

---

# Sistemas silvipastoris e preparo do solo na renovação de pastagens degradadas no Espírito Santo

| **Gustavo Soares de Souza**  
IFES

| **Cássio Carlette Thiengo**  
USP/ESALQ

| **Matheus Wandermurem da Silva**  
INCAPER/FEBN

| **Maurício Lima Dan**  
INCAPER/FEBN

# RESUMO

A pecuária é uma atividade importante do agronegócio brasileiro e capixaba. O Espírito Santo apresenta um elevado percentual de pastagens degradadas e que carecem de soluções. O objetivo deste capítulo foi avaliar o efeito de tipos de preparo do solo e de manejos integrados, com destaque para os SSP, na renovação de pastagens degradadas, com foco no desenvolvimento de uma agricultura conservacionista e sustentável. O preparo do solo em nível é uma prática agrícola que reduz as perdas de solo e água e favorece a infiltração de água no solo em relação ao plantio no sentido do declive. Máquinas e implementos agrícolas estão sendo adaptados para viabilizar o preparo em nível em terrenos declivosos. A semeadura direta pode auxiliar na renovação de pastagens, diminuindo o processo erosivo no solo. A implantação de sistemas silvipastoris também é considerada uma técnica viável para a recuperação de pastagens degradadas, melhorando atributos físicos, químicos e o estoque de carbono no solo, contribuindo para o incremento produtivo por área e para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável.

**Palavras-chave:** Solos Degradados, Aração do Solo, Erosão do Solo, Sistemas Integrados de Produção, Integração Pecuária-Floresta.

## ■ INTRODUÇÃO

A pecuária é uma atividade importante do agronegócio brasileiro com destaque internacional, especialmente no segmento da bovinocultura. O Brasil possui 172,7 milhões de cabeças (IBGE, 2019), sendo considerado o maior produtor e exportador de carne bovina do mundo (ABIEC, 2020). O rebanho bovino brasileiro proporciona o desenvolvimento de dois segmentos econômicos, sendo carne e leite os principais. O valor bruto da produção anual desses dois segmentos é estimado em R\$ 120,5 bilhões, se fazendo presente em todos os estados brasileiros (IBGE, 2019).

No Estado do Espírito Santo a pecuária ocupa área de 1,47 milhões de hectares, sendo 33,1 mil estabelecimentos agropecuários destinados na atividade de pecuária bovina, dos quais 17,1 mil criam vacas de leite (IBGE, 2019), sendo a 2<sup>a</sup> atividade agrícola em importância (GALEANO *et al.*, 2016), promovendo a geração de empregos, comercialização de equipamentos e insumos, surgimento de oportunidades de negócios, com menor dependência de mercados externos e distribuindo renda na zona rural, o que reduz o êxodo rural e minimiza problemas sociais em grandes centros urbanos. Contudo, a pecuária capixaba é realizada predominantemente de forma extensiva e pouco tecnicizada, com baixa capacidade produtiva das pastagens e áreas com diferentes níveis de degradação, o que resulta em baixa taxa de lotação animal (ESPÍRITO SANTO, 2008).

A degradação dos ecossistemas agrícolas é uma preocupação recente que aflige agências governamentais e a sociedade, já que tem se tornado um fenômeno comum, principalmente em agroecossistemas tropicais. Neste aspecto, destaca-se a degradação das pastagens, que ocupam extensas áreas em todo o território brasileiro, resultando em sérios problemas ambientais e econômicos (DIAS-FILHO, 2011;).

No processo de degradação das pastagens observa-se redução na produtividade da gramínea, causada principalmente pela degradação do solo, o que é proveniente de alterações de natureza química, física e/ou biológica do solo (SACRAMENTO *et al.*, 2013; DIAS-FILHO, 2011). O solo perde sua capacidade de sustentar produção vegetal, diminuindo a disponibilidade de forragem para a alimentação animal. A recuperação das pastagens é uma necessidade atual para a pecuária brasileira, visando à conservação da qualidade do solo e a maior produtividade de biomassa e conseqüentemente melhorar os índices produtivos, visando uma atividade econômica competitiva. A renovação das pastagens pode ainda aumentar o sequestro de C-CO<sub>2</sub> atmosférico, dessa forma, contribuir para reduzir as emissões de C-CO<sub>2</sub> e mitigar o aquecimento global (UNFCCC, 2015).

Estudos mostram os efeitos do sistema de preparo do solo sobre o processo de degradação do solo e erosão hídrica (BERTOL *et al.*, 2007; COGO *et al.*, 2003). Em regiões de relevo declivoso, predominante em diversas bacias hidrográficas do estado, como a do

rio Itapemirim, a renovação das pastagens é realizada com o preparo convencional do solo no sentido do declive (morro abaixo). Essa prática é motivada pela dificuldade de realizar o preparo em nível, já que os tratores não trafegam em nível em declividade superior a 30%, devendo ser realizado com tração animal, com menor capacidade operacional e maior tempo de realização da atividade. Além disso, existem dificuldades em encontrar trabalhadores e animais para realizar esta atividade na região. O preparo do solo no sentido do declive cria um caminho preferencial ao escoamento superficial, o que aumenta o volume de enxurrada e sua capacidade de carrear as partículas do solo, além de acelerar o processo de mineralização da matéria orgânica do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

A adoção de sistemas que integram espécies arbóreas, pastagens e animais, como os silvipastoris (SSP), tem sido elencada como uma alternativa para a recuperação/renovação de pastagens degradadas (CARVALHO, XAVIER, 2005). Quando comparado com as pastagens tradicionais e extensivas, essa integração pode trazer inúmeros benefícios, como a conservação do solo, dos recursos hídricos, aumento no sequestro de carbono e da biodiversidade (especialmente no médio e longo prazo), além de possibilitar outras fontes de renda nas propriedades (produtos madeireiros e não-madeireiros advindos dos cultivos arbóreos) (DAN, 2020). Apesar dos benefícios, há certos impedimentos na adoção deste sistema, como o baixo retorno inicial do investimento e desconhecimento de parte dos produtores sobre o manejo de espécies não-convencionais na pecuária (DIAS-FILHO, 2011).

O objetivo deste capítulo foi avaliar o efeito de tipos de preparo do solo e de manejos integrados, com destaque para os SSP, na renovação de pastagens degradadas, com foco no desenvolvimento de uma agricultura conservacionista e sustentável. Dessa forma, aliou-se resultados inéditos e informações levantadas na literatura científica para a discussão do conhecimento gerado à cerca da viabilidade dos SSP como alternativa de recuperação/renovação de pastagens degradadas aplicados à realidade capixaba.

## ■ O PROCESSO DE DEGRADAÇÃO NAS PASTAGENS

A pecuária brasileira é realizada predominantemente em pastagens e em sistemas extensivos de exploração. As gramíneas forrageiras cultivadas mais importantes em uso no Brasil foram introduzidas da África e pertencem, em sua maioria, aos gêneros *Urochloa*, *Megathyrsus* e *Andropogon*. Por mais que essas gramíneas apresentem boa adaptação ao clima tropical e apresentem alto potencial produtivo, muitas vezes são cultivadas em áreas marginais, em solos de baixa fertilidade natural, acidez, declividade, pedregosidade e/ou limitações de drenagem, o que resulta em baixa produtividade (MACEDO; ARAÚJO, 2019). Estes fatores contribuem para uma baixa sustentabilidade da atividade pecuária e uma tendência de uso dos recursos naturais acima da sua capacidade de suporte.

A degradação em pastagens é um fenômeno de ampla ocorrência nos biomas brasileiros, isto é, entre 50 e 70% das pastagens brasileiras se encontram em algum nível de degradação, o que compromete a sustentabilidade da produção animal. De acordo com Dias-Filho (2011), a degradação de uma pastagem pode ser caracterizada (i) pela mudança na composição botânica da área, ou seja, pelo aumento na proporção de plantas espontâneas e a diminuição na proporção da forrageira e (ii) pela intensa diminuição da cobertura vegetal da área, principalmente associada a degradação do solo de natureza química (perda dos nutrientes e acidificação), física (erosão e compactação) ou biológica (perda da matéria orgânica), reduzindo a capacidade de sustentar produção vegetal.

Para Macedo e Araújo (2019) degradação de pastagem é o processo evolutivo de perda de vigor, de produtividade, de capacidade de recuperação natural das pastagens para sustentar economicamente os níveis de produção e de qualidade exigidos pelos animais, assim como, o de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras, culminando com a degradação avançada dos recursos naturais, em razão de manejos inadequados”.

As principais causas da degradação das pastagens no Brasil, de acordo com Macedo e Araújo (2019), são: (i) espécie forrageira, inadequado ao local; (ii) Má formação inicial da pastagem, (iii) manejo e práticas culturais inadequadas (uso de fogo, excesso de roçadas, ausência de adubação, etc); (iv) ocorrência de pragas, doenças e plantas invasoras; (v) manejo animal equivocado, principalmente com excesso de lotação; e (vi) ausência ou uso incorreta de práticas de conservação do solo.

Esse fenômeno pode ser interpretado de diferentes formas por produtores e técnicos, uma vez que os sinais precoces nem sempre são perceptíveis. O estado de degradação de uma pastagem pode ser relativo e estar relacionado a aspectos particulares que dizem respeito a uma determinada região e ao nível tecnológico da propriedade rural (DIAS-FILHO, 2011).

Os estágios de degradação geralmente se refletem nas características morfológicas das plantas (redução da brotação e altura, áreas descobertas ou cobertura parcial do solo, invasão por plantas daninhas e pragas) e do solo (compactação, esgotamento nutricional, acidificação e erosão). Além disso, há redução na capacidade de suporte animal ao longo desse processo, a partir da menor produção de forragem com menor qualidade (MACEDO; ARAÚJO, 2019). Dias-Filho (2011) propôs uma classificação de níveis de degradação em pastagens (Tabela 1) a partir de fatores observados em diversas regiões brasileiras.

**Tabela 1.** Estádios de degradação (ED) de pastagens segundo parâmetros limitantes, indicadores de queda temporal na capacidade de suporte (QCS) e nível de degradação (ND).

Grupo	ED	Parâmetro limitante	QCS (%)	ND
Em degradação	1	Vigor e solo descoberto	≤20	Leve
	2	ED1 agravado + plantas invasoras	21-50	Moderado
Degradados	3	ED2 agravado ou morte das forrageiras (degradação agrícola)	51-80	Forte
	4	Solo descoberto + erosão (degradação biológica)	>80	Muito Forte

Fonte: Dias-Filho (2011).

No processo inicial de degradação há condições de se conter a queda da produtividade com ações mais simples, diretas e com menores custos operacionais, enquanto que o processo avançado necessita de ações mais drásticas e dispendiosas (MACEDO; ARAÚJO, 2019). De acordo com estes autores, a degradação em níveis avançados restringe as múltiplas funções das pastagens (manter a produção e qualidade da forragem, superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e plantas invasoras). Nesse caso, são mínimas as chances de recuperação natural, sem intervenções antrópicas (VALLE JÚNIOR *et al.*, 2019). Desse modo, a implementação de medidas de recuperação/renovação dessas áreas faz-se necessária.

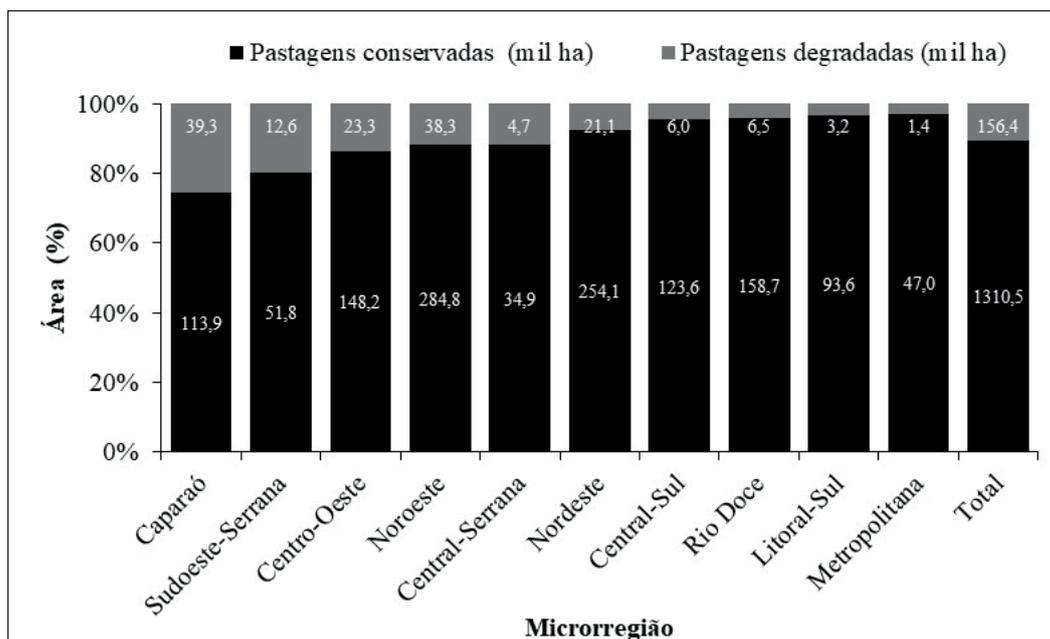
### Pastagens degradadas no Espírito Santo

O Espírito Santo apresenta 1,5 milhão de ha de pastagens, destas 156,4 mil ha (10,7%) se encontram degradadas, em condições precárias de manejo (IBGE, 2019), carecendo de desenvolver ações para mitigar tal problema. Uma parcela significativa dessas pastagens pertence à região montanhosa da Mata Atlântica, onde há rara aplicação de fertilizantes no solo e o sistema de rotação nas pastagens é praticamente inexistente (BERTOSSO *et al.*, 2016). Passos *et al.* (2017) observaram variações no nível de degradação nas pastagens dessa região de acordo com a exposição à radiação solar.

Analisando as microrregiões do estado, observou-se que o percentual de degradação do solo sob pastagem ultrapassa os 25% no Caparaó, e varia de 12 a 20% nas microrregiões Sudoeste-Serrana, Centro-Oeste, Noroeste e Central-Serrana (Figura 1). Os valores absolutos das microrregiões Caparaó e Noroeste destacam-se com 39,3 e 38,3 mil hectares de pastagem degradadas, respectivamente, enquanto Litoral-Sul e Metropolitana apresentam os menores valores, com 3,2 e 1,4 mil hectares, respectivamente. Áreas de pastagem degradadas com baixa produção de biomassa, muitas vezes com porcentagem significativa de solo descoberto, estão mais suscetíveis a sofrer erosão hídrica e perdas de nutrientes, intensificando o depauperamento do solo (VAN OUDENHOVEN *et al.*, 2015). Trabalho publicado por Silva *et al.* (2020) observou que os principais tipos de degradação do solo encontrados no município de Jerônimo Monteiro foram sob pastagens e que este uso ocupa

60,6% do solo. Esses resultados refletem um sério problema ambiental latente no estado e com sérios reflexos em questões sociais e econômicas.

**Figura 1.** Percentual de áreas de pastagem conservada e degradada nas microrregiões do estado do Espírito Santo.



Fonte: adaptado de IBGE (2019).

Um dos fatores que contribuem para a degradação do solo no estado sob pastagem é a declividade presente nas áreas. Esta declividade acentuada intensifica o escoamento superficial e, conseqüentemente, o processo erosivo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). De acordo com Souza *et al.* (2019), 40% da área capixaba de uso agrícola apresenta declividade do solo maior ou igual a 15%, carecendo de práticas de manejo para minimizar a erosão do solo. Amorim *et al.* (2001) observaram que o aumento da declividade do solo de 2 para 18% aumentou a perda de solo de erosão do solo de 5,24 para 34,60 t ha<sup>-1</sup>.

A erosão hídrica é a forma mais séria de degradação do solo, pois, além de reduzir a capacidade produtiva, causa prejuízos financeiros e ambientais em razão da perda de solo e nutrientes com redução do aporte de carbono no solo e contaminação dos rios e mananciais superficiais (BERTOL *et al.*, 2007). No estado, trabalhos científicos indicam valores de erosão do solo em área de pastagem variando de 0,01 a 49,13 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tabela 2), indicando que as pastagens bem manejadas são estratégias de conservação do solo, mas que quando mal manejadas contribuem para o processo erosivo e a degradação do solo.

**Tabela 2.** Perda de solo e água em cultivos agrícolas no Espírito Santo.

Uso do Solo	Perda de solo (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Perda de água (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Fonte
Mata	0,04 – 0,21	56,3 – 620,9	Martins et al. (2003)
Pastagem	0,01 – 49,13	7,5 – 1.258,7	Rocha Junior et al. (2017)
Café	0,52 – 40,00	12,5	Dadalto et al. (1995), Thomazini et al. (2012)
Eucalipto	0,21 – 3,20	45,5 – 477,9	Martins et al. (2003)
Solo exposto	0,32 – 41,83	94,3 – 1.559,8	

Uma prática de manejo ainda usada com frequência em algumas regiões do estado para renovação das pastagens é a aração no sentido do declive ou morro abaixo com implemento acoplado em um trator (Figura 2). A justificativa é a falta de mão de obra e a capacidade operacional que agilizariam o serviço. Esse tipo de preparo do solo vem contribuindo para a degradação do solo e da paisagem e o desenvolvimento acelerado da erosão em sulcos, com a ocorrência de voçorocas em diversas microbacias. A aração no sentido do declive cria caminhos preferenciais de escoamento. O fluxo hídrico de forma concentrada apresenta maior energia cinética para o transporte de partículas do solo e sedimentos. O aporte de sedimentos nos cursos d'água oriundos de áreas erodidas promove o assoreamento de rios e lagos, comprometendo a qualidade da água e contribuindo para o transbordamento dos rios (MARTINS *et al.*, 2003; MICHEL *et al.*, 2007).

Outra prática de manejo das pastagens rotineiramente utilizada no estado foi o uso do fogo e de fato contribuíram para a degradação do solo. Rocha Junior *et al.* (2017) observaram perdas de solo em pastagem em estágio inicial de degradação e queimadas no município de Alegre de 10,24 e 5,20 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, superiores às áreas recuperadas (0,01 a 1,54 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Essa prática vem sendo menos adotada em função da conscientização dos pecuaristas e devido à maior fiscalização do órgão competente, no entanto, esse fato não interfere sobre os riscos de incêndios naturais. Eugênio *et al.* (2016) demonstraram que uma combinação entre terrenos declivosos e zonas de pastagens podem ser interpretadas como de extremo risco para incêndios no estado do Espírito Santo.

**Figura 2.** Aração do solo no sentido do declive e pastagem degradada à margem do rio Itapemirim no município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, em 2016.

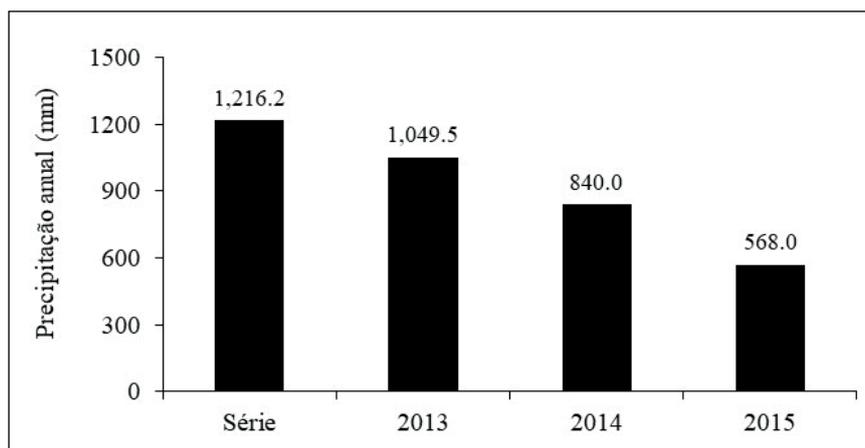


Fonte: autores.

A ocorrência de eventos climáticos extremos, como prolongados períodos de baixa precipitação pluvial ou chuva de alta intensidade que resultam em enchentes, também tem impactado a agricultura capixaba, com perdas de produtividade nas lavouras, povoamentos florestais e nos rebanhos (CAMPOREZ, 2016; CEASA-ES, 2016). A ocorrência de eventos extremos, como a elevação da temperatura do ar e a redução da precipitação reduzem a umidade do solo e degradam a matéria orgânica, minimizando a atividade biológica do solo, reduzindo seu potencial produtivo e a oferta de forragem aos rebanhos (HAILE *et al.*, 2008).

A região de Pacotuba, localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim, apresentou nos anos de 2013, 2014 e 2015 redução na precipitação anual de 14, 31 e 53% em relação à série histórica (1982-2012) (Figura 3), o que afetou o ciclo hidrológico, reduziu a disponibilidade hídrica superficial, contribuindo para a degradação do solo e reduziu a capacidade de suporte animal das pastagens da região. Essa seca severa que ocorreu no estado entre 2014 e 2016 resultou num prejuízo estimado em R\$ 3,6 bilhões (CAMPOREZ, 2015; FERNANDES *et al.*, 2016), devido principalmente as perdas nas atividades agrícolas.

**Figura 3.** Precipitação anual da série histórica (1982-2012) e nos anos subsequentes (2013, 2014 e 2015) da estação meteorológica instalada na Fazenda Experimental Bananal do Norte / Incaper, município de Cachoeiro de Itapemirim-ES



Fonte: Autores.

A recuperação da produtividade de pastagens degradadas deve ser atividade prioritária nas ações dos órgãos e agências governamentais no estado, buscando alternativas sustentáveis ao setor, a fim de conservar os ecossistemas agrícolas e os recursos naturais. A recuperação e a renovação das pastagens podem ainda aumentar o sequestro de C-CO<sub>2</sub> atmosférico, dessa forma, contribuir para reduzir as emissões de C-CO<sub>2</sub> e mitigar o aquecimento global, ajudando no cumprimento das metas firmadas pelo governo brasileiro em acordos internacionais (UNFCCC, 2015).

## ■ FORMAS DE RENOVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DAS PASTAGENS

As pastagens agrícolas devem ser renovadas ou recuperadas, quando não atingem níveis de produtividade satisfatória. Nesse sentido, a recuperação de uma pastagem caracteriza-se pelo restabelecimento da produção de forragem, mantendo-se a mesma espécie ou cultivar (MACEDO; ARAÚJO, 2019). De acordo com estes autores, no caso da renovação, o restabelecimento da produção da forragem é baseado na introdução de uma nova espécie ou cultivar, em substituição àquela que está degradada.

Para escolha pela recuperação ou renovação da pastagem, é necessário o levantamento de informações que englobem os sistemas de produção mais utilizados na região, características químicas, físicas e biológicas do solo, histórico da área, cobertura da pastagem, presença de plantas invasoras, declividade do terreno e índices zootécnicos (taxa de lotação, natalidade, mortalidade) (ZIMMER *et al.*, 2012). Maiores detalhes, exemplos e/ou obtenção de roteiro para diagnósticos podem ser consultados em Kichel *et al.* (2011), ou com a utilização do aplicativo Pasto Certo - versão 2.0® para escolha de forrageiras tropicais (BARRIOS *et al.*, 2019).

Na recuperação de uma pastagem são realizadas ações mecânicas (geralmente sub-solagens e escarificações) e/ou químicas (calagem, gessagem, adubação) para revigorar a produtividade da área, mantendo a espécie já utilizada (MACEDO; ARAÚJO, 2019). Quanto mais avançado o grau de degradação, mais drástica deverá ser a ação mecânica, podendo ser necessário o uso de outros implementos, como arados e grades, para a construção de terraços e outras estruturas para fins de conservação do solo.

Práticas agronômicas aplicadas para substituição da espécie em uso são utilizadas na renovação, e tem sido comumente empregada para reverter o processo de degradação em pastagens. Também são utilizadas práticas mecanizadas e a adequação da fertilidade do solo para viabilizar o sucesso da renovação. Contudo, são encontradas barreiras econômicas e práticas (competição da espécie introduzida com o banco de sementes da antecessora) e econômicas. Nesse caso, o preparo mecanizado do solo pode ser ineficiente em relação à introdução da nova espécie, especialmente se houver seletividade sob o pastejo (MACEDO; ARAÚJO, 2019; ZIMMER *et al.*, 2012).

A recuperação ou a renovação das pastagens também podem ser realizadas de formas indiretas. Na recuperação indireta, são utilizadas lavouras anuais (milheto, aveia, milho, soja etc.) por certo período de tempo (MACEDO; ARAÚJO, 2019). Essa prática vem sendo comprovada por inúmeros estudos, especialmente com leguminosas (LEMAIRE *et al.*, 2014), gerando maior agregação do solo (GARLAND *et al.*, 2017), aumento nos teores de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes por meio da proteção física contra a degradação biológica e física (SIX *et al.*, 2004), além da redução da necessidade de N-fertilizantes para a cultura de pastagem subsequente (KARKI *et al.*, 2009).

Outro exemplo é a dessecação do pasto e a semeadura sobre a palhada muito utilizado no região Centro-Oeste do país. Lanzanova *et al.* (2007) mostraram como a cobertura morta de gramíneas promovem melhorias no solo pela presença de ácidos orgânicos, o que favorece a estruturação/estabilização dos agregados do solo. Outro estudo de Oliveira Jr. *et al.* (2014) demonstraram que esses restos culturais também podem oferecer potenciais efeitos alelopáticos contra plantas daninhas, suprimindo sua emergência.

Na região do Tabuleiros Costeiros, como no norte do Espírito Santo e sul da Bahia, é comum o arrendamento de pastagens para plantios de mamão, maracujá e melancia. Após um ou dois ciclos de cultivo a pastagem é novamente estabelecida a partir do banco de sementes ou com uma semeadura complementar. Desse modo, é possível aproveitar a adubação residual empregada no cultivo mais intensivo para recuperar a pastagem existente com menores custos (MACEDO; ARAÚJO, 2019).

A renovação indireta segue a mesma linha de operações da recuperação indireta, mas com objetivo de substituir a espécie forrageira existente por outra de melhor valor nutritivo

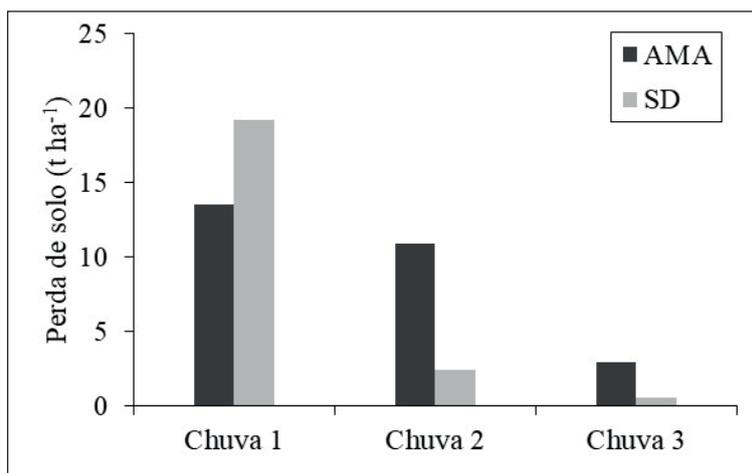
ou com diferentes características que as da espécie em degradação (TOZER *et al.*, 2013). Nesse processo, há perda de carbono do solo (principalmente no curto prazo) até que a forrageira introduzida se desenvolva (CURTIN *et al.*, 2010). Portanto, a inserção de espécies de enraizamento profundo é proposta como uma forma de alocar carbono em maior profundidade no solo (HAILE *et al.*, 2008; SACRAMENTO *et al.*, 2013). Nesse sentido, os sistemas integrados de pecuária-floresta e lavoura-pecuária-floresta atendem essas duas finalidades. Entretanto, pastagens em estádios avançados de degradação precisam primeiramente de práticas para recuperação do solo, o que na maioria dos casos, exige preparo de solo, terraceamento e incorporação de corretivos e fertilizantes (MACEDO; ARAÚJO, 2019).

## ■ PREPARO DO SOLO PARA PASTAGEM

Em regiões brasileiras de relevo declivoso, como na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, a renovação das pastagens é realizada predominantemente com o preparo convencional do solo no sentido do declive (aração morro abaixo). Essa prática é motivada pela dificuldade de realizar o preparo em nível, já que os tratores não trafegam em declividade superior a 30%, ou seja, tombam lateralmente.

Trabalhos de pesquisa mostram efeito do tipo de preparo do solo sobre o processo de erosão hídrica (ROCHA JÚNIOR *et al.*, 2017; BERTOL *et al.*, 2007). O preparo do solo no sentido do declive cria um caminho preferencial ao escoamento superficial, o que aumenta o volume de enxurrada e sua capacidade de carrear as partículas do solo, além de acelerar o processo de mineralização da matéria orgânica do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). Resultados de pesquisa demonstram uma maior perda de solo após renovação de uma pastagem degrada sob semeadura direta em relação a aração morro abaixo (Figura 4). Isso é explicado pela maior taxa de infiltração de água no solo após o revolvimento, enquanto o manejo com semeadura direta apresentou cobertura vegetal insuficiente para minimizar o processo erosivo. Contudo, o solo revolvido irá se acomodar com o tempo, reduzindo a taxa de infiltração, o que associado a desagregação física das partículas, resultou em maiores perdas de solo em relação à semeadura direta.

**Figura 4.** Perda de solo sob pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com aração morro abaixo (AMA) e semeadura direta (SD) na Fazenda Experimental de Bananal do Norte / Incaper, município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, em 2018.

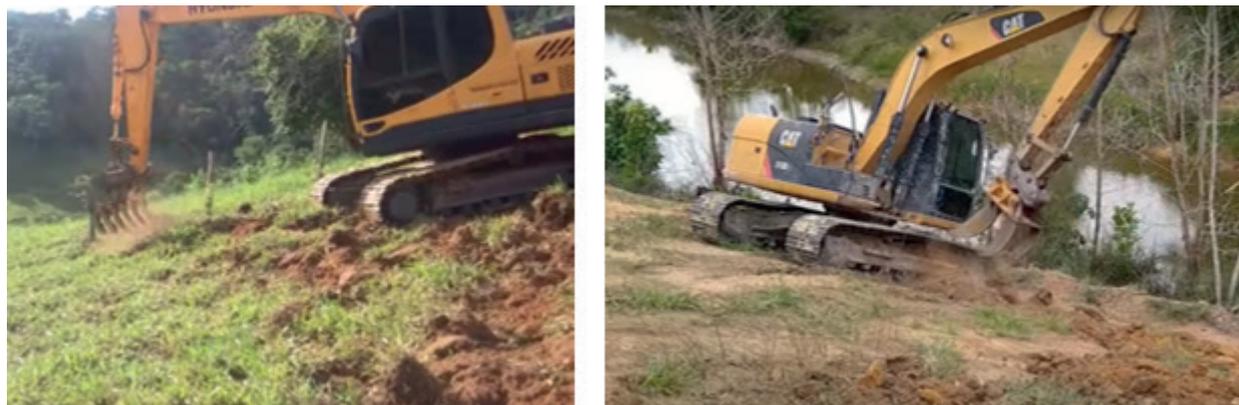


Fonte: autores.

O uso de práticas conservacionistas do solo pode reduzir a ação do processo erosivo em agroecossistemas tropicais (ROCHA JÚNIOR *et al.*, 2017; BERTOL *et al.*, 2007; MARTINS *et al.*, 2003; VAN OUDENHOVEN *et al.*, 2015). O preparo do solo em nível é uma prática agrícola que reduz as perdas de solo e água e favorece a infiltração de água no solo em relação ao plantio no sentido do declive (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). Outra alternativa para a renovação de pastagens em degradação é a semeadura sem o revolvimento da camada superficial do solo, preservando a umidade e reduzindo a temperatura do solo (BERTOL *et al.*, 2007). Essas práticas reduzem a velocidade do escoamento superficial, diminuindo o potencial erosivo da enxurrada (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Outra alternativa para o preparo mecanizado do solo em áreas declivosas é o uso de escavadeiras (esteiras) com estruturas mecânicas adaptadas na haste hidráulica simulando escarificadores e subsoladores (Figura 5). Essas máquinas trafegam em terrenos com declividade superior a 30% e permitem o preparo do solo em nível ou contorno com uma profundidade de 0,30 a 0,70 m. O custo horário varia no estado entre R\$ 170,00 e 250,00. Vale destacar que o preparo do solo a ser utilizado em uma recuperação/renovação de pastagem deve ser adequado, economicamente viável e de tecnologia acessível (NEVES JÚNIOR *et al.*, 2013).

**Figura 5.** Escavadeiras hidráulicas com estrutura adaptada para preparo de solo em área declivosas utilizadas no estado do Espírito Santo.



Fonte: L.C. Caetano e A. Caliarí.

Essas tecnologias viabilizam o preparo do solo em regiões declivosas e com baixa disponibilidade de mão de obra, possibilitando o uso de sistemas integrados de produção. Entretanto, o preparo do solo em área total, mesmo em nível, continua sendo um risco para a ocorrência de erosão hídrica e a degradação do solo. Assim, os sistemas integrados adotam princípios de conservação do solo (cultivo mínimo, rotação de culturas e acúmulo de palhada de culturas antecessoras na superfície), o que pode melhorar os efeitos sinérgicos do sistema produtivo, e pode ser um grande aliado contra a insegurança alimentar e energética global e as mudanças climáticas nas próximas décadas (BIELUCZYK *et al.*, 2020). A utilização de diferentes integrações vem sendo utilizadas em diversas áreas do globo, especialmente em áreas tropicais e subtropicais no Brasil (MAGALHÃES *et al.*, 2019; PACIULLO *et al.*, 2010, 2011a,b; PEZZOPANE *et al.*, 2019, 2020a,b; SOUSA *et al.*, 2015), objetivando intensificações mais sustentáveis. Dentre essas, destacam-se neste capítulo o sistema de integração pecuária-floresta (IPF), também conhecido como sistema silvipastoril (SSP), destacando a contribuição do componente arbóreo, como fator de incremento da sustentabilidade para a pecuária capixaba e brasileira.

## ■ SISTEMAS SILVIPASTORIS

Os sistemas silvipastoris (SSP) são uma modalidade de agrofloresta e integram componentes lenhosos (árvores e/ou arbustos), herbáceos (gramíneas e leguminosas) e animais herbívoros (CARVALHO; XAVIER, 2005). Em algumas formas de SSP, o componente arbóreo também pode ser forrageiro (à exemplo da leucina e amora) (NICODEMO *et al.*, 2018). Os SSP ocorrem de forma natural ou de forma planejada e sistematizada por meio da intervenção humana. A inclusão de árvores na pastagem pode contribuir agregando produtos madeireiros,

não madeireiros e serviços ambientais ao sistema produtivo. Já o produto principal poderá ser o arbóreo ou o animal, dependendo do produtor rural (CARVALHO; XAVIER, 2005).

Neste documento, consideraram-se como SSP aqueles sistemas que apresentam pelo menos 10% de cobertura da superfície do solo (NICODEMO *et al.*, 2018). Em geral, são propostas densidades de árvores entre 150 e 300 plantas/ha, especialmente quando o objetivo principal é produzir madeira com qualidade para serraria, agregado valor econômico ao sistema de produção (NICODEMO *et al.*, 2018).

No estado, o plantio e a manutenção sistematizada de árvores em pastagens cultivadas, ou seja, em sistemas silvipastoris planejados, ainda é erroneamente entendida como uma prática pouco aconselhada por grande parte dos agricultores, mas a manutenção espontânea de árvores em pastagens (SSP espontâneos) é uma prática observada entre os agricultores familiares no sul do estado, observando-se de 7,0 a 44,9 árvores/ha em pastagens arborizadas na região (DAN, 2020). No estado, o plantio e a manutenção sistematizada de árvores em pastagens cultivadas, ou seja, em sistemas silvipastoris planejados, ainda é erroneamente entendida como uma prática pouco aconselhada por grande parte dos agricultores, mas a manutenção espontânea de árvores em pastagens (SSP espontâneos) é uma prática observada entre os agricultores familiares no sul do estado, observando-se de 7,0 a 44,9 árvores/ha em pastagens arborizadas na região (DAN, 2020). Entretanto, a maioria das pastagens cultivadas nos biomas Mata Atlântica tem apenas quatro a cinco árvores adultas/ha, o que resulta numa disponibilidade de sombreamento nas pastagens inferior a 1% da área total (NICODEMO *et al.*, 2018), apesar da introdução de árvores e arbustos em pastagens de gramíneas acarretarem em vários benefícios. Pastagens monoespecíficas possibilitam poucos estímulos e limitam a capacidade dos animais de expressarem o comportamento normal da espécie, como o ato dos animais ao roçarem seus corpos nos troncos das árvores em SSP, como forma de auto limpeza contra moscas e parasitas, de se agruparem sob as copas das árvores em busca de conforto térmico, ócio, ruminação e refúgio, por exemplo, prejudicando o bem estar animal e culminando em perdas produtivas devido ao gasto energético para manutenção da homeostase (DAN, 2020).

As árvores interagem com os demais componentes dos sistemas, impactando o microclima, os solos, as pastagens e os animais. A presença das árvores na pastagem altera o microclima (Tabela 3). As principais mudanças causadas por sistemas sombreados são a redução da irradiância solar e da velocidade do vento (BOSI *et al.*, 2020; PEZZOPANE *et al.* 2015). Essas mudanças afetam a evapotranspiração da pastagem e, conseqüentemente, a disponibilidade de água no solo (BOSI *et al.*, 2020). Deniz *et al.* (2019) observaram menores temperaturas no sistema sombreados e atribuíram esse efeito a presença dos componentes arbóreos, bem como maiores teores de umidade relativa e de incidência da radiação

solar. Além disso, esses autores evidenciaram que a função de árvores como barreira para o vento contribui para redução da evaporação da água do solo e da transpiração pelas plantas, culminando com maior disponibilidade de água no solo. Dominicano *et al.* (2020) também relataram melhoria nos índices de conforto térmico para os animais, em detrimento do sombreamento moderado.

Por outro lado, sombra em excesso para gramíneas não tolerantes reduzem a taxa de fotossíntese, o perfilhamento, a produção de matéria seca e o crescimento radicular, e conseqüentemente tem seus mecanismos de adaptação ao estresse prejudicados, os quais requerem mais interferência do sistema radicular, tais como a remoção severa da área foliar e o manutenção do potencial hídrico (SOUSA *et al.*, 2015). Nesse sentido, diversos trabalhos relacionaram alterações na produtividade de forrageiras em função dos sistemas de manejo de pastagem (Tabela 4).

**Tabela 3.** Variáveis climáticas em pastagens em sistema de manejo sombreados e a pleno sol.

Fonte	Cultura	Temperatura do ar (°C)		Umidade relativa (%)		Velocidade do vento (m/s)		Radiação solar (%)	
		Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra
Bosi <i>et al.</i> (2020)	<i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã	19,9-22,9	19,8-22,9	57-78	57-79	2,24	1,13	100	28-71
Deniz <i>et al.</i> (2019)	<i>Axonopus catarinenses</i> , <i>Arachis pintoi</i> e <i>Paspalum notatum</i> .	25,9	23,5	48	55	0,9	0,5	100	41
Domiciano <i>et al.</i> (2020)	<i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu	28,8-31,1	28,5-30,8	-	-	-	-	100	71-74
Pezzopane <i>et al.</i> (2015)	<i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk	20,3	20,1-20,3	74	73-75	1,5	0,7	100	61-92
Sousa <i>et al.</i> (2015)	<i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu	20,5-33,5	21,0-28,0	71,3	76,2	-	-	100	56

Em condições de sombra moderada, há evidências da manutenção ou até mesmo de um aumento na produção de biomassa de diversas forragens quando comparadas às condições de pleno sol (Tabela 4). Nessa situação, também se encontra níveis mais altos de proteína bruta da pastagem sombreada, com incremento variando de 3 a 45%. Esse fato pode estar relacionado com a mineralização mais significativa da matéria orgânica do solo sob sombra do que a pleno sol (PACIULLO *et al.*, 2010). Logo, pode-se atribuir que boa parte do aumento em valor nutritivo da forragem sombreada está associada à melhoria da fertilidade do solo (PEZZOPANE *et al.*, 2019). Paciullo *et al.* (2011) notaram que o sombreamento moderado resultou em maiores acúmulos diários de forragem e de proteína bruta, obtidos a 8,8 e 6,6 m, respectivamente, de distância do renque de árvores de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium*.

Outros estudos relacionados afirmaram que as gramíneas tropicais reduzem suas produções de forragem quando os níveis de sombra excedem 50% da radiação incidente devido à diminuição acentuada nas taxas fotossintéticas na rota metabólica C4 (DEVKOTA *et al.*,

2009; PACIULLO *et al.*, 2010a). Pezzopane *et al.* (2019) constataram que em condições de sombreamento acima de 30% a produção de milho para silagem e *Brachiaria brizantha* cv. Piatã foram reduzidas significativamente. Entretanto, a tolerância ao sombreamento varia para cada caso em específico.

**Tabela 4.** Matéria seca e teor de proteína de forrageiras em sistemas de manejo sombreados e a pleno sol.

Fonte	Cultura	Matéria Seca (kg ha <sup>-1</sup> )		Proteína Bruta (%)	
		Sol	Sombra	Sol	Sombra
Domiciano <i>et al.</i> (2020)	<i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu	3,870 <sup>a</sup> - 4.100 <sup>b</sup>	2.830 <sup>c</sup> - 3.780 <sup>d</sup>		
Magalhães <i>et al.</i> (2019)	<i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu	13.410 <sup>a</sup> - 21.520 <sup>b</sup>	14.880 <sup>c</sup> - 21.430 <sup>d</sup>	-	-
Paciullo <i>et al.</i> (2011a)	<i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk	-	1.789 - 2.789 <sup>d</sup>	6,5	9,8 <sup>d</sup>
Paciullo <i>et al.</i> (2011b)	<i>Urochloa brizantha</i> cv. Basilisk	2.004 - 2.283 <sup>a</sup>	1.823 - 2.124 <sup>c</sup>	7,8 <sup>a</sup>	8,8 <sup>c</sup>
Pezzopane <i>et al.</i> (2019)	Milho silagem	10.082 <sup>b</sup>	7.541 <sup>d</sup>	-	-
Pezzopane <i>et al.</i> (2019)	<i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã	3.010 <sup>b</sup>	2.578 <sup>d</sup>	10,4 <sup>b</sup>	14,0 <sup>d</sup>
Pezzopane <i>et al.</i> (2020b)	<i>Urochloa</i> ssp.	473 <sup>a</sup> - 1.638 <sup>b</sup>	741 <sup>a</sup> - 790 <sup>b</sup>	7,68 <sup>a</sup> - 8,91 <sup>b</sup>	12,13 <sup>c</sup> - 14,02 <sup>d</sup>
Pezzopane <i>et al.</i> (2020a)	Milho silagem	13.070 <sup>b</sup>	13.698 <sup>d</sup>	4,51 <sup>b</sup>	7,22 <sup>d</sup>
Pezzopane <i>et al.</i> (2020a)	<i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã	1.874 <sup>b</sup>	1.790 <sup>d</sup>	10,8 <sup>b</sup>	15,3 <sup>d</sup>
Sousa <i>et al.</i> (2015)	<i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu	7,28 <sup>a</sup>	7,84 <sup>c</sup>	11,8 <sup>a</sup>	12,2 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> pastagem em monocultivo, <sup>b</sup> Integração lavoura-pecuária, <sup>c</sup> Integração pecuária-floresta, <sup>d</sup> Integração lavoura-pecuária-floresta.

Por exemplo, as gramíneas do gênero *Urochloa* (*U. decumbens*, *U. ruzizensis*, *U. brizantha* cv. Marandu e Xaraes) apresentam tolerância ao sombreamento moderado, de 36 a 54%, e por isso podem ser consideradas mais compatíveis com os SSP (PACIULLO *et al.*, 2011b). Em geral, as forrageiras não tolerantes ao sombreamento possuem menor produtividade quando comparadas às espécies tolerantes em cultivo sob luminosidade reduzida, devido a alterações morfofisiológicas (ABRAHAM *et al.*, 2014). O planejamento na implantação dos SSP's, principalmente em relação ao arranjo espacial e manejo das copas arbóreas, é um fator importante para o sucesso do empreendimento agrícola (NICODEMO *et al.*, 2018). Assim, os SSP ainda podem garantir desempenho animal semelhante ou maior do que na pastagem em monocultura (Tabela 5).

Paciullo *et al.* (2011b) observaram um aumento de 22 a 40% e de 15 a 41% no ganho de peso vivo diária e no ganho por área, respectivamente, em sistemas sombreados em relação ao pastejo convencional. Em estudo similar, Domiciano *et al.* (2020) observaram aumento de 4 a 42% e de 4 a 68% nos ganhos de peso diária e por área, respectivamente. Entretanto, Magalhães *et al.* (2019) e Sousa *et al.* (2015) encontraram resultados diferentes, com menores ganhos de peso diária e por área nos manejos sombreados da pastagem em

relação ao manejo convencional. Mesmo assim, Sousa *et al.* (2015) obtiveram aumento do consumo de matéria seca e no tempo de pastejo, além de redução da ingestão total de água e tempo de caminhada de ovinos em pastejo no sistema silvipastoril em relação ao controle. Dominicano *et al.* (2020) concluíram que os maiores rendimentos podem ser alcançados com a inclusão do componente agrícola (lavoura) nos sistemas de produção pecuária, e que novilhos Nelore em sistemas silvipastoris preferem ruminar e permanecer ociosos à sombra e por consequência apresentaram os maiores ganhos de peso por área.

**Tabela 5.** Desempenho animal em sistemas de manejo sombreados e a pleno sol.

Fonte	Animal	Ganho médio diário (kg dia <sup>-1</sup> )		Ganho por área (kg ha <sup>-1</sup> )	
		Sol	Sombra	Sol	Sombra
Paciullo <i>et al.</i> (2011b)	Bovino / Holstein × Zebu (Gir)	0,515 – 0,624 <sup>a</sup>	0,628 – 0,722 <sup>c</sup>	211 – 256 <sup>a</sup>	242 – 298 <sup>c</sup>
Magalhães <i>et al.</i> (2019)	Bovino / Nelore	0,212 <sup>a</sup> – 0,515 <sup>b</sup>	0,118 <sup>c</sup> – 0,372 <sup>d</sup>	21 <sup>b</sup> – 45 <sup>a</sup>	12 <sup>c</sup> – 42 <sup>d</sup>
Domiciano <i>et al.</i> (2020)	Bovino / Nelore	0,53 <sup>a</sup> – 0,67 <sup>b</sup>	0,55 <sup>c</sup> – 0,75 <sup>d</sup>	560 <sup>a</sup> – 730 <sup>b</sup>	585 <sup>c</sup> – 940 <sup>d</sup>
Sousa <i>et al.</i> (2015)	Ovelhas	0,039	0,035	-	-

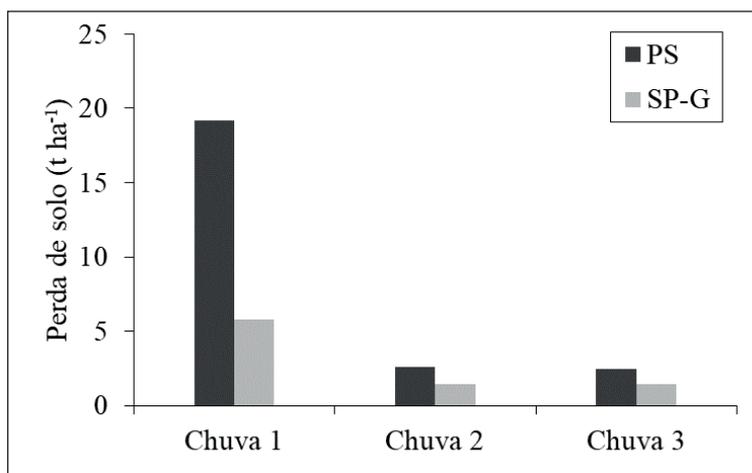
<sup>a</sup> pastagem em monocultivo, <sup>b</sup> Integração lavoura-pecuária, <sup>c</sup> Integração pecuária-floresta, <sup>d</sup> Integração lavoura-pecuária-floresta.

Vale salientar que no bioma Mata Atlântica, os problemas são mais relacionados ao pouco sombreamento e raramente ao excesso (NICODEMO *et al.*, 2018). No estado do Espírito Santo, nas pastagens degradadas com declividade acentuada, é recomendada a implantação dos renques de árvores em nível, para aumentar o controle da erosão superficial, entretanto, quando o plantio é realizado no sentido norte/sul, existe a possibilidade de um maior sombreamento do pasto, novamente destacando a importância da radiação nos processos fotossintéticos das forragens (PACIULLO *et al.*, 2011a).

## SSP e recuperação de áreas degradadas

A implantação de sistemas silvipastoris (SSP) é apontada como uma opção viável para a recuperação de pastagens em processo de degradação (DIAS-FILHO, 2011; VAN OUDENHOVEN *et al.*, 2015). Os benefícios englobam fatores que melhoram a qualidade do solo, como aumento no estoque de carbono (HAILE *et al.*, 2008), redução da compactação e aumento da infiltração de água no solo (KARKI *et al.*, 2009), o que é uma alternativa viável em áreas declivosas como no sul do estado, a fim de minimizar a erosão hídrica e a degradação do solo. Em pesquisa realizada na FEBN / Incaper, município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, estes autores observaram menores perdas de solo sob pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu no sistema silvipastoril com gliricídia em relação ao manejo a pleno sol (Figura 5). Essa redução variou entre 42 e 70% nos três eventos erosivos analisados, resultado da maior interceptação das gotas de chuva pelo componente arbórea, associado a barreira física ocasionada pelas linhas das árvores plantadas em nível.

**Figura 6.** Perda de solo sob pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu nos manejos a pleno sol (PS) e silvipastoril com gliricídia (SP-G) na Fazenda Experimental de Bananal do Norte / Incaper, município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, em 2018.

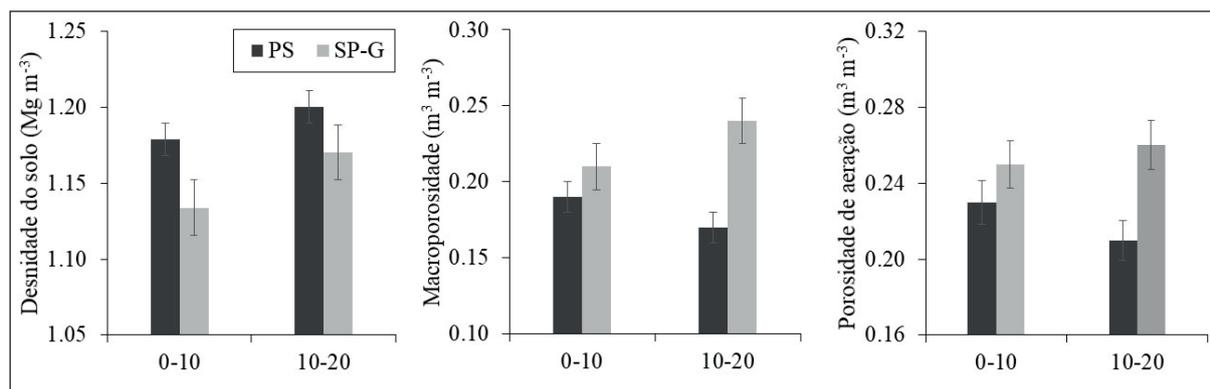


Fonte: autores.

Outro benefício de sistemas silvipastoris é a melhoria da ciclagem de nutrientes e o uso da água do solo, com a absorção em camadas mais profundas, local não explorado pelas raízes da pastagem (DIAS-FILHO, 2011). Estudos também indicam um maior aporte de matéria orgânica nesses sistemas (MAIA *et al.*, 2007; HAILE *et al.*, 2008), o que resulta em benefícios físicos, químicos e biológicos para os solos tropicais. Constatou-se redução da densidade do solo e aumento da macroporosidade e da porosidade de aeração do solo sob pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu no sistema silvipastoril com gliricídia em relação ao manejo a pleno sol (Figura 6). Melhorias na qualidade física do solo contribuem para a desenvolvimento e longevidade das pastagens, o que contribuem para a sustentabilidade do ambiente de produção.

O uso de leguminosas no estrato arbóreo em SSP proporciona ainda o aporte biológico de nitrogênio no solo (SACRAMENTO *et al.*, 2013), com melhoria da fertilidade, além de potencial de uso na alimentação animal em períodos de seca (banco de proteína). Melhorias no microclima também ocorrem com a instalação de SSP, como o aumento da umidade e redução da temperatura do solo, diminuindo sua evapotranspiração (SOARES *et al.*, 2009; KIRCHNER *et al.*, 2010). Esses fatores são evidenciados em ambientes de clima tropical, onde temperaturas elevadas e a falta de umidade do solo limitam o crescimento da forragem (CARVALHO; XAVIER, 2005). Dessa forma, os SSP são uma opção viável em locais de baixa disponibilidade hídrica e solos com baixa fertilidade, tornando-se uma prática sustentável e de aplicação prática, com significativos benefícios ambientais e econômicos.

**Figura 7.** Atributos físicos do solo sob pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu nos manejos a pleno sol (PS) e silvipastoril com gliricídia (SP-G) na Fazenda Experimental de Bananal do Norte / Incaper, município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, em 2018.



Fonte: autores.

A biodiversidade de espécies arbóreas nesses sistemas promove diversidade na qualidade de serapilheira, reduzindo a dominância e aumentando a diversidade e riqueza dos organismos do solo (GIRALDO *et al.*, 2011), o que maximiza a funcionalidade dos serviços ecossistêmicos via aumento dos estoques de C e melhor equilíbrio entre as frações lábeis e recalcitrante da matéria orgânica do solo (BENTO *et al.*, 2020; BIELUCZYK, *et al.* 2020). Diante de tantos pontos positivos, vale ressaltar que esses sistemas podem ser adotados por produtores rurais no estado (NICODEMO *et al.*, 2018), independentemente do tamanho de suas propriedades, e podem beneficiar de modo geral o componente animal.

Em termos econômicos, os SSP têm potencial de diversificar a renda do agricultor pela possibilidade de comercialização dos produtos gerados pelas espécies florestais, sendo uma fonte de renda extra a médio ou longo prazo (DIAS-FILHO, 2011; KIRCHNER *et al.*, 2010). Esses fatores são evidenciados em ambientes de clima tropical, como o estado do Espírito Santo, onde temperaturas elevadas e a baixa umidade do solo limitam o crescimento da forragem.

## ■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pecuária é uma atividade de importância econômica, social e ambiental no estado do Espírito Santo, presente em diversos municípios em todas as microrregiões. A presença de pastagens em diferentes estados de degradação destaca a necessidade de medidas mitigadoras, seja por intervenções mecânicas e estruturais nas áreas de produção, ou por adequações de manejo mais intensivos e com caráter conservacionista. A renovação de pastagens associada a semeadura direta sem revolvimento do solo, tem se mostrado eficiente. No caso da necessidade de preparo do solo em terrenos declivosos, escavadeira hidráulica adaptada com subsolador ou escarificador tem sido utilizada. O uso de sistemas

silvipastoris também pode contribuir para aliar conservação dos recursos naturais, manutenção da produtividade animal e diversificação econômica, com a introdução do extrato arbóreo. A conservação do solo, a redução do processo erosivo e o controle da degradação do solo são ações necessárias para a manutenção, longevidade e sustentabilidade destes sistemas de produção.

## ■ AGRADECIMENTOS

À SEAG e à FAPES pelo financiamento da pesquisa (Processo FAPES 76437949) e ao INCAPER pela disponibilidade da infraestrutura para instalação e condução da pesquisa.

## ■ REFERÊNCIAS

1. ABRAHAM, E.M.; KYRIAZOPOULOS, A.P.; PARISSI, Z.M.; KOSTOPOULOU, P.; KARATAS-SIOU, M.; ANJALANIDOU, K.; KATSOUTA, C. Growth, dry matter production, phenotypic plasticity, and nutritive value of three natural populations of *Dactylis glomerata* L. under various shading treatments. **Agroforestry Systems**, v.88, p. 287-299, 2014.
2. AMORIM, R.S.S.; SILVA, D.D. da; PRUSKI, F. F.; MATOS, A.T. de. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.124-130, 2001.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA EXPORTADORA DE CARNE (ABIEC). **Beef Report: Perfil da Pecuária no Brasil 2020**. Disponível em: <[https://www.cicarne.com.br/wp-content/uploads/2020/05/SUM%c3%81RIO-BEEF-REPORT-2020\\_NET.pdf](https://www.cicarne.com.br/wp-content/uploads/2020/05/SUM%c3%81RIO-BEEF-REPORT-2020_NET.pdf)>. Acesso em: 12 out. 2020.
4. BARRETO, P.; SARTORI, M. **Levantamento das áreas agrícolas degradadas no Estado do Espírito Santo**. Vitória: CEDAGRO, 2012. 63p.
5. BARRIOS, S.C.L.; CARROMEU, C.; MATSUBARA, E.T.; CRIVELLARO, L.L.; SILVA, M.A.I. da; VALLE, C.B. do; SANTOS, M.F.; JANK, L. **Pasto Certo - versão 2.0®**: Aplicativo para dispositivos móveis e desktop sobre forrageiras tropicais. Comunicado técnico, n. 148. Brasília: Embrapa, 2019. 13 p.
6. BENTO, G.P.; SCHMITT FILHO, A.L.; FAITA, M.R. Sistemas silvipastoris no Brasil: uma revisão sistemática. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e7019109016-e7019109016, 2020.
7. BERTOL, I.; COGO, N.P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J.C.; AMARAL, A.J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.1, p.133-142, 2007.
8. BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Icone, 2005. 355p.
9. BERTOSSI, A. P. A.; ROCHA JÚNIOR, P. R.; RIBEIRO, P. H.; MENEZES, J. P. C.; CECÍLIO, R. A.; ANDRADE, F. V. Soil cover and chemical and physical attributes in Oxisol in the Atlantic Forest Biome. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p. 219-228, 2016.

10. BIELUCZYK, W.; PICCOLO, M. de C.; PEREIRA, M.G.; MORAES, M.T. de; SOLTANGHEISI, A.; BERNARDI, A.C. de C.; PEZZOPANE, J.R.M.; OLIVEIRA, P.P.A.; MOREIRA, M.Z.; CAMARGO, P.B. de; DIAS, C.T. DOS S.; BATISTA, I.; CHERUBIN, M.R Integrated farming systems influence soil organic matter dynamics in southeastern Brazil. **Geoderma**, v.371, 114368, 2020.
11. BOSI, C.; SENTELHAS, P.C.; PEZZOPANE, J.R.M.; SANTOS, P.M. CROPGRO-Perennial Forage model parameterization for simulating Piatã palisade grass growth in monoculture and in a silvopastoral system. **Agricultural Systems**, v. 177, 102724, 2020.
12. CAMPOREZ, P. Guerra da Água. **Gazeta Online**, 2015. Disponível em: <<https://especiais.gazetaonline.com.br/guerrapelaagua/>>. Acesso em: 1 nov. 2020.
13. CAMPOREZ, P. Seca faz produção cair até 70% no Espírito Santo. G1 Espírito Santo, 2016b. Disponível em: <<http://g1.globo.com/espírito-santo/agronegocios/noticia/2016/10/seca-faz-producao-cair-ate-70-no-espírito-santo.html>>. Acesso em: 1 nov. 2020.
14. CARVALHO, M.M.; XAVIER, D.F. Sistemas silvipastoris para recuperação e desenvolvimento de pastagens. In: AQUINO, A.M. de; ASSIS, R.L. **Agroecologia: Princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília-DF: Embrapa, 2005. p. 498-517.
15. CENTRAIS DE ABASTECIMENTO DO ESPÍRITO SANTO (CEASA-ES). **Seca no ES: prejuízo de mais de R\$ 3,6 bilhões na agricultura**. 2016. Disponível em: <<https://ceasa.es.gov.br/Not%C3%ADcia/seca-no-es-prejuizo-de-mais-de-r-3-6-bilhoes-na-agricultura>>. Acesso em: 20 de Outubro de 2020.
16. CURTIN, D.; BEARE, M.H.; FRASER, P.M.; GILLESPIE, R.; HARRISON-KIRK, T. Soil organic matter loss following land use change from long-term pasture to arable cropping: pool size changes and effects on some biological and chemical functions. In: **19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World**. 2010. p. 1-6.
17. DADALTO, G. G.; LANI, J. A.; PREZOTTI, L. C. Conservação do solo. In: COSTA, E. B. (Coord.). **Manual técnico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo**. Vitória, ES: SEAG-ES, 107-110, 1995.
18. DAN, M.L. **Seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris a partir de uma abordagem etnoecológica no sul do Espírito Santo**. 2020. 262 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2020.
19. DENIZ, M.; SCHMITT FILHO, A.L.; FARLEY, J.; QUADROS, S.F. de; HÖTZEL, M.J. High biodiversity silvopastoral system as an alternative to improve the thermal environment in the dairy farms. **International journal of biometeorology**, v. 63, n. 1, p. 83-92, 2019.
20. DEVKOTA, N.R.; KEMP, P.D.; HODGSON, J.; VALENTINE, I.; JAYA, I.K.D. Relationship between tree canopy height and the production of pasture species in a silvopastoral system based on alder trees. **Agroforestry Systems**, v. 76, n. 2, p. 363-374, 2009.
21. DIAS-FILHO, M.B. **Degradação de pastagens**: processos, causas e estratégias de recuperação, 4 ed. Belém: MBDF, 2011. 215p.
22. DOMICIANO, L. F.; PEDREIRA, B.C.; SILVA, N.M.F. da; MOMBACH, M.A.; CHIZZOTTI, F.H.M.; BATISTA, E.D.; CARVALHO, P.; CABRAL, L.S.; PEREIRA, D.H.; NASCIMENTO, H.L.B. do. Agroforestry systems: an alternative to intensify forage-based livestock in the Brazilian Amazon. **Agroforestry Systems**, v. 94, p. 1839-1849, 2020.

23. EMBRAPA. **ILPF em números**. Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop - MT (2016). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1064859/ilpf-em-numeros>>. Acesso em: 23 de maio de 2021.
24. ESPÍRITO SANTO. Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca. **Novo PEDEAG 2007-2025: Planejamento estratégico de desenvolvimento da agricultura capixaba**. Vitória: SEAG, 2008. 284p.
25. FERNANDES, V.; RIBEIRO, W.; LOPES, R. Seca no ES: crimes aumentam na 'guerra' pela água. **G1**, 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2016/09/seca-no-es-crimes-aumentam-na-guerra-pela-agua.html>>. Acesso em: 1 nov. 2020.
26. GALEANO, E.A.V.; BORGES, V.A.J.; OLIVEIRA, L.R.; CHIPOLESCH, J.M.A. **Síntese da Produção Agropecuária do Espírito Santo 2013/2014**. Vitória, ES: Incaper, 2016. 116p. (Incaper. Documentos, 239).
27. GARLAND, G.; BÜNEMANN, E.K.; OBERSON, A.; FROSSARD, E.; SIX, J. Plant-mediated rhizospheric interactions in maize-pigeon pea intercropping enhance soil aggregation and organic phosphorus storage. **Plant and Soil**, v. 415, n. 1, p. 37-55, 2017.
28. GIRALDO, C.; ESCOBAR, F.; CHARA, J. D.; CALLE, Z. The adoption of silvopastoral systems promotes the recovery of ecological processes regulated by dung beetles in the Colombian Andes. **Insect Conservation and Diversity**, v.4, p.115-122, 2011.
29. HAILE, S.G.; NAIR, P.K.R.; NAIR, V.D. Carbon storage of different soil-size fractions in florida silvopastoral systems. **Journal of Environmental Quality**, v.37, p.1789-1797, 2008.
30. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 146p.
31. KARKI, U.; GOODMAN, M.S.; SLADDEN, S.E. Nitrogen source influences on forage and soil in young southern-pine silvopasture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.131, n.1, p.70-76, 2009.
32. KICHEL, A. N.; COSTA, J. A. A. da; VERZIGNASSI, J. R.; QUEIROZ, H. P. de **Diagnóstico para o planejamento da propriedade**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2011. 42 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 182).
33. KIRCHNER, R.; SOARES, A.B.; SARTOR, L.R.; ADAMI, P.F.; MIGLIORINI, F.; FONSECA, L. Desempenho de forrageiras hibernais sob distintos níveis de luminosidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.11, p.2371-2379, 2010.
34. LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R. da S. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 31, n. 5, p. 1131-1140, 2007.
35. LEMAIRE, G. FRANZLUEBBERS, A.; CARVALHO, P.C. de F.; DEDIEU, B. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 4-8, 2014.
36. MACEDO, M. C. M.; DE ARAÚJO, A. R. Sistemas de produção em integração: alternativa para recuperação de pastagens degradadas. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (Ed.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 295-317.

37. MAGALHÃES, C.A.S.; PEDREIRA, B.C.; TONINI, H.; FARIAS NETO, A. L. Crop, livestock and forestry performance assessment under different production systems in the north of Mato Grosso, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 93, p. 2085-2096, 2019.
38. MAIA, S.M.F.; XAVIER, F.A.S.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S.; ARAÚJO FILHO, J.A. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. **Agroforestry Systems**, v.71, n.2, p.127-138, 2007.
39. MARTINS, S.G; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S.; MARQUES, J.J. G.S.M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p.395-403, 2003.
40. MICHEL, G.A.; NAIR, V.D.; NAIR, P.K.R. Silvopasture for reducing phosphorus loss from subtropical sandy soils. **Plant and Soil**, v.297, n.1, p.267-276, 2007.
41. NEVES JUNIOR, A. F.; DA SILVA, A. P.; NORONHA, N. C.; CERRI, C. C. Sistemas de manejo do solo na recuperação de uma pastagem degradada em Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 232-241, 2013.
42. NICODEMO, M. L. F.; GARCIA, A.R.; SILVA, V. P. da; PACIULLO, D. S.C. **Desempenho, saúde e conforto animal em sistemas silvipastoris no Brasil**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2018. 44p. – (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 129)
43. OLIVEIRA, P. de; KLUTHCOUSKI, J.; FAVARIN, J. L.; SANTOS, D. de C. Consórcio de milho com braquiária e guandu-anão em sistema de dessecação parcial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1184-1192, 2011.
44. PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.M.; MAURICIO, R.M.; PIRES, M.F.A.; MULLER, M.D.; XAVIER, D.F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, v. 141, p. 166-172, 2011a.
45. PACIULLO, D.S.C.; FERNANDES, P.B.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; SOUZA SOBRI-NHO, F.; CARVALHO, C.A.B. The growth dynamics in *Brachiaria* species according to nitrogen dose and shade. **Brazilian Journal of Animal Science**, v. 40, p.270-276, 2011b.
46. PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T. de; GOMIDE, C.A. de M.; FERNANDES, P. B.; ROCHA, W.S.D. da; MÜLLER, M.D.; ROSSIELLO, R. O. P. Soil bulk density and biomass partitioning of *Brachiaria decumbens* in a silvopastoral system. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 5, p. 598-603, 2010.
47. PASSOS, R. R.; DA COSTA, L. M.; ASSIS, I. R.; SANTOS, D. A.; RUIZ, H. A.; GUIMARÃES, L. A. O. P.; ANDRADE, F. V. Least limiting water range of Udox soil under degraded pastures on different sun-exposed faces. **International Agrophysics**, v. 31, n. 3, p. 393, 2017.
48. PEZZOPANE, C. de G.; SANTOS, P.M.; CRUZ, P.G. da; ALTOÉ, J.; RIBEIRO, F.A.; VALLE, C. B. do. Estresse por deficiência hídrica em genótipos de *Brachiaria brizantha*. **Ciência Rural**, v. 45, n. 5, p. 871-876, 2015.
49. PEZZOPANE, J.R.M., BERNARDI, A.C.C., BOSI, C.; OLIVEIRA, P.P.A.; MARCONATO, M.H.; PEDROSO, A.F.; ESTEVES, S.N. Forage productivity and nutritive value during pasture renovation in integrated systems. **Agroforestry Systems**, v. 93, p. 39-49, 2019.
50. PEZZOPANE, J.R.M., BONANI, W.L.; BOSI, C.; ROCHA, E.L.F.; BERNARDI, A.C.C., OLIVEIRA, P.P.A.; PEDROSO, A.F. Reducing competition in a crop–livestock–forest integrated system by thinning eucalyptus trees. **Experimental Agriculture**, p. 1–13, 2020a.

51. PEZZOPANE, J.R.M., BERNARDI, A.C.C., AZENHA, M.V.; OLIVEIRA, P.P.A.; BOSI, C.; PEDROSO, A.F.; ESTEVES, S.N. Production and nutritive value of pastures in integrated livestock production systems: shading and management effects. **Scientia Agricola**, v. 77, n. 2, e20180150, 2020b.
52. ROCHA JUNIOR, P.R. DA; ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E. DE S.; DONAGEMMA, G.K.; FERNANDES, R.B.A.; BHATTARAI, R.; KALITA, P.K. Soil, water, and nutrient losses from management alternatives for degraded pasture in Brazilian Atlantic Rainforest biome. **Science of The Total Environment**, v.583, p. 53-63, 2017.
53. SACRAMENTO, J.A.A.S.; ARAÚJO, A.C.M.; ESCOBAR, M.E.O.; XAVIER, F.A.S.; CAVALCANTE, A.C.R.; OLIVEIRA, T.S. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.3, p.784-795, 2013.
54. SILVA, G.M.A.; FIEDLER, N.C.; SILVA, E.C.; RAMALHO, A.H.C. Ocupação da Terra e Diagnóstico de Degradação em Município no Sul do Espírito Santo. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.16, n.1, p. 45-51, 2020.
55. SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v. 79, n. 1, p. 7-31, 2004.
56. SOARES, A.B.; SARTOR, L.R.; ADAMI, P.F.; VARELLA, A.C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J.C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.3, p.443-451, 2009.
57. SOUZA, G.S. de; TAQUES, R.C.; SENRA, J.F. de B.; LANI, J.A. Potencial de Mecanização das Lavouras Cafeeiras no Estado do Espírito Santo. In: SILVA, C.A.P. et al. (Org.). **Periódicos 29ª SEAGRO**. Alegre-ES: UFES/CCAEE, 2019. p.55-67.
58. SOUSA, L.F.; MAURÍCIO, R.M.; PACIULLO, D.S.C.; SILVEIRA, S.R.; RIBEIRO, R.S.; CALSAVARA, L.H.; MOREIRA, G.R. Forage intake, feeding behavior and bio-climatological indices of pasture grass, under the influence of trees, in a silvopastoral system. **Tropical Grasslands**, v. 3, p. 129-141, 2015.
59. THOMAZINI, A.; AZEVEDO, H.C.A.; MENDONÇA, E.S. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas conservacionistas e convencionais de café no sul do estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.7, n.2, p.150-159, 2012.
60. TOZER, K.; RENNIE, G.; KING, W.; MAPP, N.R.; AALDERS, L.T.; BELL, N.L.; WILSON, D. J.; CAMERON, C.A.; GREENFIELD, R.M. Pasture renewal on Bay of Plenty and Waikato dairy farms: impacts on pasture production and invertebrate populations post-establishment. **Proceedings of the New Zealand Grassland Association**, pp. 227–234, 2013.
61. UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Federative Republic of Brazil intended nationally determined contribution towards achieving the objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change**. Disponível em: <<http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Brazil/1/BRAZIL%20INDC%20english%20FINAL.pdf>>. Acesso em: 20 Dez 2015.

62. VALLE JÚNIOR, R.F. do; SIQUEIRA, H.E.; VALERA, C.A.; OLIVEIRA, C.F.; FERNANDES, L.F.S.; MOURAD, J.P.; PACHECO, F..L. Diagnosis of degraded pastures using an improved NDVI-based remote sensing approach: An application to the Environmental Protection Area of Uberaba River Basin (Minas Gerais, Brazil). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 14, p. 20-33, 2019.
63. VAN OUDENHOVENA, A.P.E.; VEERKAMP, C.J.; ALKEMADE, R.; LEEMANS, R. Effects of different management regimes on soil erosion and surface runoff in semi-arid to sub-humid rangelands. **Journal of Arid Environments**, v.121, n.10, p.100-111, 2015.
64. ZIMMER, A.H.; MACEDO, M.C.M.; KICHEL, A.N.; ALMEIDA, R.G. de. **Degradação, recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande-MS: Embrapa Gado de Corte, 2012. 42 p. (Documentos, n.189).