Capítulo

19

Os atributos do solo e as tendências na silvicultura de precisão: revisão de literatura sistemática

Reinaldo Baldotto Ribeiro Filho[1]
Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira[2]
Jamilly de Assis Marques[3]
Fabricia Benda de Oliveira[4]
Maurício Lima Dan[5]
Diego Lang Burak[6]

[1] Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: reinaldobrfilho@gmail.com
[2]Instituto Federal do Espírito Santo, e-mail: carlos.oliveira@ifes.edu.br
[3] Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: jamilly.marques@edu.ufes.br
[4] Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: fabricia.oliveira@ufes.br
[5] Instituto Capixaba de Pesquisa, e-mail: mauricioldan@gmail.com
[6] Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: dlburak@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

A degradação dos ecossistemas agrícolas tem se tornado comum, especialmente nos agrossistemas tropicais, onde, devido à supressão da vegetação original para implementações de campos de pastagem e o uso excessivo e indiscriminado de agrotóxicos e fertilizantes químicos, levam à degradação do ecossistema e do solo. Isso reduz a capacidade do solo de sustentar a produção vegetal a longo prazo (SACRAMENTO *et al*., 2013). O uso adequado dos solos, com a aplicação localizada de agrotóxicos e fertilizantes, possibilita o melhor manejo agrícola e reduz a quantidade de insumos químicos na produção de alimentos. Como existe uma variação na distribuição espacial dos atributos químicos do solo ou ataque de pragas e doenças, o uso das técnicas de agricultura de precisão pode ser vantajoso para a gestão e o manejo do sistema (SKORUPA; MANZATTO, 2019).

A agricultura de precisão é o conjunto de técnicas que buscam a eficiência para o desenvolvimento dos cultivos por meio da gestão de informações geolocalizadas. A implementação desta tecnologia se fundamenta no fato de que o solo não é uniforme, e, que a maioria dos produtores rurais desconhece essa variação espacial dos atributos químicos do solo (GELAIN *et al*., 2021). Na produção de café e madeira, por exemplo, onde os sistemas são perenes e vêm sendo cultivados em talhões com áreas relativamente pequenas, a agricultura de precisão permite o georreferenciamento dessas áreas, possibilitando o manuseio direcionado e específico para cada localidade (VILELA *et al*., 2011).

O uso dessas metodologias inovadoras, vem como opção sustentável para abrandar alguns dos diversos problemas que levam à degradação do solo, visando a restauração das propriedades químicas do solo, além de proporcionar o aumento produtivo da cultura desejada (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2019). Se bem planejadas, as atividades da silvicultura, agricultura e pecuária podem ser executadas em conjunto a partir de sistemas agrossilvipastoris, nas áreas hoje ocupadas com pastagem solteira, que ocupam cerca de 1,47 milhões de hectares no estado do Espírito Santo (IBGE, 2019). Trazendo benefícios tanto para o gado (conforto térmico e pasto mais nutritivo), quanto para o solo (fixação biológica de nitrogênio, maior infiltração de água no solo e ciclagem de nutrientes), entre outros benefícios (DIAS-FILHO, 2006).

A utilização de sistemas que integram pastagens, animais e espécies arbóreas, como os Sistemas Integrados de Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), tem se apresentado como possibilidade para a regeneração do solo (ASSIS *et al*., 2015). As áreas de pastagem desse sistema integrado, quando comparadas às pastagens tradicionais e extensivas, trazem diversas vantagens, tanto na preservação dos solos e dos recursos hídricos, como também na diversificação da biodiversidade (RODRIGUES *et al*., 2019).

O ILPF aumenta a eficiência do uso dos solos, possibilitando o enriquecimento nutricional do consórcio e reduzindo a quantidade necessária de adubação externa. Porém, existe uma variação na distribuição espacial dos atributos e que, devido a isso, o uso das técnicas de agricultura de precisão pode ser vantajoso para a gestão e o manejo do sistema, uma das formas de avaliar a composição vegetal da área, é através de um inventário florestal (SKORUPA; MANZATTO, 2019).

Segundo Mello (2004) o inventário florestal é uma ferramenta valiosa para coletar informações sobre a composição, estrutura e dinâmica da floresta e pastagem, como a densidade de árvores, o diâmetro e altura das árvores, a área basal, a densidade de folhagem, a biomassa, a cobertura do solo, para avaliar o desenvolvimento das espécies florestais.

A análise morfológica é uma ferramenta importante para caracterizar as espécies de plantas, permitindo a identificação e descrição das características físicas e morfológicas de uma determinada planta. No caso da pastagem, essa análise é fundamental para determinar a sua qualidade nutricional e suas características agronômicas, como a altura de crescimento, a densidade de perfilho e a produção de forragem.

Dessa forma, estudar a variabilidade espacial dos nutrientes no solo, em um sistema silvipastoril, utilizando geoestatística, é importante para avaliar o impacto da densidade das árvores e das copas nos teores de nutrientes do solo e definir intervenções para corrigir as deficiências nutricionais ou toxidade de alguns elementos no solo. A partir disso, esse capítulo teve como intuito levantar o referencial teórico acerca dos assuntos relacionados à reposição de nutrientes no solo, aos atributos agronômicos de interesse, à agroecologia e ao uso de geotecnologias no manejo de solos agrícolas.

2 IMPORTÂNCIA DA REPOSIÇÃO DE NUTRIENTES NO SOLO

Os sistemas silvipastoris são sistemas agroflorestais que combinam o cultivo de árvores com a produção animal ou vegetal em uma mesma área, visando aumentar a produtividade e a sustentabilidade da produção. Esses sistemas apresentam grande potencial para a recuperação e conservação de solos degradados, bem como para a redução da pressão sobre as áreas de floresta nativa (SKORUPA; MANZATTO, 2019).

A análise dos nutrientes do solo é uma das ferramentas mais importantes para o manejo adequado dos sistemas silvipastoris. De acordo com Gelain *et al*. (2021), a análise dos nutrientes do solo permite identificar possíveis deficiências nutricionais e ajustar a adubação e a correção do solo de acordo com as necessidades das plantas e dos animais.

A fertilidade do solo é essencial na produtividade de áreas destinadas à produção de alimentos. Além dos nutrientes serem absorvidos pelas plantas, eles se perdem naturalmente pela ação das chuvas, no processo conhecido como lixiviação, que acontece quando a água infiltra no solo e carrega os nutrientes, afastando-os da zona de absorção da raiz (FUREY; TILMAN, 2021). Dessa forma, a fertilidade é perdida, corroborando para o empobrecimento do solo ao longo do tempo (AYOUB, 1999). Por isso, o monitoramento dos nutrientes necessários para a cultura é extremamente importante.

A geoestatística é uma técnica estatística aplicada à análise espacial de dados, que permite a geração de mapas e a identificação de áreas com diferentes características de manejo. Segundo Chaves (2017), a geoestatística é uma ferramenta importante para o manejo de sistemas silvipastoris, permitindo a definição de zonas de manejo e a aplicação diferenciada de insumos de acordo com as necessidades do solo e das plantas.

Assim, a combinação da análise dos nutrientes do solo com o uso de geoestatística pode ser uma estratégia eficiente para o manejo adequado dos sistemas silvipastoris, permitindo a identificação de áreas com diferentes necessidades e a aplicação diferenciada de insumos, minimizando custos e maximizando a produtividade e a sustentabilidade da produção.

3 ATRIBUTOS AGRONÔMICOS DE INTERESSE

Existem diversos atributos agronômicos que interferem diretamente na qualidade dos solos e na produtividade das lavouras e culturas vegetais. Parâmetros como Micro e Macronutrientes, pH e aspectos físicos, fornecem informações importantes para tomada de decisão quanto ao manejo da área, e a partir dessas informações é possível aumentar a produtividade vegetal, melhorando a saúde fisiológica das plantas e qualidade do solo (ARAÚJO *et al.*, 2012).

3.1 Acidez do solo

A aplicação de pesticidas, a lixiviação de nutrientes e a utilização de fertilizantes de caráter ácido ocasionam a acidez do solo (SINGH, 2018). A suscetibilidade de cada cultura à acidez do solo é variável, assim algumas plantas suportam pH mais ácido, enquanto outras necessitam do pH básico. Porém, sabe-se que o pH elevado no solo diminui a produtividade da cultura e aumenta a vulnerabilidade da planta (KOPITTKE *et al*., 2019).

O controle da acidez do solo comumente é feito através da técnica de aplicação de calagem com objetivo de elevar os teores de cálcio e magnésio. Além disso, a técnica visa a neutralização da quantidade excessiva de alumínio para um desenvolvimento satisfatório da planta (AGEGNEHU; YIRGA; ERKOSSA, 2019).

3.2 Deficiências e excessos nutricionais e os efeitos na qualidade dos produtos agrícolas

Os macros e os micronutrientes são elementos minerais presentes no solo que podem vir a ser absorvidos e exercem funções fundamentais na vida das plantas. A ausência desses elementos limita o crescimento e o desenvolvimento, afetando diretamente a produção e o ciclo de vida da cultura. Quando esses elementos se apresentam de forma anômala, podem ser apresentados sintomas como mudanças estruturais, qualidade nutricional, diminuição no porte, mudança de coloração e perda das folhas (KUMAR; KUMAR; MOHAPATRA, 2021).

3.3 Macronutrientes

Para completar o ciclo de vida, as plantas necessitam de 14 elementos inorgânicos, que são denominados essenciais e podem ser classificados em macro e micronutrientes de acordo com a sua concentração em matéria seca vegetal (KUMAR; KUMAR; MOHAPATRA, 2021). Dentre os principais macronutrientes temos: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Enxofre (S), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg). Caso esses elementos estejam em quantidades inferiores ao desejado, as plantas podem apresentar diversas deficiências com respostas específicas para cada um dos nutrientes. A gravidade dessas debilidades podem ser de leve a grave, de acordo com o déficit nutricional, podendo levar até à morte da planta (MAATHUIS, 2009).

A carência desses elementos traz grandes prejuízos ao desenvolvimento vegetal, ocasionando a perda de flores, grãos e frutos saudáveis, com consequências negativas na produção agrícola. Em algumas ocasiões o solo não apresenta esses nutrientes nas quantidades adequadas, e dessa forma, se torna essencial a aplicação de fertilizantes, para suprir essas necessidades (BANG *et al*., 2021). Porém, a aplicação extensiva e/ou inadequada pode trazer diversos problemas ao solo e ao meio ambiente, sendo necessário que a aplicação seja feita de forma sustentável, para a devida preservação do meio ambiente e a melhoria no desenvolvimento das plantas (FRIGHETTO, 2000).

3.4 Micronutrientes

Os micronutrientes são fundamentais para a manutenção fisiológica dos processos metabólicos vitais para a planta. O excesso destes elementos pode causar toxicidade às culturas e a falta deles ocasiona um déficit nutricional, agravando a necessidade de seu mapeamento e controle (SHUKLA *et al*., 2018).

São considerados micronutrientes principais às culturas, o ferro (Fe), o cobre (Cu), o manganês (Mn), o zinco (Zn) e o boro (B). A disponibilidade desses micronutrientes no solo são severamente afetadas pela acidez, aplicação de pesticidas e fertilizantes químicos e minerais. A reposição desses nutrientes no solo é feita através da aplicação de fertilizantes químicos, no entanto, é uma estratégia de gerenciamento custosa e laboriosa, tendo sua eficácia restrita a condições específicas do solo (MERCHANT, 2010).

A utilização de técnicas e manejo integrado com aditivos orgânicos é uma opção viável e durável para sustentabilidade no meio, visto que é menos agressiva por contar com elementos naturais. Técnicas como adubação orgânica, adubação verde, cobertura do solo e sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta podem auxiliar na reposição desses nutrientes, com reduzida agressão ao solo (BARRETO *et al*., 2014).

3.5 Adubação Verde

A adubação verde é uma técnica moderna, que consiste no plantio de leguminosas nodulíferas associadas a microrganismos simbiontes, como o feijão, a soja e o jacarandá-da-bahia, entre outras, utilizando rotação de cultura ou consórcios, a fim de enriquecer o solo com nitrogênio advindo da inserção de matéria orgânica e microrganismos, protegendo o solo da degradação causada pelo tempo, e consequentemente gerando melhoria da qualidade de todo o meio em que se insere (ESPÍNDOLA *et al*., 2005).

O enriquecimento do solo com nitrogênio é feito através de microrganismos denominados promotores do crescimento vegetal, e a utilização desses microrganismos visa a melhoria da produtividade, a sustentabilidade da cultura, além de reduzir o uso de fertilizantes provindos de fontes não renováveis (CASTRO *et al*., 2004). Diversos estudos sobre o consórcio dessas espécies comprovam a melhoria da produtividade da área de manejo, com maior absorção de nitrogênio, fósforo e potássio, além de conferir tolerância a alguns tipos de estresse (ALCÂNTARA, 2000; TEODORO *et al*., 2011).

4 AGROECOLOGIA

A agroecologia envolve diversas ferramentas e abordagens para tentar solucionar os diversos desafios agrícolas. O termo foi utilizado pela primeira vez em 1928, mas somente depois da Segunda Guerra Mundial, junto com diversos outros movimentos ambientalistas que eram contra as consequências da agricultura industrial, que começou a ser visto como segmento científico de grande importância (WEZEL *et al*., 2009; NODARI; GUERRA, 2015).

A agroecologia é um tema relacionado ao conceito de sustentabilidade, visto que procura o desenvolvimento ambiental, sem deixar de lado a economia

e impactos sociais. A agroecologia envolve principalmente três abordagens: 1 - Projetos em escalas de parcelas e campo; 2 - Projetos em escala de agrossistemas e fazendas; e 3 - Projetos cobrindo todo o sistema integrado (ALTIERI, 1989).

Os projetos desenvolvidos buscam o mínimo de aplicações de agroquímicos e insumos externos ao ambiente, com foco na preservação do solo, dos recursos hídricos, da flora e fauna e dos ecossistemas em geral, objetivando a agricultura orgânica e diminuindo o impacto da ação antrópica sobre esses ambientes (AQUINO; ASSIS, 2007).

A agroecologia traz uma proposta flexível de cultivo que permite que diversos métodos, formatos e funções possam ser aplicados no manejo das áreas. Cabe ao produtor definir a melhor estratégia a ser utilizada na sua área de produção, visto que o modelo tem como resultado o consórcio de espécies, diversificação das fontes de renda, melhoria da qualidade dos solos, e otimização de áreas dentro da propriedade rural. Dentro das abordagens utilizadas na agroecologia, temos a utilização de adubação orgânica e compostagem, adubação verde, cobertura dos solos e sistemas de integração de lavoura-pecuária-floresta (NODARI; GUERRA, 2015).

4.1 Práticas de conservação dos solos

São inúmeros processos que levam à degradação dos sistemas de produção e dos solos. Devido à degradação, o sistema apresenta perda de produtividade econômica com desequilíbrio no controle de ervas daninhas e patógenos (FUREY; TILMAN, 2021). A degradação biológica ocasiona a redução populacional dos microrganismos presentes, que são responsáveis pela ciclagem de nutrientes, aeração e proteção do solo, tendo como consequência a diminuição da capacidade de produção de biomassa da planta (PICCOLO, 1996).

A erosão é o principal processo que leva a diminuição dos nutrientes presentes no solo e os processos erosivos são intensificados pela utilização de más práticas de manejo. A ausência de cobertura vegetal também é um fator intensificador dos processos erosivos, visto que deixa o solo exposto e favorece o intemperismo físico por ações da chuva (XIONG; SUN; CHEN, 2018).

Para amenizar esses problemas, o produtor rural pode utilizar alguns métodos como: plantar árvores, adubação verde, adubação orgânica, sistemas integrados

de cultivo, proporcionar a cobertura dos solos e fazer o uso de práticas diretas de conservação neles. E ainda, a utilização de maquinário agrícola favorece a implementação de técnicas de manejo de curvas de nível, preparo e plantio em contorno, distribuição racional das plantas, execução de sulcos, bacias de captação e terraceamento, que podem ser utilizados para mitigar os processos de erosão (TEODORO *et al*., 2011; SAMUEL *et al*., 2018).

4.2 Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)

O uso intensivo do solo, a necessidade de diversificação de renda e aumento de gases do efeito estufa, tem levado vários países a se preocuparem com a forma tradicional de manejo das áreas de pastoreio. Dessa forma, algumas soluções têm sido apresentadas para solucionar essas necessidades. No caso da agricultura, a implementação de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) entre outras práticas sustentáveis podem ser adotadas.

O sistema ILPF é uma técnica agropecuária sustentável que combina culturas agrícolas, criação de animais e árvores em uma mesma área, de forma integrada. Essa técnica visa melhorar a eficiência produtiva da área cultivada, aumentar a rentabilidade do produtor e promover a conservação do meio ambiente. O sistema ILPF utiliza a rotação de culturas, a diversificação da produção e a integração de árvores em pastagens e culturas agrícolas para otimizar o uso da terra e recursos naturais, reduzindo a degradação do solo e a emissão de gases de efeito estufa (BUNGENSTAB *et al*., 2019). Um dos sistemas ILPF mais conhecidos, foi desenvolvido pela Embrapa, e envolve a produção de grãos, de fibras, de madeira, de leite ou de carne na mesma área, em plantios em rotação, consorciação e/ou sucessão (VILELA *et al*., 2011; RODRIGUES *et al*., 2019).

Este sistema produtivo inovador tem se apresentado como uma alternativa viável para a diversificação de renda do produtor rural, com grande potencial de escalabilidade, além de proporcionar a recuperação de áreas degradadas, diminuição do desmatamento, melhoria das qualidades químicas do solo e redução do impacto ambiental causado pelas atividades produtivas (VALANI *et al*., 2021). Em alguns casos, podem ser utilizadas plantas leguminosas como o jacarandá-da-bahia, que proporciona o aumento da disponibilidade de nitrogênio no sistema, favorecendo o potencial produtivo das espécies inseridas no consórcio (BALBINO *et al*., 2012).

5 GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MANEJO AGRÍCOLA

O manejo de áreas que utilizam geotecnologias para apoio na tomada de decisões, tem suas informações obtidas por sensores ou seres humanos, mas podem também se valer das tecnologias de controle e automação para captura desses dados (MCBRATNEY *et al*., 2005). Devido à acessibilidade e disponibilidade das geotecnologias, como o Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS) e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), entre outros, tem facilitado a adoção de metodologias de cultivo de precisão (MAES; STEPPE, 2019; TSOUROS; BIBI; SARIGIANNIDIS, 2019).

Assim, tem-se uma necessidade cada vez maior por ferramentas de análise e avaliação da qualidade do solo, que podem ser divididas em dois principais tipos: técnicas laboratoriais de diagnóstico, que envolvem testes químicos, físicos e biológicos; e técnicas de campo que utilizam o sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas e geoestatística. Quando essas ferramentas e dados são integrados para trabalhar de forma conjunta, é possível alcançar uma produção rural sustentável, para o manejo direcionado dos solos e da cultura específica de cada local, tomando como base, por exemplo, os padrões de distribuição espacial das propriedades dos solos (SISHODIA; RAY; SINGH, 2020).

Através da combinação de técnicas laboratoriais e de campo, utilizando GPS e testes químicos e físicos, é possível, por exemplo, descrever os parâmetros químicos dos solos para avaliar a produtividade da área relacionando-o com a distribuição dos atributos químicos e físicos dos solos. A utilização dessas técnicas permite avaliar a disponibilidade de nutrientes nos solos, a fim de definir zonas de cultivo, para manejo específico das áreas com base nos dados de disponibilidade de nutrientes. Para a realização de uma análise de distribuição espacial desses nutrientes a geoestatística apresenta-se como uma opção de ferramenta para interpolação de dados (MIKULA *et al*., 2020).

5.1 Sensoriamento remoto com uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP)

A aerofotogrametria é uma técnica conhecida e popular dentro das geociências. Sua realização se dá através do sobrevoo com aeronaves equipadas com câmeras ou sensores para coleta de imagem/dados em relação ao solo. Esses

levantamentos são fundamentais para o funcionamento e implementação de atividades agrícolas, contribuindo de forma positiva para o planejamento e gestão do espaço (ESKANDARI *et al*., 2020). Porém, para que isso se torne possível em qualquer local, independente das condições físicas desse espaço, é necessária a utilização de ferramentas que tenham capacidade para realizar esse serviço. Desse modo, com o avanço das tecnologias, podemos listar as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), comumente chamadas de drones, como excelentes ferramentas para realização dessas atividades de engenharia (RODRIGUES; GALLARDO, 2018).

Por conta dos custos e logística complexa, a aerofotogrametria era restrita a órgãos públicos e grandes empresas de engenharia. Entretanto, com a chegada das ARP esses custos diminuíram drasticamente, possibilitando ao produtor rural a utilização dessa tecnologia (NIKOLAKOPOULOS *et al*., 2017). Dentre as principais vantagens no emprego desses equipamentos, temos a aquisição dos dados em tempo real e a redução dos custos operacionais, permitindo assim o emprego desses equipamentos em diversas aplicações no setor agrícola, seja na geração do ortomosaico, análise de relevo, monitoramento ambiental, modelagem 3D, além de facilitar o acesso a áreas remotas de difícil acesso, otimizando o tempo despendido no levantamento (KUMAR; KUMAR; MOHAPATRA, 2021).

No trabalho de Marques e Souza (2019) foi utilizado a ARP Zangão V para mapeamento fotogramétrico em alta resolução, a fim de estimar a produção de sedimentos e perda de solo comparando os modelos digitais de terreno com alta consistência. Ao todo, foram feitos 5 mapeamentos com sobreposição lateral e frontal de 75%, a 200m de altitude, para mapear uma área total de 221 hectares. No resultado do processamento foi possível obter um ortomosaico com resolução espacial de 6 centímetros por pixel, que contribuíram para a produção do mapa de uso dos solos.

Barbosa *et al*. (2020) realizaram o mapeamento com ARP e equipamentos topográficos de alta precisão para gerar modelos topográficos e de ortomosaico que permitiram avaliar a hidrodinâmica em área úmida de cerrado. Os autores concluíram que os resultados obtidos por ARP foram fundamentais para o melhor entendimento das relações hidrodinâmicas e que utilizar o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) aumenta a acurácia do projeto, mas que se não tiver o equipamento, a precisão da ARP é suficiente para produzir modelos utilizáveis.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como apresentado nesse capítulo, as preocupações com a qualidade dos solos degradados, principalmente nas áreas utilizadas para a agricultura, levam a busca constante por diferentes processos de manejo, visando o uso sustentável do solo, aumentando a ciclagem de nutrientes por meio de técnicas que permitem diminuir os custos da produção e ao mesmo tempo preservar a qualidade dos solos. Dessa forma a agroecologia e os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), ganham cada vez mais destaque, devido aos benefícios proporcionados.

O uso de ferramentas de geoprocessamento na agricultura apresenta-se como um método promissor na obtenção de informações assertivas das áreas, com o uso de equipamentos como GPS, drones, ARP (aeronaves remotamente pilotadas), entre outras, sobre a distribuição e características dos solos, capacitando o ajuste para a melhor manutenção deles.

7 REFERÊNCIAS

AGEGNEHU, G.; YIRGA, C.; ERKOSSA, T. Soil Acidity Management**. Ethiopian Institute of Agricultural Research (EIAR)**. Addis Ababa, Ethiopia, 2019.

ALCÂNTARA, F. A. D. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 277–288, 2000.

ALTIERI, M. A. Agroecology: A new research and development paradigm for world agriculture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 27, n. 1, p. 37–46, 1989.

AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de. Agricultura orgânica em áreas urbanas e periurbanas com base na agroecologia. **Ambiente & Sociedade**, v. 10, n. 1, p. 137–150, 2007.

ARAÚJO, E. A. de *et al.* Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

ASSIS, P. C. *et al*. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 309–316, 2015.

AYOUB, A. T. Fertilizers and the environment. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 55, n. 2, p. 117–121, 1999.

BALBINO, L. C. *et al.* Agricultura sustentável por meio da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). International Plant Nutrition Institute – Brasil. **Informações agronômicas**, n. 138, jun. 2012.

BANG, T. C. de *et al.* The molecular–physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. **New Phytologist**, v. 229, n. 5, p. 2446–2469, 2021.

BARBOSA, R. L. *et al*. Mapping with integration of RPA and terrestrial imagery with spherical camera. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 3, p. 63–71, 2020.

BARRETO, M. T. L *et al*. Desenvolvimento e acúmulo de macronutrientes em plantas de milho biofertilizadas com manipueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 5, p. 487–494, 2014.

BUNGENSTAB, D.J. *et al.* (Eds.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Embrapa, Brasília, 2019.

CASTRO, C. M. *et al.* Adubação verde como fonte de nitrogênio para a cultura da berinjela em sistema orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 8, p. 779–785, 2004.

CHAVES, R. D. **Estimativa da produção de sedimentos e da perda de solo com o uso de um MDE obtido por um Veículo Aéreo Não Tripulado**. 2017. 90 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS, 2017.

DIAS-FILHO, M. B. Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens degradadas. Embrapa Amazônia Oriental. *In*: 43ª REUNIÃO ANUAL DA SBZ, João Pessoa – PB, 2006. **Anais**, p. 442-456, 2006.

ESKANDARI, R. *et al.* Meta-analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery for Agro-environmental Monitoring Using Machine Learning and Statistical Models. **Remote Sensing**, v. 12, n. 21, 2020.

ESPÍNDOLA, J. A. A. *et al.* Adubação verde com leguminosas. 1 ed. Brasília, DF. **Embrapa Informação Técnica**, 2005.

FRIGHETTO, R. T. S; VALARINI, P. J. Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico, **Embrapa**, 2000.

FUREY, G. N.; TILMAN, D. Plant biodiversity and the regeneration of soil fertility. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 118, n. 49, p. 1–8, 2021.

GELAIN, E. *et al.* Variabilidade espacial e correlação dos atributos do solo com produtividade do milho e da soja. **Nativa**, v. 9, n. 5, p. 536–543, 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, 146p., 2019.

KOPITTKE, P. M. *et al.* Soil and the intensification of agriculture for global food security. **Environment International**, v. 132, p. 105078, 2019.

KUMAR, S.; KUMAR, S.; MOHAPATRA, T. Interaction between macro-and micro-nutrients in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 665583, 2021.

MAATHUIS, F. J. M. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, n. 3, p. 250–258, 2009.

MAES, W. H.; STEPPE, K. Perspectives for Remote Sensing with Unmanned Aerial Vehicles in Precision Agriculture. **Trends in Plant Science**, v. 24, n. 2, p. 152–164, 2019.

MARQUES, G. R. R. da C.; SOUZA, P. G. de. Georreferenciamento de imóvel rural utilizando drone (ARP). **Brazilian Journal of Technology**, v. 2, n. 5, p. 424–438, 2019.

MCBRATNEY, A. *et al.* Future Directions of Precision Agriculture. **Precision Agriculture**, v.6, p. 7-23, fev. 2005.

MELLO, J. M. de. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. 2004. 201 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MERCHANT, S. S. The Elements of Plant Micronutrients. **Plant Physiology**, v. 154, n. 2, p. 512–515, 2010.

MIKULA, K. *et al.* Controlled release micronutrient fertilizers for precision agriculture – A review. **Science of The Total Environment**, v. 712, p. 136365, 2020.

NIKOLAKOPOULOS, K. G. *et al.* UAV vs classical aerial photogrammetry for archaeological studies. Journal of Archaeological. **Science: Reports**, v. 14, p. 758–773, 2017.

NODARI, R. O.; GUERRA, M. P. A agroecologia: Estratégias de pesquisa e valores. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 83, p. 183–207, 2015.

OLIVEIRA JUNIOR, A. B. *et al.* Análise foliar de Urochloa Decumbens e identificação de plantas invasoras em uma área de recuperação de um depósito de metalurgia de zinco. **Geochimica Brasiliensis**, v. 33, n. 4, p. 370–377, 2019.

PICCOLO, A. Humus and Soil Conservation. *In*: PICCOLO, A. B. T.-H. S. IN T. E. (Ed.). Amsterdam: **Elsevier Science B.V.**, p. 225–264, 1996.

RODRIGUES, D. A.; GALLARDO, A. L. C. F. Vantagens da aerofotogrametria por drone na obtenção de dados topográficos em estudos de lixões e aterros sanitários. *In:* VII SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE. **Anais**. p. 15, 2018.

RODRIGUES, L. M. *et al.* Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Interação entre Componentes e Sustentabilidade do Sistema. **Archivos de Zootecnia**, v. 68, n. 263, p. 448–455, 2019.

SACRAMENTO, J. A. A. S. *et al.* 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.

SAMUEL, A. D. *et al*. Effects of long term application of organic and mineral fertilizers on soil enzymes. **Revista de Chimie**, v. 69, n. 10, p. 2608–2612, 2018.

SHUKLA, A. K. *et al.* Micronutrients in soils, plants, animals and Humans. **Indian Journal of Fertilisers**, v. 14, n. 4, p. 30–54, 2018.

SINGH, B.. Are Nitrogen Fertilizers Deleterious to Soil Health?. **Agronomy**, v. 8, n. 48, 2018.

SISHODIA, R. P.; RAY, R. L.; SINGH, S. K. Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. **Remote Sensing**, v. 12, n. 3136, 2020.

SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. Avaliação da adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Brasil. **Embrapa**, Meio Ambiente, p. 340–379, 2019.

TEODORO, R. B. *et al.* Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no cerrado do alto vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 635–643, 2011.

TSOUROS, D. C.; BIBI, S.; SARIGIANNIDIS, P. G. A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture Information. **Information**, v. 10, ed. 11, n. 349, 2019.

VALANI, G. P. *et al.* Soil quality assessments in integrated crop–livestock–forest systems: A review. **Soil Use and Management**, v. 37, n. 1, p. 22–36, 1 jan. 2021.

VILELA, L. *et al.* Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127–1138, 2011.

WEZEL, A. *et al.* Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 4, p. 503–515, 2009.

XIONG, M.; SUN, R.; CHEN, L. Effects of soil conservation techniques on water erosion control: A global analysis. **Science of The Total Environment**, v. 645, p. 753–760, 2018.