



Contemporânea

Contemporary Journal

Vol. 4 Nº. 10: p. 01-22, 2024

ISSN: 2447-0961

Artigo

COMO A AGRICULTURA DE PRECISÃO PODE CONTRIBUIR COM A PRODUÇÃO DE ALFAFA NOS TRÓPICOS

HOW PRECISION AGRICULTURE CAN CONTRIBUTE TO ALFALFA PRODUCTION IN THE TROPICS

CÓMO LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN PUEDE CONTRIBUIR A LA PRODUCCIÓN DE ALFALFA EN LOS TRÓPICOS

DOI: 10.56083/RCV4N10-171

Receipt of originals: 09/18/2024

Acceptance for publication: 10/08/2024

Pérsio Sandir D'Oliveira

Doutor em Agronomia

Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Endereço: Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil

E-mail: persio.oliveira@embrapa.br

Duarte Vilela

Doutor em Zootecnia

Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Endereço: Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil

E-mail: duarte.vilela@embrapa.br

Marcos Cicarini Hott

Doutor em Engenharia Florestal

Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Endereço: Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil

E-mail: marcos.hott@embrapa.br

Ricardo Guimarães Andrade

Doutor em Agronomia - Meteorologia Aplicada

Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Endereço: Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil

E-mail: ricardo.andrade@embrapa.br



Walter Coelho Pereira de Magalhães Jr.

Mestre em Ciência da Computação

Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Endereço: Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil

E-mail: walter.magalhaes@embrapa.br

Carlos Eugênio Martins

Doutor em Solos e Nutrição de Plantas

Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Endereço: Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil

E-mail: carlos.eugenio@embrapa.br

Wadson Sebastião Duarte da Rocha

Doutor em Agronomia

Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Endereço: Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil

E-mail: wadson.rocha@embrapa.br

Reinaldo de Paula Ferreira

Doutor em Genética e Melhoramento

Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Endereço: São Carlos, São Paulo, Brasil

E-mail: reinaldo.ferreira@embrapa.br

RESUMO: A agricultura de precisão (AP) é um modelo de gestão da atividade agropecuária, que se baseia na existência de variabilidade espacial e temporal. Entre as muitas ferramentas da AP, destacam-se o mapeamento da variabilidade espacial, a estimativa de produtividade, a seleção de genótipos, a aplicação de pesticidas, a irrigação de precisão e a qualidade do feno. A alfafa é uma cultura nobre, com múltiplos usos na alimentação humana e animal, e grande potencial econômico para a América Tropical. Muitas prioridades para a produção de alfafa demandam o uso de AP. O objetivo deste trabalho foi apresentar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, aplicações da agricultura de precisão na cultura da alfafa em condições tropicais.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão, alfafa, tecnologia, forragens.

ABSTRACT: Precision agriculture (PA) is a management model for agricultural activity, which is based on the existence of spatial and temporal variability. Among the many AP tools, spatial variability mapping, productivity estimation, genotype selection, pesticide application, precision irrigation and hay quality stand out. Alfalfa is a noble crop, with multiple uses in human and animal nutrition, and great economic potential for Tropical America. Many priorities for alfalfa production require the use of PA. The objective of this work was to present, through a literature review, applications of precision agriculture in alfalfa cultivation in tropical conditions.



KEYWORDS: precision agriculture, alfalfa, technology, forages.

RESUMEN: La agricultura de precisión (AP) es un modelo de gestión de la actividad agrícola, que se basa en la existencia de variabilidad espacial y temporal. Entre las muchas herramientas AP se destacan el mapeo de variabilidad espacial, la estimación de productividad, la selección de genotipos, la aplicación de pesticidas, el riego de precisión y la calidad del heno. La alfalfa es un cultivo noble, con múltiples usos en la nutrición humana y animal, y gran potencial económico para América Tropical. Muchas prioridades para la producción de alfalfa requieren el uso de AP. El objetivo de este trabajo fue presentar, a través de una revisión de la literatura, aplicaciones de la agricultura de precisión en el cultivo de alfalfa en condiciones tropicales.

PALABRAS-CLAVE: agricultura de precisión, alfalfa, tecnología, forrajes.



Artigo está licenciado sob forma de uma licença
Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

1. Introdução

Estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU, 2024) indicam que a população mundial pode chegar a 9,8 bilhões de habitantes em 2050; o que leva a demanda por alimentos ser 70% maior do que a atual. Na América Latina e no Caribe, o aumento populacional será de 25%, passando de 635 milhões para 793 milhões em 2061, segundo a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (Revista Exame, 2015). Estas regiões, juntas, têm quase um terço dos recursos mundiais de água doce e mais de um quarto da terra cultivável do mundo. A sua produção agrícola varia desde a agricultura de subsistência ao agronegócio, e representa 16% das exportações mundiais (Rabobank, 2017).

A consolidação do sistema de inovação constituirá importante vantagem competitiva para a produção de alimentos nas economias emergentes. Os avanços em biotecnologia, automação e a transformação



digital, uso de sensores, máquinas autônomas, GPS (*Global Positioning System*), visão computacional, terão impacto sobre todo o agronegócio do futuro. Portanto, a Agricultura de Precisão (AP) pode contribuir na oferta de alimentos com qualidade e apoiar na solução de questões ambientais e econômicas relacionadas com o setor produtivo.

O objetivo deste trabalho foi apresentar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, aplicações da agricultura de precisão na cultura da alfafa em condições tropicais, de modo a estimular sua contribuição para os sistemas produtivos locais.

2. Referencial teórico

Com a crescente demanda por proteína animal, estimada em 70% até 2030 e 200% até 2050, em relação aos dias atuais, decorrente do crescimento da população mundial (ONU, 2024; FAO, 2021), surgem grandes oportunidades para o agronegócio brasileiro. Seguindo as megatendências mundiais para o ano de 2050, o Brasil deve evoluir de grande produtor de commodities para grande exportador de produtos com maior valor agregado, estimulando a abertura de novas fronteiras de mercado. Um exemplo é o feno de alfafa, com demanda mundial crescente, superior a 5-6 % ao ano (Mordor Intelligence, 2023); contudo, em alguns países, sua produção já atingiu o potencial máximo, como na região Ásia-pacífico e nos países árabes.

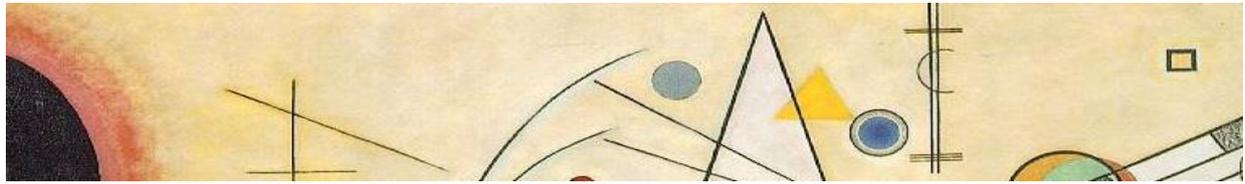
Diante das atuais tendências de mudanças climáticas e da menor disponibilidade dos recursos naturais, como a água e o solo, o agronegócio precisa mudar e se tornar mais eficiente. Entre as várias tecnologias para que os sistemas de produção atinjam resiliência e sustentabilidade, estão as ferramentas da AP, por meio das quais é possível: gerenciar o uso de água e fertilizantes, utilizar a ciência de dados para integrar informações a partir de sensores, aumentar a eficiência de plantio, controle de pragas e doenças,



incorporar áreas atualmente improdutivas e otimizar a previsão do tempo, entre outros.

O princípio da AP é a existência de variabilidade espacial e temporal, sem a qual ela não se justifica (Inamasu e Bernardi, 2014). Ela começa com a elaboração de mapas de variabilidade, importantes para recuperação e manutenção da fertilidade do solo. As ferramentas da AP incluem o sensoriamento remoto, que permite obter informações de um objeto, sem contato físico com o mesmo. As imagens dos sensores remotos podem ser obtidas a partir de plataformas como aeronaves, satélites, aeronaves remotamente pilotadas (ARPs), anteriormente denominadas veículos aéreos não tripulados (VANTs) e máquinas agrícolas autopropelidas. Por sensores é possível estimar a biomassa e a produtividade das culturas; monitorar o estresse hídrico e o vigor das plantas; avaliar o estágio fenológico; e monitorar pragas, doenças e plantas daninhas (D'Oliveira *et al.*, 2023).

A AP é dividida em três etapas: coleta de dados; tomada de decisão e intervenção. A automação de processos e o uso de informática contribuem para a execução eficiente de cada etapa, empregando desde realidade virtual até modelagem computacional. As tecnologias de sensoriamento remoto servirão, cada vez mais, no apoio à tomada de decisão para aumentar a produção e gerenciar o uso de fertilizantes. A amostragem e a análise dos dados são fundamentais para obter resultados adequados no mapeamento, os quais alimentarão os sistemas de geoprocessamento para suporte à detecção de alvos, estresses na vegetação e aplicação de insumos necessários para aumentar a produtividade e reduzir os custos de produção (Inamasu e Bernardi, 2014; D'Oliveira *et al.*, 2023).



3. Metodologia

A estratégia de busca é exemplificada pela seguinte consulta na plataforma Google ou Scielo: TITLE-ABS-KEY ((Alfafa AND trópicos AND abstract) AND (aplicações OR agricultura de precisão OR alfafa OR tropical) AND (agriculture precision OR satellite OR GIS OR drone OR alfafa) AND (abstract OR Technology OR Tropic)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")). Esta abordagem tem como objetivo capturar todas as possíveis referências a aplicações de agricultura de precisão em cultivo de alfafa em regiões tropicais que retratem tendências históricas no mapeamento de condições da vegetação de lavouras de alfafa. Os títulos e resumos dos artigos recuperados foram avaliados com base em seu potencial para abordar, pelo menos, uma das questões orientadoras: Há artigos que discutem o manejo de alfafa por meio de tecnologias de agricultura de precisão nos trópicos? Aqueles selecionados para leitura do texto completo foram então utilizados na redação deste trabalho.

4. Resultados e Discussão

4.1 Prioridades de Pesquisa com Alfafa

Algumas técnicas de precisão aplicadas a alfafa podem ser direcionadas para solucionar os principais desafios apontados pela pesquisa (Vilela *et al.*, 2008; 2020), como apresentados na Figura 1. De maneira geral, se considerar que os principais critérios de seleção para obtenção de cultivares de alfafa nos trópicos continuarão sendo produtividade, rastreabilidade, persistência do estande, condições edafoclimáticas, questões hídricas e resistência múltipla a pragas e doenças, estes devem ser alguns dos direcionamentos para as tecnologias de precisão, permitindo avaliar a variabilidade espacial e a estimativa de produtividade.

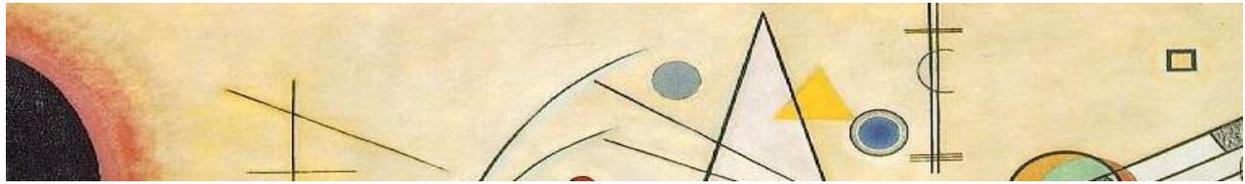
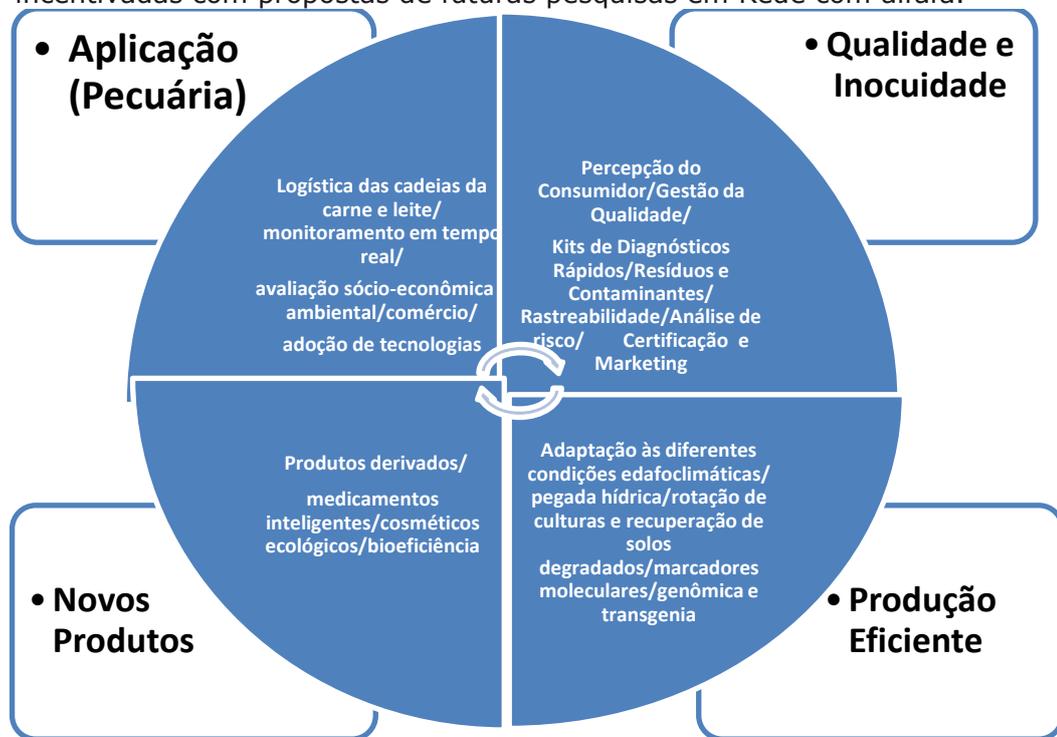


Figura 1. Matriz estruturada em quatro eixos (Produção Eficiente; Novos Produtos; Qualidade e Inocuidade; e Aplicação na Pecuária) contendo as lacunas a serem incentivadas com propostas de futuras pesquisas em Rede com alfafa.



Fonte: Vilela *et al.* (2020)

Melhorar a qualidade da alfafa é uma prioridade. As ações de melhoramento devem se orientar para o aumento do valor nutritivo, não apenas diminuindo a concentração de fibra, particularmente lignina, mas também aumentando o teor de carboidratos não estruturais. A produção de alfafa com alta expressão multifoliada pode constituir opção interessante para aumentar a qualidade da forragem (Sakiroglu e Brummer, 2017).

Nos países onde o preço do leite ao produtor é normalmente mais baixo, como no Brasil, a inserção da alfafa nos sistemas reduz o custo de produção, pela menor necessidade de concentrados (Tupy *et al.*, 2015). É preciso garantir a estabilidade da produção de alta qualidade, superando as variações que derivam da fenação no campo, onde as chuvas causam prejuízos. A irrigação, em tempo e intensidade corretas, pode amenizar esses problemas. Também é importante desenvolver novas técnicas de secagem



da alfafa no momento da fenação, por meio de desidratação e geração de tecnologias industriais de secagem artificial monitorado por sensores.

4.2 Mapeamento da Variabilidade Espacial

Entre os fatores que influenciam a produção de alfafa (Figura 2), em quantidade e qualidade, a fertilidade do solo pode ser controlada por ação humana, pela aplicação de corretivos ou de fertilizantes. Isto pode aumentar os custos de produção; portanto, a elaboração de mapas que apresentem a variabilidade espacial do solo, em termos de fertilidade, colabora para o uso eficiente de insumos, como corretivos e fertilizantes.

O primeiro uso da variabilidade espacial do solo para melhorar a aplicação de insumos agrícolas data de 1929, em Illinois, que recomendava ao produtor rural que desenhasse um mapa, com testes de acidez do solo amostrado em grade, para aplicação de calcário (Inamasu e Bernardi, 2014). Em São Carlos, SP, uma área de 5,3 ha, com alfafa irrigada foi mapeada quanto à fertilidade do solo e à produção de massa da leguminosa, ao aplicar geoestatística por meio de sistemas de informações geográficas (SIG), foram eficientes para identificar variações espaciais no solo e na pastagem, contribuindo para boas estratégias de manejo (Bernardi *et al.*, 2016).



Figura 2. Alfafal em Lunardelli, PR.

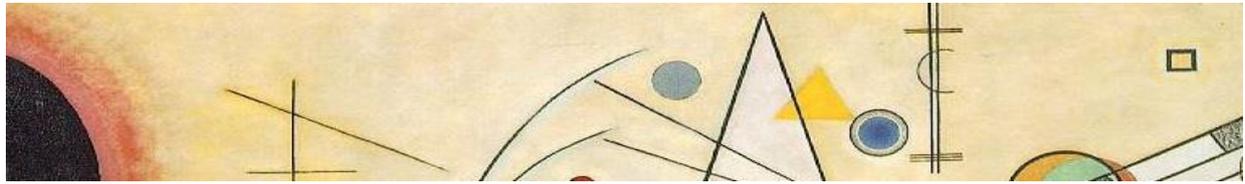


(Fonte: Pérsio Sandir)

4.3 Estimativa de Produtividade

A produtividade da forragem, definida como massa colhida por unidade de área, varia no tempo e no espaço, dentro do mesmo local. Conhecer essa variação é fundamental para que o produtor rural possa gerenciar melhor e fazer a tomada de decisão correta. A variabilidade observada na produção de massa vegetal depende de fatores como a fertilidade do solo, o relevo, a frequência e a intensidade de adubação, a irrigação, a estação do ano, dentre outras. Assim, a construção de mapas de produtividade é uma ferramenta importante na AP para alfafa.

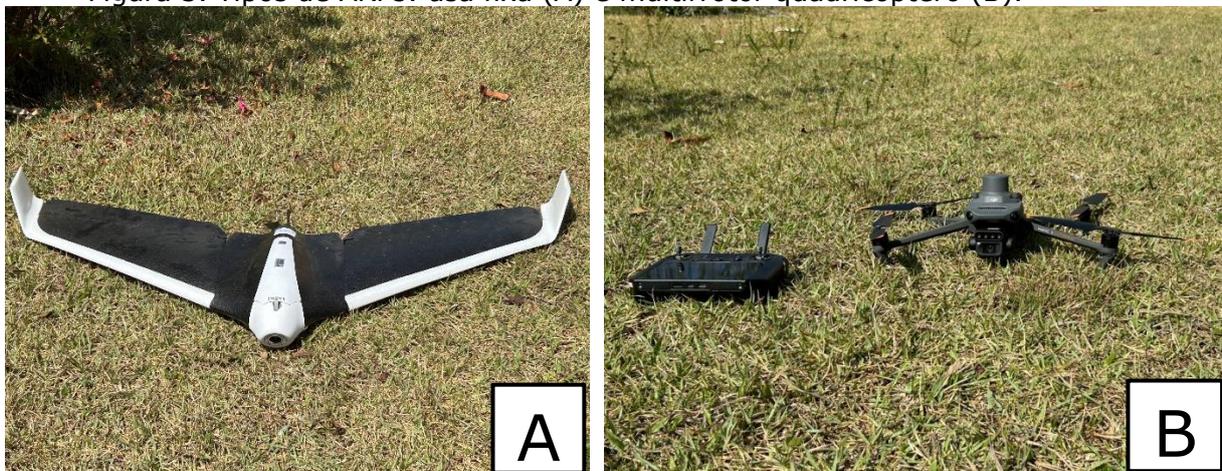
O interesse pela alfafa está aumentando, por suas características agronômicas e seu valor nutritivo. Considerada planta perene, a alfafa permite vários cortes anuais, ao longo de seu ciclo vegetativo. Há uma janela de oportunidade estreita entre o pico da produção de biomassa e o pleno florescimento, onde o equilíbrio entre a produtividade e a qualidade é maximizado. É fundamental determinar quando começar o corte da planta,



pois a colheita na época errada prejudica a produção, em quantidade e qualidade, além de reduzir a longevidade do alfafal (Tedesco *et al.*, 2022).

ARPs são especialmente úteis na AP, pois conseguem fazer a coleta de dados em tempo real e em alta resolução, permitindo a tomada de decisões pelos produtores rurais. Existem dois tipos principais de ARPs (Figura 3), os de asa fixa e os multirrotores (Alarcão Jr. e Nuñez, 2024).

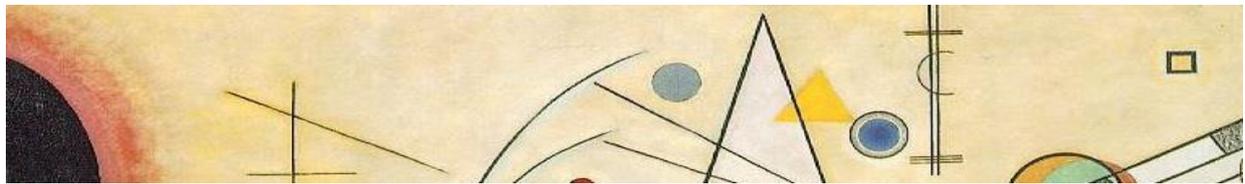
Figura 3. Tipos de ARPs: asa fixa (A) e multirrotor quadricóptero (B).



Fonte: os autores

Utilizando imagens de satélite Landsat-8, Kayad *et al.* (2016) avaliaram sete índices de vegetação (IVs) para estimar a produção de alfafa, irrigada por pivô central. Os autores observaram que o NIRS (*Near InfraRed Spectrophotometry*), o SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*), o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o LSWI (*Land Surface Water Index*) foram os IVs mais eficientes na estimativa de produtividade.

Feng *et al.* (2020) utilizaram câmeras multiespectrais, instaladas em ARP, para estimar a produção de biomassa de alfafa, no estado norte-americano do Wisconsin, empregando um modelo de aprendizado de máquina. Os autores trabalharam com 80 IVs e verificaram que os índices Datt1, MCARI1 (*Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index 1*), MTCI1

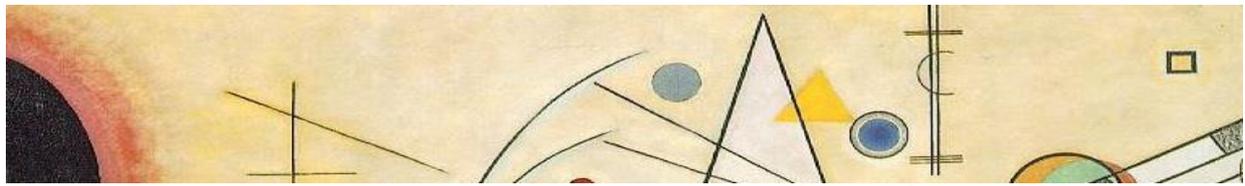


(*MERIS Terrestrial Chlorophyll Index 1*) e MTCI2 (*MERIS Terrestrial Chlorophyll Index 2*) forneceram resultados mais precisos.

Câmeras multiespectrais e infravermelho térmico, instaladas em ARP, foram usadas para estimar a produtividade de alfafa, com base no vigor do dossel e estresse da planta; confirmou-se o potencial desta técnica para avaliação da produtividade (Chandel *et al.*, 2021). No Irã, Azadbakht *et al.* (2021) estimaram a produtividade de alfafa, utilizando índices de vegetação de séries temporais dos satélites durante três anos. Os dados foram submetidos a métodos de aprendizado de máquina e o Processo de Regressão Gaussiana foi o mais preciso.

A informação espectral é confiável para avaliar características das plantas verdes, onde a região do visível (400-700 nm) é dominada pela absorção de luz por pigmentos fotossintéticos; a do infravermelho (700-1.100 nm) pela matéria seca e o infravermelho de ondas curtas, o SWIR (*Short Wave Infra Red*, na faixa de 1.100-2.500 nm), pela água. Contudo, além da boa correlação entre informação espectral, qualidade e biomassa da alfafa, é preciso construir os modelos dessas correlações pela adição dos dados climáticos, para fazer inferências de nova época de crescimento (Tedesco *et al.*, 2022).

O Índice de Área Foliar (IAF) é um indicador do crescimento vegetal, taxa fotossintética, uso da água e produtividade em muitas culturas. Em alfafa, os IVs do espectro visível, obtidos por ARP, junto com a medição da altura do dossel, foram eficientes para estimar o IAF da cultura na época de crescimento (Hammond *et al.*, 2023). Ao utilizar dados dos satélites Sentinel-1 e Sentinel-2 para avaliar a correlação entre diferentes IVs e a produtividade de alfafa, nos estados de Wisconsin e New York, EUA, Chen *et al.* (2024) verificaram que a correlação do IAF com a produção de massa foi a mais alta, seguida pelo Índice de Clorofila Verde (GCI – *Green Chlorophyll Index*) e o Índice de Diferença Normalizada para Água (NDWI – *Normalized Difference Water Index*).



A escala temporal das imagens de satélites é fundamental para previsões mais corretas da produtividade e da qualidade da alfafa, com possibilidade de registros diários durante o período crítico entre as épocas de corte. Em condições ambientais desfavoráveis, como a presença de nuvens, sensores ativos podem corrigir o problema (Tedesco *et al.*, 2022).

Na Argentina, o Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) avaliou a semeadura consorciada de painço (*Setaria italica*) e alfafa (*Medicago sativa*), com drone agrícola AGRAS T40, observando boa formação de estande (Giardina e Saavedra, 2024). Em Paracatu, MG, o feno de alfafa é produzido em grande escala, podendo ser monitorado por satélite (Figura 4); isto fornece informações importantes para produtores rurais, extensionistas e pesquisadores, principalmente na irrigação destas áreas e estimativa de produção.

Figura 4. Plantio de alfafa para produção de feno (Feno Paracatu, MG).



(Fonte: Google Earth)

4.4 Seleção de Genótipos



A incorporação de novas abordagens tecnológicas que reúnem conceitos de melhoramento genético, genômica, fisiologia, entre outros, tais como o uso de marcadores moleculares e a transgenia, genotipagem de SNP (*Single Nucleotide Polimorphism*) com alta cobertura genômica, como os chips de DNA (*microarrays*) e GBS (*Genotyping by Sequencing*) (Li *et al.*, 2014a, b) permitirão detectar de forma mais eficiente os genótipos resistentes e que, combinado a outros caracteres, poderão gerar ganhos significativos no desenvolvimento de novas cultivares específicas para corte e pastejo em condições tropicais. Esses estudos aceleram a descoberta de possíveis genes envolvidos em caracteres complexos como: produtividade (Sakiroglu e Brummer, 2017), tolerância a estresses abióticos (seca e solos salinos) (Yu *et al.*, 2016), qualidade da forragem (Biazzi *et al.*, 2017) e resistência a doenças (Yu *et al.*, 2017). As novas ferramentas genômicas, como os GWAS (*Genome-Wide Associations Studies*), e as novas abordagens de melhoramento, como GS (*Genome Selection*), podem acelerar a geração de novas cultivares (Annichiarico *et al.*, 2015).

A fenotipagem de materiais promissores de alfafa, para seleção e uso em programas de melhoramento vegetal, pode ser feita por meio de câmeras embarcadas em ARPs, que produzem imagens para aplicação de índices de vegetação, como o NDVI, os quais têm alta correlação com parâmetros de importância agrônômica, como acúmulo de forragem e produtividade (Cazenave *et al.*, 2019; Biswas *et al.*, 2021).

4.5 Aplicação de Pesticidas

As aeronaves remotamente pilotadas (ARPs) apresentam novas possibilidades para a proteção de alfafais. Entre as possibilidades de uso, destacam-se o monitoramento das áreas para detecção de pragas, doenças e plantas daninhas, estimativa de produtividade e aplicação de pesticidas. Contudo, para esta última finalidade, existem regulamentos de aviação e de



pulverização específicos, que não são exigidos no uso desses equipamentos como plataforma de sensoriamento remoto (Li *et al.*, 2021).

Em comparação com pulverizações agrícolas convencionais, feitas por aeronaves tripuladas, pulverizações por ARPs apresentam algumas vantagens: a aplicação é feita a alturas menores, com velocidades mais baixas, o que reduz a deriva; os volumes de pesticidas são menores, assim como o impacto ambiental; e os riscos para o ser humano são menores. O Brasil é um dos maiores consumidores de pesticidas do mundo, principalmente herbicidas. Os herbicidas são a principal medida de controle das plantas daninhas, contudo, seu uso apresenta riscos para a saúde humana e animal, bem como para o meio ambiente. Os ARPs permitem reduzir o volume de herbicidas aplicados, minimizar a deriva e aumentar a eficiência das aplicações (Nobre *et al.*, 2023).

Foi avaliada a infestação de mostarda do campo (*Sinapis arvensis* L.) em campos de alfafa, em Soto de Cerrato, Palencia, Espanha, com o uso de IVs do espectro visível, utilizando câmeras digitais em um ARP do tipo octocóptero. O índice RGB foi eficiente na identificação das plantas daninhas, enquanto o NDVI apresentou menor eficiência, pelo confundimento dessas daninhas com o solo (Sánchez-Sastre *et al.*, 2020).

No condado de Yolo (Califórnia, EUA), foi avaliada a aplicação de inseticida (*Chlorantraniliprole*) em alfafa, para controle de lagartas desfoliadoras (*Colias eurytheme*, *Spodoptera exigua* e *S. praefica*), por meio de aviação agrícola e por ARP do tipo hexacóptero. Não foram observadas diferenças entre os dois métodos de aplicação, que foram eficientes no controle das lagartas (Li *et al.*, 2021).

Na pulverização por ARPs, a deriva e a baixa capacidade de carga útil são problemas importantes a serem resolvidos; contudo, os benefícios, que incluem maior segurança para o aplicador e para o meio ambiente, mais do que compensam as limitações (Chen *et al.*, 2022).



4.6 Irrigação de Precisão

A alfafa tem alta exigência hídrica. A irrigação de precisão é uma alternativa, para atender os desafios apresentados pela seca e manter a produção, em quantidade e qualidade. Por meio de técnicas modernas, ajustadas às necessidades hídricas da alfafa, sistemas de monitoramento e controle da irrigação, o produtor rural pode aumentar a eficiência do uso da água, amenizar os efeitos da seca e garantir a sustentabilidade ambiental (Dey *et al.*, 2024).

É importante estimar a umidade do solo, por meio de tensiômetros; contudo, além da estimativa direta do conteúdo de água no solo, é possível fazer o manejo da irrigação pelo monitoramento do dossel. O sensoriamento remoto permite uma medição econômica, rápida e não destrutiva do alvo, podendo ser feita por sensores baseados no solo, em ARPs ou satélites. A observação do dossel e da superfície do solo considera a evaporação (perda de água do solo) e a transpiração (perda de água das folhas), formando a evapotranspiração (ET). Este parâmetro é influenciado por fatores como a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a velocidade do vento, a radiação solar, o estágio de crescimento e a saúde da planta (Dey *et al.*, 2024).

Como as plantas de alfafa podem estar em déficit hídrico, mesmo antes de sintomas visuais, é possível prevenir perdas em qualidade e em quantidade, por meio de câmeras multiespectrais, incluindo a reflectância no infravermelho próximo (780 a 1.000 nm) e do infravermelho de ondas curtas (900 a 1.700 nm). Imagens térmicas (8 a 14 μm) detectam a radiação na faixa do infravermelho, exibindo imagens em cores falsas onde os pixels contêm valores da temperatura. Se a temperatura detectada estiver acima da temperatura normal do dossel da alfafa, é indicativo de estresse da cultura em condições de seca (Dey *et al.*, 2024).



4.7 Qualidade do Feno

O feno de alfafa é um produto de alto valor comercial e nutritivo. Entretanto, para sua comercialização, é necessário estabelecer padrões de qualidade. O processo de fenação apresenta diferentes etapas: secagem, enfardamento e armazenamento e as perdas de qualidade, ao longo do mesmo, precisam ser evitadas. A energia metabolizável da alfafa representa o combustível fisiológico disponível para a atividade celular e tem alta correlação com estimativas da resposta animal.

Amostras de feno de alfafa, oriundas da Califórnia e de Nevada, foram analisadas pelos métodos *in vivo*, *in vitro*, *in silico* e NIRS; verificou-se que o NIRS foi eficiente para estimar a energia metabolizável (Old *et al.*, 2016). A técnica do NIRS utiliza o espectro eletromagnético entre o visível e regiões do infravermelho (700 nm a 2.500 nm). Consiste em incidir sobre uma amostra uma radiação (feixe de luz) de comprimento de onda específico e conhecido da região do infravermelho próximo (Fernandes *et al.*, 2010).

Jeong *et al.* (2024) utilizaram o NIRS para avaliar a qualidade de 227 amostras de feno de alfafa, com relação ao teor de umidade, Fibra em Detergente Neutro (FDN), Fibra em Detergente Ácido (FDA), Proteína Bruta (PB) e digestibilidade *in vitro* da matéria seca. Encontraram alta correlação para o feno de alfafa, indicando que o NIRS pode ser usado na estimativa da qualidade, assim como alguns índices de qualidade nutricional, à semelhança do método adaptado por Vilela e Pereira (2024).

Wu *et al.* (2023) utilizaram a espectroscopia do infravermelho para avaliar a qualidade do feno de alfafa, e conseguiram diferenciar amostras mofadas, secas à sombra e ao sol com alta precisão. Isto é importante, porque durante o armazenamento (Figura 5), pode ocorrer degradação do feno, pelo ataque de fungos, leveduras e bactérias, que gera calor e indica perda de qualidade do feno, bem como a formação de compostos tóxicos.



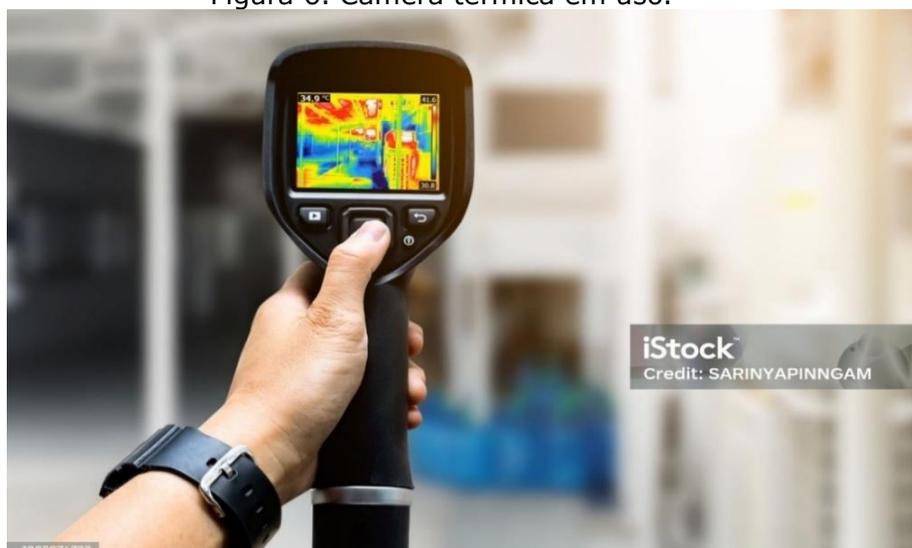
O aumento da temperatura pode causar incêndios espontâneos e não deveria, em condições normais de armazenamento, ultrapassar a temperatura ambiente. O monitoramento da temperatura na superfície do feno de alfafa poderá ser feito por meio de câmeras térmicas (Figura 6), como ocorre com os volumosos (fenos e silagens) de outras forrageiras.

Figura 5. Depósito de feno de alfafa (Feno Paracatu, MG).

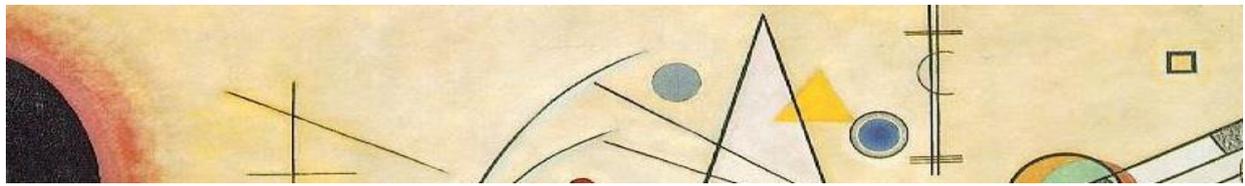


(Fonte: Ademir Honda)

Figura 6. Câmera térmica em uso.

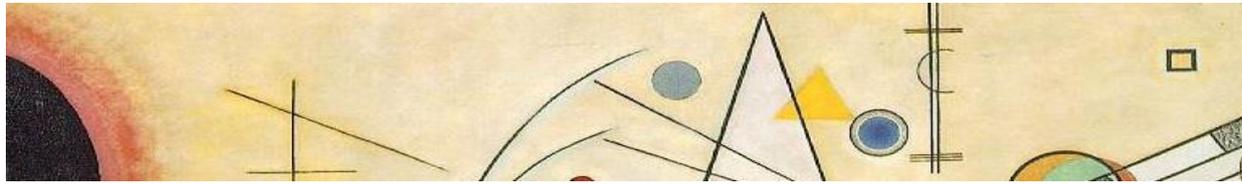


(Fonte: banco de imagens iStock)



5. Considerações finais

No Brasil, a Agricultura de Precisão é utilizada com sucesso em diversas atividades agropecuárias e florestais; em breve, também será de grande utilidade para o desenvolvimento da cultura da alfafa em condições tropicais. O monitoramento das áreas cultivadas, em tempo real, permite maior eficiência nas fertilizações e no manejo integrado de pragas, doenças e invasoras. As imagens de satélite contribuirão para a tomada de decisão em políticas públicas com esta leguminosa, favorecendo a sua expansão.



Referências

ALARCÃO JR., J. C.; NUÑES, D. N. C. O uso de drones na agricultura 4.0. **Brazilian Journal of Science**, Rio Verde, v.3, n.1, p.1-13, 2024. DOI: 10.14295/bjs.v3i1.438

ANNICHIARICO, P. *et al.* Accuracy of genomic selection for alfalfa biomass yield in different reference populations. **BMC Genomics**, v.16, 1020, p. 1-13, 2015. DOI: 10.1186/s12864-015-2212-y

AZADBAKHT, M. *et al.* Alfalfa yield estimation based on time series of Landsat 8 and PROBA-V images: An investigation of machine learning techniques and spectral-temporal features. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, 25, 100657, p.1-16, 2022. DOI: 10.1016/j.rsase.2021.100657

BERNARDI, A. C. C. *et al.* Spatial Variability of Soil Properties and Yield of a Grazed Alfalfa Pasture in Brazil. **Precision Agriculture**, 17, p.737-752, 2016. DOI: 10.1007/s1119-016-9446-9

BIAZZI, E. *et al.* Genome-Wide Association Mapping and Genomic Selection for Alfalfa (*Medicago sativa*) Forage Quality Traits. **PLoS ONE**, v.12, n.1, e0169234, 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0169234

BISWAS, A. *et al.* Phenomics-Assisted Selection for Herbage Accumulation in Alfalfa (*Medicago sativa* L.). **Frontiers in Plant Science**, v.12, article 756768, 2021. 12p. DOI: 10.3389/fpls.2021.756768

CAZENAVE, A. B. *et al.* High-Throughput Approaches for Phenotyping Alfalfa Germplasm under Abiotic Stress in the Field. **The Plant Phenome Journal**, v.2, n.1, p.1-13, 2019. DOI: 10.2135/tppj2019.03.0005

CHANDEL, A.; KHOT, L. R.; YU, L. X. Alfalfa (*Medicago sativa* L.) crop vigor and yield characterization using high-resolution aerial multispectral and thermal infrared imaging technique. **Computers and Electronics in Agriculture**, 182, 105999, 2021. 11p. DOI: 10.1016/j.compag.2021.105999

CHEN, P. *et al.* Characteristics of unmanned aerial spraying systems and related spray drift: A review. **Frontiers in Plant Science**, v.13, 870956, 2022, 16p. DOI: 10.3389/fpls.2022.870956

CHEN, J. *et al.* Optimal Integration of Optical and SAR Data for Improving Alfalfa Yield and Quality Traits Prediction: New Insights into Satellite-Based Forage Crop Monitoring. **Remote Sensing**, v.16, n. 5, 734, 2024. 19p. DOI: 10.3390/rs16050734



D'OLIVEIRA, P. S. *et al.* **Aplicações da agricultura de precisão em pastagens**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2023. 29p. (Circular Técnica, 127)

DEY, S.; JHA, G.; MIN, D. Precision Irrigation Technologies for Water-Wise and Climate Resilient Alfalfa Production. **Crop and Soil Magazine**, v.57, n.4, p.4-11, Jul-Aug. 2024. DOI: 10.1002/crso.20383

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Faostat**. Rome: United Nations, 2021. Disponível em: www.fao.org/statistics/en. Acesso em: 16 de setembro de 2024.

FENG, L. *et al.* Alfalfa Yield Prediction Using UAV-Based Hyperspectral Imagery and Ensemble Learning. **Remote Sensing**, v.12, n.12, 2020. 24p. DOI: 10.3390/rs12122028

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M.; SOBRINHO, A. A. B.; MONTEIRO, H. C.; GALVÃO E SILVA, A. C. Uso de espectrometria de refletância no infravermelho próximo (NIRS) na análise de carbono de Neossolos do Pantanal. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2010. 3p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 86)

GIARDINA, C.; SAAVEDRA, L. **Semillas de alto vuelo: siembra de pasturas con drones**. Mendoza: INTA, 2024. 2p. (Folder)

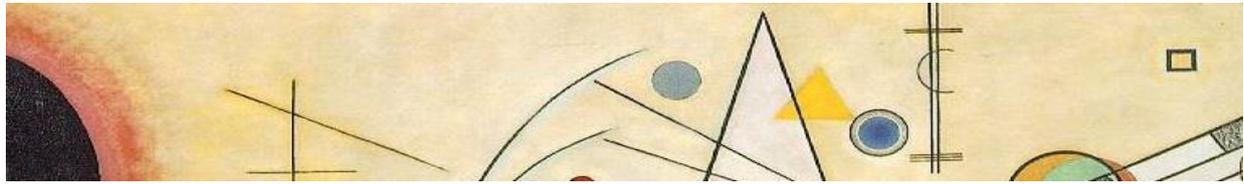
HAMMOND, K. *et al.* Assessing Within-Field Variation in Alfalfa Leaf Area Index Using UAV Visible Vegetation Indices. **Agronomy**, v.13, n.5, 1289, 2023. 17p. DOI: 10.3390/agronomy13051289

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C. Agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. C. *et al.* (Eds.) **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 21-33.

JEONG, E. C. *et al.* Application of near-infrared spectroscopy for hay evaluation at different degrees of sample preparation. **Animal Bioscience**, v.37, n.7, p.1196-1203, July 2024. DOI: 10.5713/ab.23.0466

KAYAD, A. G. *et al.* Assessing the Spatial Variability of Alfalfa Yield Using Satellite Imagery and Ground Based Data. **PLOS One**, v.11, n.6, : e0157166, 2016. DOI: 10.1371/journal.pone.0157166

LI, X. *et al.* Comparison of UAV and fixed-wing aerial application for alfalfa insect pest control: evaluating efficacy, residues, and spray quality. **Pest Management Science**, v.77, n.11, p.4980-4992, Jul. 2021. DOI: 10.1002/os.6540



LI, X. *et al.* Development of an Alfalfa SNP Array and Its Use to Evaluate Patterns of Population Structure and Linkage Disequilibrium. **PLoS ONE**, v.9, n.1, e84329, 2014a. DOI: 10.1371/journal.pone.0084329

LI, X. *et al.* A Saturated Genetic Linkage Map of Autotetraploid Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Developed Using Genotyping-by-Sequencing Is Highly Syntenous with the *Medicago truncatula* Genome. **G3 Genes Genomes Genetics**, v.4, n.10, p. 1971-1979. 2014b. DOI: 10.1534/g3.114.012245

MORDOR INTELLIGENCE. Mercado de feno de alfafa dos Estados Unidos: crescimento, tendências, impacto do Covid-19 e previsões (2023-2028). Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/united-states-alfalfa-market>. Acesso em: 23 Dez. 2023.

NOBRE, F. L. L. *et al.* Use of drones in herbicide spot spraying: a systematic review. **Advances in Weed Science**, 2023. DOI: 10.51694/AdvWeedSci/2023.4100028

OLD, C. A. *et al.* Reliability of in vivo, in vitro, in silico, and near infrared estimates of pure stand alfalfa hay quality: Component degradability and metabolizability of energy. **The Professional Animal Scientist**, v.32, p.470-483, 2016. DOI: 10.15232/pas.2015-01460

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Organização das Nações Unidas diz que população mundial chegará a 8,6 bilhões de pessoas em 2030. Internacional. Agência Brasil. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2017-06/onu-diz-que-populacao-mundial-chegara-86-bilhoes-de-pessoas-em-2030>. Acesso em: 10 de setembro de 2024.

POPULAÇÃO da América Latina pode aumentar 25% até 2061. Revista Exame, 2015. Disponível em: <https://exame.com/mundo/cepal-preve-que-populacao-da-america-latina-e-do-caribe-crescera-25-ate-2061>. Acesso em: 10 de setembro de 2024.

RABOBANK. **Annual Report 2017**. [Amsterdam], 2017. 409p. Disponível em: <https://media.rabobank.com/m/b4ac81f4e676af7/original/Annual-Report-2017-EN.pdf>. Acesso em: 10 de setembro de 2024.

SAKIROGLU, M.; BRUMMER, E. C. Identification of loci controlling forage yield and nutritive value in diploid alfalfa using GBS-GWAS. **Theoretical and Applied Genetics**, v.130, n.2, p.261-268, Feb. 2017. DOI: 10.1007/s00122-016-2782-3

SÁNCHEZ-SASTRE, L. F. *et al.* UAV Detection of *Sinapis arvensis* Infestation in Alfalfa Plots Using Simple Vegetation Indices from Conventional Digital



Cameras. **AgriEngineering**, v.3, p.206-212, 2020. DOI: 10.3390/agriengineering2020012

TEDESCO, D. *et al.* Remote Sensing on Alfalfa as an Approach to Optimize Production Outcomes: A Review of Evidence and Directions for Future Assessments. **Remote Sensing**, v.14, 4940, 2022. DOI: 10.3390/rs14194940

TUPY, O. *et al.* **Viabilidade econômica e financeira do pastejo em alfafa em sistemas de produção de leite**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2015. 56p. (Documentos, 118)

VILELA, D.; PEREIRA, M. N. **Tipificação do feno de alfafa para o Brasil**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2024. 13 p. (Embrapa Gado de Leite. Documentos, 286)

VILELA, D. *et al.* Research Priorities and the Future of Alfalfa in Latin America. **Journal of Agricultural Science and Technology**, A 10, p. 109-113, 2020. DOI: 10.17265/2161-6256/2020.02.007

VILELA, D. *et al.* Prioridades de pesquisa e futuro da alfafa no Brasil. In: FERREIRA, R.P. *et al.* (Org.). **Cultivo e utilização da alfafa nos trópicos**. Brasília: Embrapa, 2008, cap. 16, p. 455-469.

WU, X. *et al.* Classification of Alfalfa Hay Based on Infrared Spectroscopy. **BioResources**, Raleigh, v.18, n.3, p.5399-5416, Aug. 2023. DOI: 10.15376/biores.18.3.5399-5416.

YU, L-X. *et al.* Genome-Wide Association Study Identifies Loci for Salt Tolerance during Germination in Autotetraploid Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Using Genotyping-by-Sequencing. **Frontiers in Plant Science**, v.7, article 956. 12p. Jun. 2016. DOI: 10.3389/fpls.2016.00956

YU, L-X. *et al.* The Impact of Genotyping-by-Sequencing Pipelines on SNP Discovery and Identification of Markers Associated with Verticillium Wilt Resistance in Autotetraploid Alfalfa (*Medicago sativa* L.). **Frontiers in Plant Science**, v. 8, article 89, 13p. Feb. 2017. DOI: 10.3389/fpls.2017.00089