultivo em PD; milho vs. soja
C6: $(\mu_{T1}+\mu_{T2}+\mu_{T3}+\mu_{T4}+\mu_{T5}+\mu_{T6})/6$ vs $(\mu_{T7}+\mu_{T8}+\mu_{T9}+\mu_{T10})/4$	Integração dos cultivos de grãos com braquiárias; sem integração vs. com integração
C7: μ_{T7} vs μ_{T8}	Espécies de braquiárias integradas ao milho sem rotação com soja; <i>B. decumbens</i> vs. <i>B. ruzizensis</i>
C8: μ_{T9} vs μ_{T10}	Espécies de braquiárias integradas ao milho com rotação com soja; <i>B. decumbens</i> vs. <i>B. ruzizensis</i>
C9: $(\mu_{T7}+\mu_{T8})/2$ vs $(\mu_{T9}+\mu_{T10})/2$	Sistema de cultivo de grãos em integração com braquiárias; milho + braquiária sem rotação com soja vs. milho + braquiária com rotação com soja

4.3. Resultados

4.3.1. Efeitos das práticas agrícolas sobre as propriedades físicas e químicas do solo

O diâmetro médio ponderado dos agregados (DMA) foi 6 % maior no PD do que no PC (Tabela 3). O método de preparo do solo explicou 9,9% da variabilidade total dos dados de DMA observados. Relativamente à variabilidade associada aos tratamentos (34,5 %), este efeito corresponde a 29 %. No PC, o DMA foi afetado pelos sistemas de cultivo, com a rotação promovendo maiores valores de DMA (21,3 %), em comparação a média dos monocultivos de milho e soja. Esta diferença associada aos sistemas de produção em PC correspondeu a 12% da variabilidade total dos dados e a 35 % da variabilidade associada aos tratamentos no modelo, sendo este o maior efeito observado sobre o DMA.

Para a estabilidade de agregados em água (EAA), observou-se resposta significativa apenas ao método de preparo do solo (Tabela 3). Os valores obtidos de EAA foram cerca de 78 % maiores no PD em relação ao PC. Este efeito explicou 21 % da variabilidade total dos dados e a 84 % da variabilidade associada aos tratamentos, sendo, portanto, o preparo do solo a prática agrícola com maior influência sobre esta variável.

Não foi detectado efeito significativo para a MOS nos nove contrastes avaliados, os quais explicaram somente 17 % da variabilidade dos dados (Tabela 3).

4.3.2. Produtividade de milho

Em 2017, parcelas cultivadas com a cultura do milho incluíram as dos tratamentos com cultivo continuado deste cereal, bem como nas com tratamentos de rotação milho/soja, ou seja T1, T3, T4, T6, T7, T8, T9 e T10. Deste modo, sete contrastes ortogonais foram estudados, incluindo C1, C2, C3, C6, C7, C8 e C9.

Esses contrastes explicaram 80,6 % da variabilidade dos dados de produtividade de milho (Tabela 4). Efeitos significativos foram observados quanto ao método de preparo do solo (C1), ao sistema de cultivo de grãos em plantio direto (C3), a integração dos cultivos de grãos com braquiárias (C6) e a rotação dos sistemas integrados de milho e braquiárias com soja (C9). Dentre os efeitos significativos, a maior contribuição para a explicação da variabilidade total dos dados foi observada para a sucessão dos sistemas integrados de milho e braquiárias com soja (36,5 %), seguida da integração dos cultivos de grãos com braquiárias (25,7 %), método de preparo do solo (13,8 %) e sistema de cultivo em plantio direto (3,3 %). Os valores correspondentes para a variabilidade explicada em relação à variabilidade associada aos tratamentos foram 45, 32, 17 e 4 %, respectivamente.

Tabela 3. Análise de contrastes de médias de diâmetro médio de agregados (DMA), estabilidade de agregados em água (EAA) e teor de matéria orgânica do solo (MOS) sob diferentes práticas agrícolas em solo de tabuleiros costeiros do Agreste de Sergipe.

Contrastes: Efeitos	Comparações ^{1/}	DMA (mm)			EAA (%)			MOS (g dm ⁻³)		
		Médias	valor <i>p</i>	R ² parcial	Médias	valor <i>p</i>	R ² parcial	Médias	valor <i>p</i>	R ² parcial
C1: Método de preparo do solo	PC vs. PD	2,15	0,019	0,099	8,12	0,000	0,214	18,65	0,932	0,000
		2,28			14,45			18,83		
C2: Sistema de cultivo dentro de preparo convencional	Monocultura em PC vs. Rotação M/S em PC	2,01	0,011	0,120	8,35	0,751	0,001	19,24	0,316	0,028
		2,44			7,66			17,49		
C3: Sistema de cultivo dentro de plantio direto	Monocultura em PD vs. Rotação M/S em PD	2,30	0,497	0,008	13,87	0,450	0,005	18,59	0,622	0,007
		2,24			15,60			19,30		
C4: Cultura em monocultivo em preparo convencional	Milho em PC vs. Soja em PC	2,05	0,656	0,003	8,02	0,800	0,001	20,15	0,363	0,023
		1,97			8,67			18,32		
C5: Cultura em monocultivo em plantio direto	Milho em PD vs. Soja em PD	2,18	0,155	0,034	13,37	0,823	0,000	17,69	0,409	0,019
		2,42			14,38			19,49		
C6: Integração dos cultivos de grãos com braquiárias	Sem integração vs. Com integração	2,22	0,515	0,007	11,28	0,067	0,030	18,74	0,903	0,000
		2,32			14,52			18,761		
C7: Espécie de <i>Brachiaria</i> integrada com milho	<i>B. decumbens</i> vs. <i>B. ruziziensis</i>	2,51	0,195	0,028	16,15	0,684	0,001	17,64	0,370	0,022
		2,48			14,24			19,32		
C8: Espécie de <i>Brachiaria</i> integrada com milho em rotação com soja	<i>B. decumbens</i> vs. <i>B. ruziziensis</i>	2,25	0,281	0,019	13,13	0,558	0,003	17,39	0,107	0,073
		2,05			14,58			20,69		
C9: Rotação em sistema integrado de milho e braquiárias	Sem rotação com soja vs. Com rotação com soja	2,49	0,231	0,024	15,20	0,992	0,000	18,48	0,749	0,003
		2,15			13,85			19,04		
R ² associado aos tratamentos				0,345	0,255			0,174		

1/ PC: preparo convencional de solo, PD: plantio direto, M/S: rotação milho e soja.

A produtividade de milho em plantio convencional (PC) foi cerca de 1100 kg ha⁻¹ maior que a observada em plantio direto (PD), o que corresponde a 16 % de incremento. Observou-se que sob PD, o uso de rotação com soja promoveu incrementos de cerca de 760 kg ha⁻¹ em relação ao monocultivo de milho. De acordo com C6, a integração do milho com braquiária resultou em queda de cerca de 1060 kg ha⁻¹ de grãos desta cultura, um decréscimo de 14 % comparativamente aos sistemas sem braquiária.

A inserção da soja em rotação com o cultivo integrado entre milho e braquiária resultou em incremento de 1785 kg ha⁻¹ grãos de milho (C9), o equivalente a 33 % de ganho em relação ao cultivo integrado entre milho e braquiária sem rotação. É importante observar que a rotação de cultura aumentou a produtividade de grãos no sistema de plantio direto, com ou sem a integração com braquiárias. A escolha da espécie de braquiária não resultou em diferenças na produtividade do milho, tanto para o sistema em monocultivo como em rotação com a soja.

Em 2018, a cultura do milho foi cultivada apenas nas parcelas dos tratamentos T1, T4, T7 e T8. Deste modo, apenas três contrastes ortogonais foram estudados, os quais incluíram C1, C6 e C7 (Tabela 4). Os três contrastes avaliados explicaram cerca de 68,5 % da variabilidade dos dados de produtividade de milho (Tabela 4), com dominância do efeito da integração com braquiárias (C6), que explicou 62 % da variabilidade total dos dados. A prática de integração entre milho e braquiárias explicou mais de 90 % da variabilidade associada aos tratamentos. Neste ano, diferentemente do observado em 2017, o método de preparo do solo não afetou significativamente a produção de milho (C1).

O maior efeito em produtividade de milho observado em todo o período analisado (2017 e 2018) foi associado ao uso ou não de braquiária nos sistemas de produção de milho (C6) em 2018. A presença de braquiária incrementou em cerca de 45 % a produtividade de milho, resposta inversa à observada em 2017.

4.3.3. Produtividade de soja

No ano agrícola de 2017, apenas os tratamentos T1 e T2 estavam presentes no campo para a cultura de soja. A análise dos dados não revelou efeito significativo no rendimento de grãos de soja para o efeito de método de preparo de solo (C1), o único contraste estudado.

Em 2018, todos os tratamentos contendo a cultura de soja estavam presentes no campo, ou seja T2, T3, T5, T6, T9 e T10. Portanto, cinco contrastes ortogonais foram estudados, os quais incluíram C1, C2, C3, C6 e C8. Os cinco contrastes avaliados explicaram 89% da variabilidade dos dados de produtividade da soja (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de contrastes de médias da produtividade de milho e soja de tratamentos sob diferentes práticas agrícolas em solo de tabuleiros costeiros do Agreste de Sergipe em 2017 e 2018.

Contrastes: Efeitos	Comparações ^{1/}	Produtividade milho 2017 (kg ha ⁻¹)			Produtividade milho 2018 (kg ha ⁻¹)			Produtividade soja 2018 (kg ha ⁻¹)		
		Médias	valor <i>p</i>	R ² parcial	Médias	valor <i>p</i>	R ² parcial	Médias	valor <i>p</i>	R ² parcial
C1: Método de preparo do solo	PC vs. PD	7906	0,000	0,138	4506	0,195	0,054	749	0,973	0,000
		6807			5435			735		
C2: Sistema de cultivo dentro de preparo convencional	Monocultura em PC vs. Rotação M/S em PC	7746	0,342	0,006				820	0,331	0,007
		8066			654					
C3: Sistema de cultivo dentro de plantio direto	Monocultura em PD vs. Rotação M/S em PD	6428	0,032	0,033				949	0,012	0,057
		7186			522					
C6: Integração dos cultivos de grãos com braquiárias	Sem integração vs. Com integração	7357	0,000	0,257	4971	0,001	0,629	742	0,000	0,820
		6297			7221			741		
C7: Espécie de <i>Brachiaria</i> integrada com milho	<i>B. decumbens</i> vs. <i>B. ruzizensis</i>	5424	0,909	0,000	7129	0,7886	0,002			
		5387			7312					
C8: Espécie de <i>Brachiaria</i> integrada com milho em rotação com soja	<i>B. decumbens</i> vs. <i>B. ruzizensis</i>	7017	0,307	0,007				1678	0,407	0,005
		7362			1804					
C9: Rotação em sistema integrado de milho e braquiárias	Sem rotação com soja vs. Com rotação com soja	5405	0,000	0,365						
		7189								
R ² associado aos tratamentos				0,8065	0,684			0,889		

^{1/} PC: preparo convencional de solo, PD: plantio direto, M/S: rotação milho e soja.

Porém, efeitos significativos foram observados somente para o sistema de cultivo de grãos em plantio direto (C3) e para a integração dos cultivos de grãos com braquiárias (C6). Do mesmo modo observado para o milho em que a produtividade foi incrementada para a integração dos cultivos de grãos com braquiárias, a soja também apresentou comportamento semelhante, sendo a produtividade aumentou de cerca 135 % (1742 kg ha⁻¹) à obtida nos sistemas de cultivos sem integração de braquiária (724 kg ha⁻¹), e correspondente ao maior efeito observado.

Por outro lado, observou-se que sob plantio direto (PD), o uso de rotação diminuiu o rendimento de grãos de soja em cerca de 427 kg ha⁻¹ em comparação ao monocultivo. Foi observado nesse ano que não houve diferença significativa entre os métodos de preparo solo, os sistemas de cultivo de grãos em plantio convencional e os tipos de braquiárias integradas ao milho.

4.4. Discussão

4.4.1. Indicadores físicos e químicos do solo

O efeito significativo de preparo do solo (C1) e de sistema de cultivo de grãos sobre as variáveis físicas (C2) observados em nosso estudo corroborou trabalhos anteriores que reportaram que diferentes práticas de manejo poderão afetar diretamente suas propriedades, incluindo os processos de agregação. Em nitossolo vermelho distroférico, Assis e Lanças (2010) observaram que o diâmetro médio ponderado dos agregados do solo e a percentagem de agregados maiores do que 2 mm são crescentes com o tempo de adoção no sistema de plantio direto, na profundidade de 0-5 cm. No trabalho de Campos et al. (1995) em área com plantio direto, ocorreu o aumento do DMA do solo, sendo esse aumento mais acentuado nos primeiros anos de instalação do sistema. Por outro lado, após sete anos de cultivo em diferentes sistemas de manejo, Silva et al. (2011) não observaram alterações no DMA do solo. Os resíduos culturais associados ao não revolvimento do solo têm uma decomposição lenta e gradual, favorecendo a libertação de compostos orgânicos que estimulam a formação e a estabilidade dos agregados (TISDALL e OADES, 1982) proporcionando, assim, uma proteção física para a matéria orgânica que serve de elemento de ligação entre os agregados menores para a formação dos agregados maiores.

Neste estudo, a M.O do solo não foi influenciada pelos sistemas de manejo estudados, o que também foi observado por Bayer et al. (2004), que determinaram em períodos curtos (seis anos), o plantio direto não tem efeito no estoque de carbono na matéria orgânica associada aos minerais em Latossolos argilosos oxidicos. No entanto, o PD mostrou ser uma

forma de aumentar o status da matéria orgânica, a atividade microbiana e a estabilidade agregada na superfície em 5 cm de solo (DOMINY e HAYNES, 2002). Segundo Carpenedo e Mielniczuk (1990), o sistema de PD ao manter os resíduos culturais na superfície, pode aumentar a matéria orgânica e melhorar a agregação do solo em relação ao PC, cujos agregados, maiores e menos densos, aumentam a infiltração de água no solo (CASTRO et al., 1998). Calegari et al. (2008) observaram, em estudo de longa duração com diferentes culturas de cobertura do solo em semeadura direta, que após 19 anos de avaliação, todos os tratamentos envolvendo diferentes rotações aumentaram os estoques de carbono do solo, quando comparados com os da área sob pousio e concluíram que o manejo contínuo sob PD combinado com o uso de culturas de cobertura de inverno resultou em maior quantidade de MO na superfície do solo, sendo o único tratamento cultivado que se aproximou das condições de floresta não antropizada.

Foi observado neste estudo que a rotação de culturas resultou em valores maiores de DMA de solo (21,3 %) em relação ao monocultivo de culturas. As culturas adequadamente manejadas, especialmente em sistema de rotação, são agentes importantes na agregação do solo. Quando comparadas as rotações de culturas, Campos et al. (1995) verificaram tendência de maior DMA na rotação aveia + ervilhaca/milho - trigo/soja e aveia/soja e na rotação aveia/soja - trigo/soja em relação à sucessão trigo/soja. Calonego e Rosolem (2008) observaram em Nitossolo Vermelho distroférico, que a estabilidade dos agregados foi maior na camada de 0 a 0,05 m, influenciada pela rotação de culturas, sendo o triticale introduzido como espécie de outono-inverno. Esses resultados mostram a importância, na estabilidade da estrutura do solo, da rotação de culturas, onde há alternância no tipo e tamanho de raízes e material orgânico liberado, melhorando a agregação do solo.

A EAA teve um aumento significativo de 78 % no PD em relação ao PC, à semelhança de resultados obtidos por Castro et al. (1998), também observaram aumento significativo (6 %) na EAA na camada de 10-20 cm. A maior agregação no PD esteve relacionada com o maior acúmulo de matéria orgânica proporcionada por esse sistema em relação ao PC.

Em camadas mais superficiais, como de 0 a 20 cm, o cultivo de brachiaria não surte tanto efeito na melhoria da qualidade estrutural do solo (DMA, EAA). Santos et al. (2012) relataram que as braquiárias possuem o sistema radicular abundante e agressivo e que as exsudações de compostos orgânicos por suas raízes, possivelmente, devem contribuir para a formação de agregados mais estáveis. Porém neste estudo, estes indicadores não diferiam entre os consórcios com as braquiárias com os demais tratamentos. Segundo Calegari et al.

(2006), os sistemas de manejo exercem influência sobre a formação e estabilização dos agregados do solo. Esses autores observaram que sob o plantio direto, incluindo o uso de plantas de cobertura, favoreceu o aumento do diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e o índice de estabilidade de agregados nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm. Porém no presente trabalho, não foi observado influência das coberturas consorciadas com o milho no aumento do DMA e da EAA na profundidade de 0-20 cm.

4.4.2. Produtividade de milho

A superioridade de PC em relação a PD em 2017 pode estar associada à menor compactação superficial que ocorre no PD. Em Latossolo Vermelho distrófico, a produtividade do milho sob preparo do solo com arado de aiveca foi, na média dos seis anos, 9 e 7% superior às obtidas no preparo com grade e no plantio direto, respectivamente, provavelmente, pela não ocorrência dos aspectos negativos da compactação subsuperficial que se verifica no preparo com grade aradora e da compactação superficial que ocorre no plantio direto (SILVEIRA E STONE, 2003). Esses dados discordam dos de Silva et al. (2011) que observaram em Luvisolo Crômico Pálico abrupto no município de Alagoinha, a produtividade de milho nos sistemas de manejo PC e PD não diferiu nos primeiros seis anos de cultivo. Apenas no sétimo ano o sistema PC apresentou produtividade menor que a dos sistemas PD, o que ocorreu provavelmente devido aos benefícios acumulados ao solo da manutenção dos resíduos das culturas na lavoura no sistema de semeadura direta, bem como por proporcionar menor erosão, menor temperatura e maior umidade na camada superficial do solo (SCHICK et al., 2000).

É interessante observar que o uso de rotação com soja sob PD resultou em compensação de cerca de 70 % da perda de produtividade de milho observada nesse método de preparo, em relação ao PC. Este efeito positivo na produtividade do milho promovido pela rotação com soja também foi observado na integração M+B, concordando com os resultados obtidos na região dos cerrados por Corrêa et al. (1986) para milho e soja, e no estado de São Paulo, por Mascarenhas et al. (1993) para milho, que observaram aumentos da produtividade em cultivos bienais ou trienais, em relação ao cultivo anual. Esses resultados, contudo, são discordantes aos obtidos por Silveira e Stone (2003) no município de Santo Antônio de Goiás, que não constataram efeito da rotação sobre a produtividade das culturas estudadas.

Ao contrário de 2017, os sistemas PD e PC não diferiram quanto à produtividade de milho em 2018, que foi um ano muito seco (Figura 1). A restrição hídrica deste ano pode ter contribuído para reduzir as diferenças entre os dois métodos de preparo do solo,

possivelmente pela limitação ao crescimento radicular e/ou ao transporte de nutrientes pela matriz do solo. Em 2018 houve uma queda de rendimento de grãos de milho de cerca de 3400 kg ha⁻¹ para PC, e de 1371 kg ha⁻¹ para PD, em comparação a 2017. O consumo total de água pelo milho varia muito com o nível de manejo e com a disponibilidade de água no solo. No trabalho desenvolvido por Claassen et al. (1970), verificou-se que aproximadamente 50 dias após o plantio, há redução de 3 % na produção por dia de estresse. Segundo Silva et al. (2011), a produtividade da cultura do milho nos sistemas de manejo PC e PC é afetada principalmente pelo regime pluvial, sendo a maior variabilidade observada no PC, que, a partir do quinto ano de cultivo, passou a ser menor que no sistema PD.

O consórcio do milho com braquiária contribuiu para reduzir a produtividade do milho em cerca de 1060 kg ha⁻¹ em relação aos sistemas de cultivo sem braquiária no ano 2017. Segundo os dados de pluviosidade, 2017 foi um ano chuvoso (Figura 1), propiciando um desenvolvimento vigoroso da braquiária, o que pode ter resultado em maior competição com o milho. Estes resultados corroboram a afirmação de Portes et al. (2000) de que a produtividade de grãos dos cereais em consórcio com espécies forrageiras é normalmente inferior ao cultivo solteiro. No entanto, parte do efeito sobre a produtividade pode ter sido derivado de diferenças no modo de preparo do solo, uma vez que o PC foi empregado em dois dos quatro tratamentos componentes dos sistemas sem braquiária, ao passo em que todos os tratamentos com braquiária foi empregado o PD. Entretanto, Kluthcouski e Aidar, (2003) e Jakelaitis et al. (2004) encontraram resultados diferentes dos obtidos neste experimento. Estes autores não observaram diferença significativa na produtividade do milho consorciado com espécies de *Brachiaria*, relatando que o sombreamento do solo pelo milho, muito provavelmente, restringiu o desenvolvimento das espécies de *Brachiaria*, impedindo a competição interespecífica.

Em 2018, ao contrário de 2017, a integração do milho com *Brachiaria* resultou em forte incremento da produção de milho comparativamente ao milho solteiro. A abundante palha de braquiária formada em 2017, ano muito chuvoso, promoveu grande cobertura do solo em 2018, ano muito seco, provavelmente contribuindo para a redução das perdas de água do solo por evaporação e, conseqüentemente, para a maior produtividade de grãos.

Em síntese, os resultados de produtividade de milho no ano chuvoso (2017) mostraram que de, de modo geral, o uso de práticas mais conservacionistas, como o PD e a integração com braquiárias ao cultivo do milho, resultaram em reduções significativas da produtividade. Entretanto, a introdução da soja em rotação promoveu uma compensação expressiva destas perdas, seja em PD sem ou com integração.

4.4.3. Produtividade de soja

Os sistemas de preparo do solo não tiveram efeito significativo sobre a produtividade da soja nos anos 2017 e 2018, concordando com os resultados obtidos por Kluthcouski et al. (2000).

A comparação de diferentes sistemas de preparo do solo recebeu considerável atenção em outros estudos. Estudos contraditórios mostraram o efeito de PD e PC na produção de soja (NORWOOD, 1999; SINGER et al, 2008). É relatado como variável entre os anos (SINGER et al, 2008), ou superior com PD (TEMPERLY e BORGES, 2006; HOUX III et al, 2014; BUAH et al., 2017) ou diferença marginal entre PC e PD (KOGA e TSUJI, 2009; RODRÍGUES et al., 2009).

Em 2018, o efeito expressivo sobre a produtividade de soja em função da integração dos cultivos com as braquiárias (Tabela 4) está provavelmente associado a uma elevada cobertura morta propiciada pela braquiária e milho crescidos em 2017. Pelo fato de 2018 ter sido um ano com veranicos prolongados, especialmente no final da fase vegetativa e durante a fase reprodutiva, esta cobertura propiciou condições de maior economia de água para a soja, em função da menor perda por evaporação. Da mesma forma, Debiasi e Franchini (2012), observaram que a produtividade da soja aumenta com sistemas com alta produção de massa de matéria seca de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraes.

4.5. Conclusões

O efeito do método de preparo do solo sobre a produtividade do milho é dependente do regime de precipitação durante o ciclo das culturas. Sob restrição de precipitação, não há diferença entre preparo convencional e plantio direto, ao passo que, sob boa distribuição de chuvas, o preparo do solo convencional propicia maiores produções de milho do que o plantio direto.

O uso de soja em rotação com o milho, seja em sistemas sem ou com integração com braquiárias, compensa em grande proporção a perda de produtividade do milho, quando esta é observada sob PD.

O efeito da integração de braquiária nos sistemas de produção sobre os rendimentos de milho e soja depende da variação das chuvas ocorrida no ano anterior, uma vez que esta é um importante controle sobre a quantidade de palha formada pela braquiária e o milho no ano anterior e, conseqüentemente, sobre a eficiência da cobertura morta no ano seguinte.

4.6. Referências Bibliográficas

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

ASSIS, R. L. DE; LANÇAS, K. P. Agregação de um nitossolo vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 58–66, fev. 2010.

BARRETO, AC; CHAER, GM; FERNANDES, MF. Hedgerow pruning frequency effects on soil quality and maize productivity in alley cropping with *Gliricidia sepium* in Northeastern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 120, p. 112–120, 2012.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 677–683, jul. 2004.

BOLLIGER, A.; MAGID, J.; AMADO, J. C. T.; SKÓRA NETO, F.; RIBEIRO, M. DE F. DOS S.; CALEGARI, A.; RALISCH, R.; NEERGAARD, A. DE. Taking Stock of the Brazilian “Zero-Till Revolution”: A Review of Landmark Research and Farmers’ Practice. In: **Advances in Agronomy**. [s.l.] Academic Press, 2006. v. 91p. 47–110.

BUAH, S. S. J.; IBRAHIM, H.; DERIGUBAH, M.; KUZIE, M.; SEGTA, J. V.; BAYALA, J.; ZOUGMORE, R.; OUEDRAOGO, M. Tillage and fertilizer effect on maize and soybean yields in the Guinea savanna zone of Ghana. **Agriculture & Food Security**, v. 6, n. 1, p. 17, 10 jun. 2017.

CALEGARI, A.; CASTRO FILHO, C.; TAVARES FILHO, J; RALISCH, R; GUIMARÃES, M. F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Semina**, v. 27, n. 2, p. 147–158, 2006.

CALEGARI, A.; HARGROVE, W. L.; RHEINHEIMER, D. D. S.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S. DE; FATIMA GUIMARÃES, M. DE. Impact of Long-Term No-Tillage and Cropping System Management on Soil Organic Carbon in an Oxisol: A Model for Sustainability. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 4, p. 1013, 2008.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1399–1407, ago. 2008.

CAMPOS B. C. DE; REINET D.J.; NICOLODI R.; RUEDELL J.; PETRERE C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **R. bras. Ci. Solo. Campinas**, n. 19, p. 121–126, 1995.

CARPENEDO, V; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **R.Bras. Ci. Solo**, v. 14, p. 99–105, 1990.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas

de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527–538, set. 1998.

CHAER, GM; FERNANDES, MF; MYROLD, D; BOTTOMLEY, P. Comparative Resistance and Resilience of Soil Microbial Communities and Enzyme Activities in Adjacent Native Forest and Agricultural Soils. **Microbial Ecology**, v. 58, p. 414–424, 2009.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M. DE; 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, jan. 2012.

CLAASSEN, M.M.; SHAW, R. H. Water Deficit Effects on Corn. I. Grain Components. **Agronomy Journal**, v. 62, p. 652–655, 1970.

CORRÊA, L. A.; SILVA, A. F.; CRUZ, J. C.; SILVA, B. G.; COELHO, A. M. Sistema de produção de milho em monocultivo. **Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo**, p. 99–101, 1986.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, p. 1180–1186, jul. 2012.

DOMINY C.; HAYNES R. Influence of agricultural land management on organic matter content, microbial activity and aggregate stability in the profiles of two Oxisols. **Biology and Fertility of Soils**, v. 36, n. 4, p. 298–305, 1 out. 2002.

FERNANDES M.F.; BARRETO, A. C.; DICK R. P; MENDES I. B. 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 & Environment**, v. 142, p. 419–427, 2011.

GOMES, J.B.V.; FERNANDES, MF; BARRETO, A. C.; ARAÚJO FILHO, J. C.; CURY, N. Soil attributes under agroecosystems and forest vegetation in the coastal tablelands of northeastern Brazil. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, n. 36, p. 649–664, 2012.

HAYNES, J.L. **Uso agrícola dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil**: um exame das pesquisas. 2. ed. Recife: SUDENE, 1970.

HOUX III, J. H.; WIEBOLD, W. J.; FRITSCHI, F. B. Rotation and tillage affect soybean grain composition, yield, and nutrient removal. **Field Crops Research**, v. 164, p. 12–21, 1 ago. 2014.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola | Estatísticas**, 2018.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R.; SILVA, A. F.; FREITAS, F. C. L. Manejo de plantas daninhas no consórcio de milho com capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, v. 22, n. 4, p. 553–560, dez. 2004.

JUO, A.S.R.; FRANZLUEBBERS, K. Tropical Soils. Properties and Management for Sustainable Agriculture. **European Journal of Soil Science**, v. 55, n. 3, p. 630–631, 2003.

KLUTHCOUSKI, J. ET AL. Sistema Santa Fé – Tecnologia Embrapa: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional. **Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão**, p. 28, 2000.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Implantação, Condução e Resultados Obtidos com o Sistema Santa Fé. **Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão**, p. 407–442, 2003.

KOGA, N.; TSUJI, H. Effects of reduced tillage, crop residue management and manure application practices on crop yields and soil carbon sequestration on an Andisol in northern Japan. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 55, n. 4, p. 546–557, ago. 2009.

LAL, R.; LOGAN, T. J.; FAUSEY, N. R. Long-term tillage and wheel traffic effects on a poorly drained mollic ochraqualf in northwest Ohio. 1. Soil physical properties, root distribution and grain yield of corn and soybean. **Soil and Tillage Research**, v. 14, n. 4, p. 341–358, 1 set. 1989.

MASCARENHAS, H. A. A.; NAGAI, V.; GALLO; PEREIRA, J. C. V. N. A.; TANAKA, R. T. Sistemas de rotação de culturas de milho, algodão e soja e seu efeito sobre a produtividade. **Bragantia**, v. 52, n. 1, p. 53–61, 1993.

NANDAN, R.; SINGH, S. S.; KUMAR, V.; SINGH, V.; HAZRA, K. K.; NATH, C. P.; MALIK, R. K.; POONIA, S. P.; SOLANKI, CH. H. Crop establishment with conservation tillage and crop residue retention in rice-based cropping systems of Eastern India: yield advantage and economic benefit. **Paddy and Water Environment**, v. 16, n. 3, p. 477–492, jul. 2018.

NORWOOD, C. A. Water Use and Yield of Dryland Row Crops as Affected by Tillage. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 1, p. 108–115, 2/01 1999.

NYAMADZAWO, G.; NYAMANGARA, J.; NYAMUGAFATA, P.; MUZULU, A. Soil microbial biomass and mineralization of aggregate protected carbon in fallow-maize systems under conventional and no-tillage in Central Zimbabwe. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 1, p. 151–157, 1 jan. 2009.

PARIZ, C. M. *et al.* Production, nutrient cycling and soil compaction to grazing of grass companion cropping with corn and soybean. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, n. 1, p. 35–54, maio 2017.

PORTES, T. DE A; CARVALHO, S. I. C. DE; OLIVEIRA, I. P. DE; KLUTHCOUSKI, J. Análise do crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, 2000.

PROCÓPIO SÉRGIO; MANOEL MOACIR COSTA MACÊDO. **SEALBA: região de alto potencial agrícola do nordeste. Embrapa Tabuleiros Costeiros**. p. 37, 2017.

RODRÍGUES, J. G. L.; GAMERO, C. A.; FERNÁNDES, J. C.; MIRÁS-AVALOS, J. M. Effects of different soil tillage systems and coverages on soybean crop in the Botucatu Region in Brazil. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 1, p. 173–180, 1 mar. 2009.

SANTOS, G. G. Impacto de sistemas de integração lavoura-pecuária na qualidade física do solo. **Goiânia-Brasil**, p. 122, 2012.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR, A. A. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 427–436, jun. 2000.

SILVA, A. S.; SILVA, I. DE F. DA; SILVA NETO, L. DE F. DA; SOUZA, C. DE. Semeadura direta na produção do milho em agricultura de sequeiro na região Nordeste do Brasil. **Ciência Rural**, v. 41, n. 9, p. 1556–1562, set. 2011.

SILVEIRA, P. M. DA; STONE, L. F. Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas na produtividade de milho, soja e trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 240–244, ago. 2003.

SINGER, J. W.; LOGSDON, S. D.; MEEK, D. W. Soybean Growth and Seed Yield Response to Tillage and Compost. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 4, p. 1039–1046, 1 jul. 2008.

TEMPERLY, R. J.; BORGES, R. Tillage and Crop Rotation Impact on Soybean Grain Yield and Composition. **Agronomy Journal**, v. 98, n. 4, p. 999–1004, 1 jul. 2006.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, n. 2, p. 141–163, jun. 1982.

WILLEY, R.W. **Intercropping—It's Important and Research Needs. Part 1. Competition and Yield Advantages**. [s.l.] Farnham Royal, 1979. v. 32

XIAO, D.; XIAO, S.; YE, Y.; ZHANG, W.; HE, X.; WANG, K. Microbial biomass, metabolic functional diversity, and activity are affected differently by tillage disturbance and maize planting in a typical karst calcareous soil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, n. 2, p. 809–821, fev. 2019.

ANEXOS



Foto 1: Aérea plantio direto na Estação Experimental Jorge Sobral da Embrapa Tabuleiros Costeiros, em Nossa Senhora das Dores, região Agreste de Sergipe (SE).

Crédit: EDSON PATTO PACHECO (2017)



Foto 2: Desenvolvimento inicial de soja no sistema plantio direto na Estação Experimental Jorge Sobral da Embrapa Tabuleiros Costeiros, em Nossa Senhora das Dores, região Agreste de Sergipe (SE).

Crédit: EDSON PATTO PACHECO (2017)



Foto 3: Palha no milho no sistema plantio direto na Estação Experimental Jorge Sobral da Embrapa Tabuleiros Costeiros, em Nossa Senhora das Dores, região Agreste de Sergipe (SE).

Credit: EDSON PATTO PACHECO



Foto 4: Milho consorciado com *Brachiaria ruziziensis* cultivados em sistema de plantio direto antes colheita na Estação Experimental Jorge Sobral da Embrapa Tabuleiros Costeiros, em Nossa Senhora das Dores, região Agreste de Sergipe (SE).
Credit: EDSON PATTO PACHECO (2017)