UNIVERSIDADE DE SOROCABA
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO E ASSUNTOS ESTUDANTIS

INOVAÇÃO NA AGRICULTURA DE PRECISÃO: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA FORRAGEM FRENTE A DADOS REGIONAIS E NACIONAIS QUANTIFICADOS PELO EQUIPAMENTO NUTRISENSE®

Ana Júlia Estanagel Leme

Sorocaba/SP

2025

ANA JÚLIA ESTANAGEL LEME

INOVAÇÃO NA AGRICULTURA DE PRECISÃO: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA FORRAGEM FRENTE A DADOS REGIONAIS E NACIONAIS QUANTIFICADOS PELO EQUIPAMENTO NUTRISENSE®

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Engenharia Agronômica, da Universidade de Sorocaba.

Orientador: Profª Mª Paula Castanho Borges de Ávila

Sorocaba/SP

2025

ANA JÚLIA ESTANAGEL LEME

INOVAÇÃO NA AGRICULTURA DE PRECISÃO: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA FORRAGEM FRENTE A DADOS REGIONAIS E NACIONAIS QUANTIFICADOS PELO EQUIPAMENTO NUTRISENSE®

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Engenharia Agronômica, da Universidade de Sorocaba.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA:

Prof.ª Mª Paula Castanho Borges de Ávila

Universidade de Sorocaba

Prof.ª Drª Elisa Caroline da Silva Santos Ikegami

Universidade de Sorocaba

Prof. Dr. Renan Angrizani De Oliveira

Universidade de Sorocaba

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder sabedoria e força para superar cada etapa desta caminhada, bem como por ter colocado em meu caminho pessoas tão especiais que tornaram essa jornada mais leve e significativa.

Expresso minha sincera gratidão às minhas colegas de faculdade, Eduarda, Maria Gabriela, Pamela e Rafaele, que foram fundamentais ao longo de todo esse processo, com sua amizade, apoio e parceria.

À minha orientadora, Paula Castanho Borges de Ávila, registro minha gratidão por toda a paciência, dedicação e apoio durante a construção deste trabalho. Sua orientação foi essencial para que este projeto se concretizasse com qualidade e responsabilidade.

Agradeço também aos meus colegas de profissão, que se colocaram à disposição para contribuir com a coleta de dados e informações relevantes, demonstrando companheirismo.

À minha mãe, Valdirene Estanagel, agradeço o apoio constante e pelos conselhos sempre equilibrados, que me ajudaram a seguir em frente com mais confiança. Sua presença foi fundamental ao longo dessa trajetória.

Por fim, dirijo meus agradecimentos à minha família, base de tudo o que sou. Ao meu pai, Abilio Antônio Ferreira Leme, que, mesmo indiretamente, influenciou minha escolha por esta área de formação. Aos meus irmãos, Natalia, Felipe e Sarah, que, com suas diferentes formas de ser, sempre me inspiraram e ao meu cunhado Bruno, que sempre esteve disposto a me ajudar. Estendo esse agradecimento ao meu namorado, Gianluigi, e futuro colega de profissão, pelo apoio constante, pela paciência e pelo incentivo durante essa jornada.

RESUMO

A Agricultura de Precisão (AP) tem se consolidado como uma aliada essencial na modernização do setor agropecuário, promovendo o uso eficiente de insumos e a melhoria da produtividade. Este trabalho avaliou a eficácia do sensor Nutrisense®, que utiliza espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), na análise nutricional da forragem durante a colheita em tempo real. Os dados gerados pelo sensor, instalado em uma forrageira colhedora, foram comparados com análises laboratoriais convencionais de amostras enviadas por produtores, tomando como referência médias estaduais e nacionais.

Os resultados demonstraram que o sensor apresenta boa confiabilidade em diversos parâmetros nutricionais. As variações observadas na proteína bruta (7,00% Nutrisense® vs. 7,72% convencional), gordura (1,45% vs. 1,79%), cinzas (6,25% vs. 7,91%) e FDA foram mínimas, indicando boa correspondência entre os métodos e reforçando o potencial do sensor como ferramenta de apoio à tomada de decisão no campo.

Entretanto, foram identificadas diferenças significativas em três parâmetros: amido, FDN (fibra em detergente neutro) e matéria seca/umidade. O teor de amido apresentou discrepância de 18,85 pontos percentuais (21,88% no Nutrisense® vs. 40,73% no método convencional), sugerindo limitações do sensor na leitura desse composto, especialmente em amostras com alta umidade ou baixa homogeneização. Na FDN, o sensor superestimou o valor (51,38% vs. 38,57%), o que pode estar relacionado à textura mais fibrosa da forragem durante a coleta. Já na matéria seca, o Nutrisense® indicou 33,8%, enquanto o método convencional apontou 54,63%, revelando uma diferença superior a 20 pontos percentuais. Essa variação está associada às diferentes metodologias: leitura instantânea no campo versus secagem em estufa no laboratório.

Conclui-se que, embora o Nutrisense® apresente limitações em alguns parâmetros específicos, ele se mostra uma alternativa viável para monitoramento nutricional da forragem em tempo real. Sua aplicação pode otimizar o manejo durante a colheita e contribuir para sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis, reduzindo a dependência de análises laboratoriais demoradas.

Palavras-chave: Sensoriamento NIR; Qualidade Nutricional; Comparação laboratorial; Análise em Tempo Real; Manejo Forrageiro; Eficiência na colheita.

ABSTRACT

Precision Agriculture (PA) has become a key tool in the modernization of the agricultural sector by promoting more efficient use of inputs and improving productivity. This study evaluated the effectiveness of the Nutrisense® sensor, which operates through near-infrared spectroscopy (NIR), in real-time nutritional analysis of forage during harvest. Data collected by the sensor, installed on a forage harvester, were compared with conventional laboratory analyses based on samples submitted by producers, using state and national averages as references.

The results indicated strong reliability of the sensor in several nutritional parameters. Minor differences were observed in crude protein (7.00% Nutrisense® vs. 7.72% conventional), fat (1.45% vs. 1.79%), ash (6.25% vs. 7.91%), and ADF, demonstrating good agreement between methods and supporting the sensor's potential as a decision-making tool in the field.

However, significant discrepancies were found in three parameters: starch, NDF (neutral detergent fiber), and dry matter/moisture. Starch levels differed by 18.85 percentage points (21.88% Nutrisense® vs. 40.73% conventional), likely due to sensor limitations in analyzing non-homogenized or high-moisture samples. NDF values were overestimated by the sensor (51.38% vs. 38.57%), possibly due to the fibrous texture of the material. In dry matter content, the Nutrisense® measured 33.8%, while the conventional method indicated 54.63%, a difference of over 20 points, attributed to the methodological differences in moisture measurement.

In conclusion, despite specific limitations, the Nutrisense® sensor proves to be a viable alternative for real-time forage quality monitoring. Its use can optimize harvest management and contribute to more efficient and sustainable production systems, reducing the dependence on time-consuming laboratory analyses.

Keywords: NIR Sensing; Nutritional Quality; Laboratory Comparison; Real-Time Analysis; Forage Management; Harvest Efficiency.

LISTA DE FIGURAS, TABELAS E GRÁFICOS

Figura 1 - Relatório gerado pelo sistema Field OPS 14
Figura 2 - Laudo de análise bromatológica da silagem de milho (colheita convencional) 14
Figura 3 - Etapas do funcionamento do sensor Nutrisense® durante a colheita da forragem.....15
Figura 4 - Sensor Nutrisense® acoplado à forrageira durante operação de colheita.....15
Figura 5 - Forrageira FR780 New Holland.....15

Tabela 1 - Comparação dos parâmetros nutricionais entre sensor Nutrisense® e colheita convencional.....16

SUMÁRIO

RESUMO 5

ABSTRACT 6

LISTA DE FIGURAS, TABELAS E GRÁFICOS 7

1 INTRODUÇÃO 10

2 OBJETIVOS 11

2.1 Objetivos Gerais 11

2.2 Objetivos Específicos 11

3 REVISÃO DE LITERATURA 12

3.1 Agricultura de Precisão: Origem, Evolução e Impacto Econômico 12

3.2 A Importância da Qualidade Nutricional da Forragem 13

3.2.1 Avanços Tecnológicos e Métodos de Análise na Avaliação da Qualidade da Forragem 14

3.3 Agricultura de Precisão: Vantagens, Desvantagens e Desafios 15

3.4 Nutrisense: Tecnologia NIR na Análise Forrageira ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.5 Funcionamento do sensor Nutrisense® ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.6 Contribuições da Agricultura de Precisão para o Produto Interno Bruto (PIB) 17

3.7 Considerações Finais ..... **Error! Bookmark not defined.**

4 MATERIAL E MÉTODOS 18

4.1 Tipo de pesquisa 18

4.2 Área de estudo 18

4.3 Métodos de obtenção de informações 19

4.4 Procedimentos metodológicos 19

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 22

6 CONCLUSÃO 24

7 REFERÊNCIAS 25

1 INTRODUÇÃO

A Agricultura de Precisão (AP) surgiu como uma abordagem inovadora atrelada à mecanização agrícola e ao desenvolvimento de sensores avançados capazes de coletar dados em tempo real sobre variáveis do solo, da planta e do ambiente. Essa estratégia busca otimizar os recursos produtivos por meio de decisões embasadas em informações georreferenciadas e tecnicamente precisas. Tecnologias como sensores de proximidade, drones equipados com câmeras multiespectrais, sistemas de posicionamento global (GPS) embarcados em máquinas agrícolas, além de plataformas de monitoramento climático e modelagem preditiva, compõem o conjunto de ferramentas que sustentam essa revolução no campo.

Com o avanço tecnológico e a ampliação do acesso a essas ferramentas, a Agricultura de Precisão expandiu-se para múltiplas culturas e setores, ultrapassando as grandes monoculturas de grãos. Atualmente, está presente em atividades como adubação em taxa variável em lavouras de soja, milho, cana-de-açúcar e algodão, monitoramento hídrico em fruticultura, e, mais recentemente, no acompanhamento da qualidade nutricional da forragem utilizada na pecuária de corte e leite. Neste contexto, destacam-se sensores ópticos como o Nutrisense®, que utilizam espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para fornecer leituras instantâneas dos componentes nutricionais da forragem durante o processo de colheita.

O sensor Nutrisense® representa uma inovação significativa ao permitir a avaliação, em tempo real, de parâmetros como matéria seca, proteína bruta, fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), amido, gordura e teor de cinzas. A capacidade de fornecer essas informações instantaneamente, diretamente do campo, reduz a dependência de análises laboratoriais demoradas e possibilita ajustes imediatos na colheita e no planejamento da dieta animal. No entanto, sua precisão pode ser influenciada por fatores como umidade excessiva, baixa homogeneização da amostra e granulometria do material, exigindo calibrações constantes e interpretação técnica dos dados.

A qualidade da forragem é um fator decisivo para o desempenho zootécnico dos rebanhos, especialmente em sistemas intensivos, onde se busca alta produtividade com eficiência alimentar. Parâmetros como o teor de matéria seca, a digestibilidade da fibra (FDN e FDA), o conteúdo de proteína e o nível de energia (amido) impactam diretamente o consumo voluntário, a produção de leite e o ganho de peso dos animais. Nesse sentido, o uso de sensores

NIR acoplados às colhedoras forrageiras permite uma gestão mais precisa do valor nutricional ofertado ao rebanho, promovendo resultados superiores em produtividade e sustentabilidade.

Esse avanço tecnológico tem impacto direto na gestão das propriedades rurais, promovendo maior eficiência na utilização de insumos, redução de perdas e aumento da produtividade. Como consequência, há um reflexo positivo também na economia nacional. Ao possibilitar, por exemplo, que fertilizantes e corretivos sejam aplicados apenas onde há necessidade real, a Agricultura de Precisão reduz custos operacionais e amplia a produção por hectare — fator fundamental em culturas de grande escala que sustentam as exportações brasileiras. Na pecuária, a utilização de sensores nutricionais e ambientais melhora o desempenho animal, reduz perdas causadas por estresse térmico ou deficiência alimentar e eleva a produção de carne e leite com maior eficiência.

Segundo dados do CEPEA/USP e da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), o agronegócio representou cerca de 24,8% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro em 2023, sendo grande parte desse resultado atribuída à modernização das práticas agrícolas e à incorporação de tecnologias digitais no campo. Dessa forma, a Agricultura de Precisão não apenas transforma a produção agropecuária, como também desempenha um papel estratégico no fortalecimento da economia nacional e na consolidação do Brasil como potência agroexportadora.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Avaliar a eficiência da agricultura de precisão na produção de forragens, comparando os dados de colheita de uma forrageira que utiliza o sensor Nutrisense®, responsável pela análise bromatológica da forragem, com as médias em nível nacional e estadual, através de uma análise comparativa.

2.2 Objetivos Específicos

Examinar como a agricultura de precisão influencia o Produto Interno Bruto (PIB) do país, levando em conta seu reflexo na produtividade e na eficácia do setor agrícola.

Analisar a relevância da agricultura de precisão na produção de forragens, enfatizando sua contribuição para a nutrição dos animais.

Analisar os prós e contras da utilização do sensor Nutrisense® (NIR) na avaliação de forragens, levando em conta fatores como exatidão, preço e conveniência.

Abordar a importância de uma forragem rica em nutrientes, ressaltando sua influência na produtividade dos animais e na sustentabilidade das atividades agropecuárias.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Agricultura de Precisão: Origem, Evolução e Impacto Econômico

A AP surgiu nos anos 1980 nos Estados Unidos, impulsionada pelo avanço das tecnologias de posicionamento global (GPS) e pelo desenvolvimento de sensores capazes de coletar dados em tempo real (MARQUES et al., 2020). Com o tempo, essa abordagem evoluiu de uma ferramenta experimental para uma estratégia consolidada de gestão agrícola, que permite o monitoramento e a intervenção localizada nas lavouras, promovendo maior eficiência no uso de insumos e recursos naturais (SILVA et al., 2019).

Atualmente, a AP encontra aplicações em diversas frentes do agronegócio, como o manejo do solo, monitoramento de culturas, pulverizações em taxa variável e análise da qualidade da forragem. Essa tecnologia vem influenciando diretamente a gestão agrícola ao oferecer informações precisas que subsidiam a tomada de decisão e aumentam a rentabilidade. Além disso, a agricultura digital tem se mostrado um importante vetor de crescimento econômico. Segundo dados do Ministério da Agricultura, a modernização das práticas agrícolas por meio da AP contribui significativamente para o Produto Interno Bruto (PIB) nacional, especialmente devido à melhoria da produtividade e à redução de perdas (MAPA, 2023).

Esse avanço tecnológico se insere no contexto mais amplo da chamada Agricultura 4.0, marcada pela integração de tecnologias digitais como Internet das Coisas (IoT), Big Data, inteligência artificial e computação em nuvem aplicados ao ambiente agrícola. Nesse modelo, os dispositivos e sensores conectados atuam em conjunto para gerar dados em tempo real, possibilitando uma agricultura mais conectada, automatizada e inteligente. Máquinas autônomas, drones com inteligência embarcada, plataformas de análise preditiva e estações meteorológicas integradas são exemplos práticos dessa fase tecnológica.

Como tendência futura, já se discute a transição para a Agricultura 5.0, que amplia os princípios da Agricultura 4.0 com uma abordagem mais centrada no ser humano, valorizando aspectos sociais, ambientais e éticos da produção. Essa nova fase busca equilibrar a automação com a sustentabilidade, promovendo sistemas mais resilientes, regenerativos e inclusivos. A Agricultura 5.0 visas, portanto, não apenas produzir mais com menos, mas também produzir melhor, considerando o bem-estar do produtor, a conservação dos ecossistemas e a segurança alimentar global.

Esse panorama reforça o papel estratégico da Agricultura de Precisão e de suas evoluções tecnológicas como pilares da inovação no setor agropecuário, contribuindo para um modelo produtivo mais eficiente, sustentável e conectado aos desafios contemporâneos.

3.2 A Importância da Qualidade Nutricional da Forragem

A produção animal está diretamente relacionada à qualidade da forragem fornecida. Uma forragem com alto teor nutricional, rica em proteína bruta, digestibilidade e baixo teor de fibras indigestíveis, é essencial para garantir o bom desempenho produtivo e reprodutivo dos rebanhos (COSTA et al., 2021).

A análise bromatológica da silagem de milho é uma ferramenta indispensável nesse processo. Segundo a Rehagro (2024), uma silagem de qualidade deve apresentar: matéria seca entre 30% e 35%; proteína bruta entre 7% e 9%; fibra em detergente neutro (FDN) inferior a 50%; fibra em detergente ácido (FDA) inferior a 30%; digestibilidade da matéria seca (DIVMS) superior a 65%; e teor de amido acima de 30%.

De forma semelhante, o material técnico “500 perguntas sobre milho” reforça que o milho ideal para ensilagem deve conter entre 32% e 37% de matéria seca, com tolerância de 30% a 39%. O documento destaca que a fração fibrosa da planta (FDN, FDA, lignina, celulose, hemicelulose e pectina) interfere diretamente no consumo e desempenho animal, tornando essencial o hábito de análises bromatológicas regulares. Além disso, recomenda-se que a proteína bruta esteja acima de 7,5%, o extrato etéreo acima de 3%, e a lignina abaixo de 5%, para evitar prejuízos à digestibilidade e ao consumo (SILVA et al., 2020).

Tais análises permitem ajustes dietéticos mais econômicos, eficientes e compatíveis com a genética dos animais, maximizando o desempenho produtivo e o retorno econômico.

3.2.1 Avanços Tecnológicos e Métodos de Análise na Avaliação da Qualidade da Forragem

A excelência nutricional das forragens é fundamental para o sucesso dos sistemas de criação de animais. Forragens com altos teores de proteína bruta, excelente digestibilidade e baixos níveis de fibras não digeríveis favorecem uma maior eficiência na alimentação, influenciando diretamente nas taxas de ganho de peso, na produção de leite e no desempenho reprodutivo dos animais (COSTA et al., 2021; REHAGRO, 2024). A produção de forragem de alta qualidade não só otimiza a conversão alimentar, mas também diminui os gastos com suplementos concentrados, favorecendo uma sustentabilidade econômica e ecológica.

Sistemas forrageiros devidamente estruturados e acompanhados por tecnologias de Agricultura de Precisão, como o sensor Nutrisense®, permitem modificações imediatas na alimentação dos animais, reduzindo perdas nutricionais e aprimorando o bem-estar dos rebanhos (AGROTECH, 2023). No entanto, quando essa tecnologia não está disponível, o acompanhamento bromatológico é realizado por meio de métodos laboratoriais convencionais, que envolvem a coleta manual de amostras de forragem no campo, as quais são enviadas para análise em laboratórios especializados. Essas amostras são submetidas a processos como a secagem em estufa, moagem e homogeneização, seguidos de análises químicas para determinar os teores de matéria seca, proteína bruta, fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), extrato etéreo, minerais (cinzas), entre outros componentes.

Embora esse método proporcione resultados confiáveis e detalhados, ele possui algumas limitações importantes, como o tempo entre a coleta e a obtenção dos resultados, o custo das análises e a representatividade limitada das amostras, que podem não refletir as variações reais da forragem disponível no momento do consumo animal. Em contrapartida, tecnologias como o Nutrisense® possibilitam a análise em tempo real, durante a colheita, aumentando a agilidade na tomada de decisões no manejo nutricional.

Além do Nutrisense®, outras ferramentas vêm sendo utilizadas no campo para intensificar o monitoramento da qualidade da forragem e a eficiência do manejo. Sensores NIR portáteis, como os produzidos pela FOSS® e Unity Scientific®, permitem análises rápidas e precisas do valor nutricional da forragem diretamente no campo, enquanto plataformas como Climate FieldView®, Agrosmart® e Solinftec® integram dados climáticos, edáficos e de manejo para orientar decisões com base em variáveis reais e atualizadas.

O uso de sistemas de monitoramento remoto de pastagens, com imagens de satélite e análises por NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), como nos programas da SISAGRO ou soluções oferecidas por startups como CattleHub®, permite acompanhar a produtividade das áreas forrageiras e planejar o pastejo de forma mais eficaz. Já dispositivos wearables para os animais, como os colares CowManager® e SenseHub®, monitoram parâmetros fisiológicos e de comportamento alimentar, possibilitando correlações diretas com a composição da dieta fornecida.

Adicionalmente, a oferta constante de alimento de alta qualidade favorece o bem-estar dos animais e assegura a estabilidade na produção ao longo do ano, mesmo durante épocas de escassez de recursos. Dessa forma, a administração da qualidade da forragem, com o apoio de sistemas tecnológicos ou métodos laboratoriais, deve ser encarada como uma abordagem estratégica essencial para assegurar a sustentabilidade e a durabilidade das atividades pecuárias (SILVA et al., 2020).

3.3 Agricultura de Precisão: Vantagens, Desvantagens e Desafios

Entre as principais vantagens da Agricultura de Precisão estão o aumento da produtividade, redução de custos operacionais, melhor utilização de recursos naturais e maior sustentabilidade ambiental. A precisão dos dados permite práticas agrícolas mais eficientes, como a aplicação localizada de fertilizantes e corretivos, diminuindo impactos ambientais e otimizando os rendimentos (LOPES et al., 2022).

Contudo, a adoção dessa tecnologia enfrenta desafios. Os custos iniciais de aquisição e manutenção dos equipamentos ainda são elevados para pequenos e médios produtores. Além disso, a carência de capacitação técnica e de infraestrutura digital em áreas rurais representa um entrave para a popularização da AP no Brasil (SANTOS & BARROS, 2021). A integração entre as tecnologias disponíveis e os sistemas de produção também demanda planejamento, suporte técnico e políticas públicas eficazes.

3.4 Nutrisense: Tecnologia NIR na Análise Forrageira

O sensor NutriSense® é uma ferramenta avançada baseada na espectroscopia no infravermelho próximo (NIR – *Near Infrared Reflectance***)**, utilizada para realizar análises nutricionais de forragens em tempo real durante o processo de colheita. Instalado diretamente

em colhedoras forrageiras, o sensor capta as propriedades ópticas da planta enquanto ela é processada, fornecendo dados instantâneos sobre sua composição química.

O princípio da tecnologia NIR consiste na emissão de luz infravermelha sobre a amostra vegetal. Essa luz interage com as ligações moleculares presentes nos compostos orgânicos da forragem, como proteínas, fibras, lipídios e água. Parte da luz é absorvida e parte é refletida, gerando um espectro característico que varia conforme a constituição química do material analisado. Esse espectro é então interpretado por meio de algoritmos calibrados com base em análises laboratoriais de referência, possibilitando a estimativa precisa de diversos parâmetros nutricionais.

Dentre os principais componentes avaliados pelo NutriSense®, destacam-se: proteína bruta, matéria seca, umidade, fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), gordura, cinzas e amido. A capacidade de realizar essas análises de forma contínua e georreferenciada ao longo da área de colheita permite intervenções imediatas no manejo da lavoura ou ajustes na formulação da dieta dos animais, otimizando a eficiência do sistema de produção.

Além das medições em tempo real, o sensor também está integrado a plataformas de gestão agrícola digital, permitindo o armazenamento e análise dos dados por talhão ou safra. Com isso, é possível construir um histórico da qualidade da forragem ao longo do tempo, facilitando decisões estratégicas como o planejamento de adubações, a escolha de cultivares mais adaptadas ou a definição do melhor momento de colheita para cada área.

Embora o uso do NutriSense® exija calibrações específicas conforme a espécie forrageira e as condições ambientais, sua aplicação representa um avanço significativo dentro da pecuária de precisão. Ele contribui para o uso mais racional dos recursos, reduz perdas nutricionais e melhora o desempenho zootécnico dos rebanhos, promovendo uma produção mais eficiente e sustentável.

3.5 Contribuições da Agricultura de Precisão para o Produto Interno Bruto (PIB)

A Agricultura de Precisão (AP) tem se mostrado fundamental para o desenvolvimento do agronegócio brasileiro, influenciando de maneira significativa o Produto Interno Bruto (PIB) do país. Ao incentivar a utilização responsável de insumos, minimizar perdas e otimizar a produtividade das culturas, a AP ajuda a aumentar a eficiência econômica das propriedades agrícolas, resultando em uma maior competitividade nos mercados tanto interno quanto externo.

De acordo com informações do Ministério da Agricultura (MAPA, 2023), as Fazenda que implementam métodos de Agricultura de Precisão reportam, em média, um incremento na produtividade que varia de 15% a 25%, dependendo da cultura e das tecnologias utilizadas. Esse avanço se traduz em um aumento na produção a um custo menor por unidade, o que contribui para o crescimento do PIB do setor agropecuário e a criação de empregos, tanto diretos quanto indiretos, nas cadeias produtivas.

Adicionalmente, a ampliação da AP incentiva o crescimento de áreas relacionadas à tecnologia, como produtores de sensores, programas de gerenciamento agrícola e companhias especializadas em análise de dados, impulsionando de forma substancial a indústria e os serviços focados no agro. Assim, a agricultura digital é atualmente vista como um motor de inovação econômica, com a capacidade de estabelecer o Brasil como um modelo global em produtividade agrícola sustentável.

3.6 Contribuições da Qualidade da Forragem para a Eficiência Pecuária

Dessa forma, observa-se que a Agricultura de Precisão representa uma importante ferramenta para a modernização da agropecuária nacional. Seu papel na otimização da produção forrageira e melhoria dos sistemas de alimentação animal é evidente, proporcionando dados confiáveis que beneficiam tanto os produtores rurais quanto pesquisadores e agentes do setor agropecuário. Tecnologias como o Nutrisense® elevam a qualidade das análises nutricionais de forma acessível e ágil, reforçando o vínculo entre ciência, produtividade e sustentabilidade.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado com o objetivo de analisar a efetividade do sensor Nutrisense® na Agricultura de Precisão, por meio da comparação entre os dados nutricionais da forragem coletados em tempo real pelo sensor e os resultados obtidos por meio de uma análise bromatológica convencional. Ambos os conjuntos de dados se referem a colheitas de milho realizadas no município de Ponta Grossa, Paraná. A análise bromatológica foi feita com amostras enviadas para laboratório, provenientes de uma colheita tradicional, enquanto os dados do sensor Nutrisense® foram obtidos diretamente durante o processamento da planta na forrageira, em tempo real. Ademais, os resultados foram comparados com as médias estaduais e nacionais disponíveis, com o intuito de verificar como a produção local se posiciona em relação aos padrões do setor.

4.1 Tipo de pesquisa

Trata-se de uma pesquisa comparativa e exploratória, baseada em revisão de literatura e na análise de dados práticos obtidos em uma propriedade rural no município de Ponta Grossa (PR).

4.2 Área de estudo

A coleta de informações ocorreu em uma propriedade agrícola no município de Ponta Grossa, no estado do Paraná, definida pelas coordenadas geográficas de latitude -25.00960 e longitude -50.28591. No decorrer do experimento, foram examinadas duas abordagens diferentes para a colheita de forragem: uma utilizando o sensor Nutrisense®, fundamentada na tecnologia de espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), e a outra baseada em dados obtidos por métodos convencionais, que não empregaram tecnologias de Agricultura de Precisão. As informações da colheita convencional foram coletadas por meio de uma análise bromatológica realizada pelo produtor. O propósito foi comparar os aspectos nutricionais da forragem obtida por cada técnica, analisando o efeito do uso de sensores na qualidade final do material destinado à ensilagem.

4.3 Métodos de obtenção de informações

O sensor Nutrisense® foi o dispositivo central empregado na obtenção de dados, instalado em uma forrageira FR780, o que possibilitou a análise bromatológica em tempo real utilizando a tecnologia de espectroscopia de infravermelho próximo (NIR). Com esse sistema, foi viável medir de forma imediata os seguintes parâmetros nutricionais da forragem:

- Amido
- Cinza
- Fibras (FDN e FDA)
- Gordura
- Matéria Seca
- Proteína Bruta
- Umidade

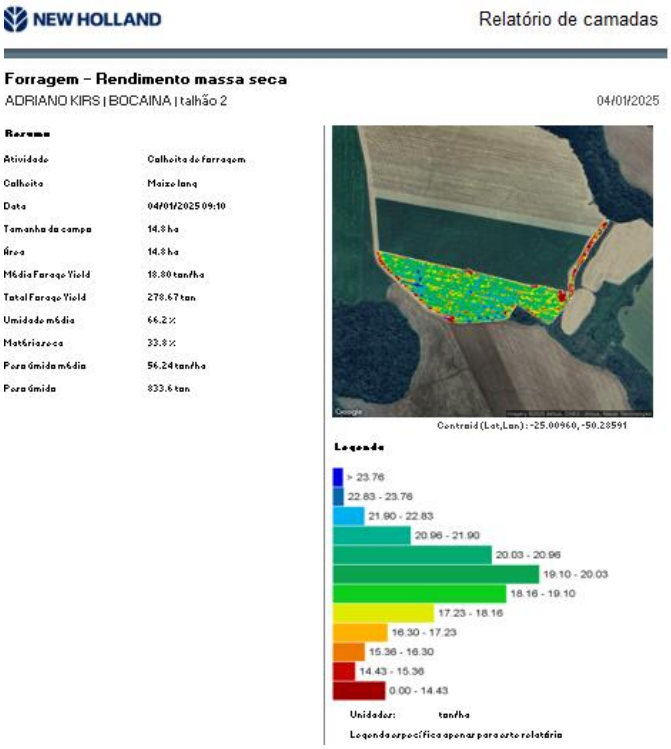
As informações coletadas pelo Nutrisense® foram enviadas automaticamente para o portal integrado New Holland Field OPS, onde puderam ser acessadas para monitoramento e análise agronômica.

Para efeito de comparação, foi utilizada uma amostra de um lote colhido com uma máquina forrageira que não possuía sensor. Os dados nutricionais dessa forragem foram obtidos por meio de uma análise bromatológica em laboratório, utilizando materiais fornecidos pelo produtor Reginaldo Garcia.

4.4 Procedimentos metodológicos

As informações reunidas foram estruturadas e examinadas de maneira comparativa, levando em conta os valores médios alcançados tanto com quanto sem a utilização do sensor. A análise concentrou-se nos aspectos nutricionais da forragem obtida por cada abordagem. Com base nessa avaliação, buscou-se identificar as vantagens e desvantagens da utilização da agricultura de precisão na análise de forragens.

Figura 1: Relatório gerado pelo sistema Field OPS



NEW HOLLAND

Relatório de camadas

Forragem – Rendimento massa seca

ADRIANO KIRS | BOCAINA | talhão 2

04/01/2025

Resumo

Atividade	Colheita de forragem
Colheita	Maize long
Data	04/01/2025 09:10
Tamanho da campo	14.8 ha
Área	14.8 ha
Média Forage Yield	18.80 ton/ha
Total Forage Yield	278.67 ton
Umidade média	66.2 %
Matéria seca	33.8 %
Para úmida média	56.24 ton/ha
Para úmida	833.6 ton

Centroid (Lat,Lon): -25.00960, -50.28591

Legenda

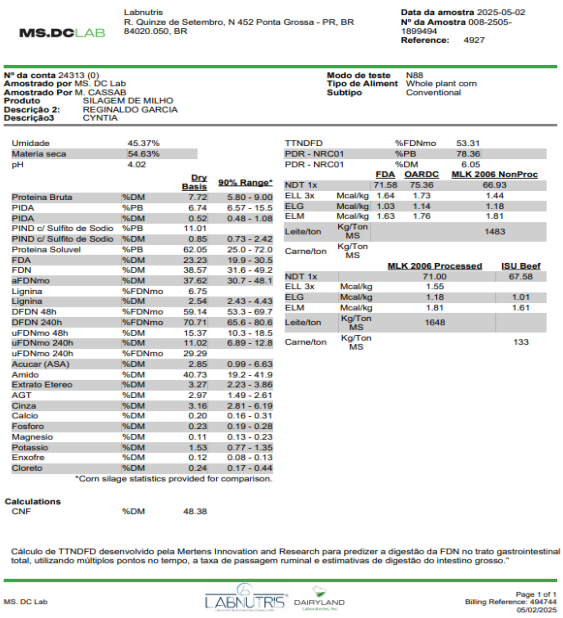
- > 23.76
- 22.83 - 23.76
- 21.90 - 22.83
- 20.96 - 21.90
- 20.03 - 20.96
- 19.10 - 20.03
- 18.16 - 19.10
- 17.23 - 18.16
- 16.30 - 17.23
- 15.36 - 16.30
- 14.43 - 15.36
- 0.00 - 14.43

Unidades: ton/ha

Legenda específica apenas para este relatório

Fonte: Print de tela do relatório da plataforma New Holland Field OPS, 2025.

Figura 2: Laudo de análise bromatológica da silagem de milho (colheita convencional)



MS.DC LAB

Labnutris
R. Quinze de Setembro, N 452 Ponta Grossa - PR, BR
84020.050, BR

Data da amostra 2025-05-02
Nº da Amostra 008-2505-1899494
Reference: 4927

Nº da conta 24313 (0)
Amostrado por MS .DC Lab
Amostrado Por M. CASSAB
Produto SILAGEM DE MILHO
Descrição 2: REGINALDO GARCIA
Descrição3 CYNTIA

Modo de teste N88
Tipo de Aliment Whole plant corn
Subtipo Conventional

Umidade		45.37%
Materia seca		54.63%
pH		4.02

		Dry Basis	90% Range*
Proteina Bruta	%DM	7.72	5.80 - 9.00
PIDA	%PB	6.74	6.57 - 15.5
PIDA	%DM	0.52	0.48 - 1.08
PIND c/ Sulfito de Sodio	%PB	11.01	
PIND c/ Sulfito de Sodio	%DM	0.85	0.73 - 2.42
Proteina Soluvel	%PB	62.05	25.0 - 72.0
FDA	%DM	23.23	19.9 - 30.5
FDN	%DM	38.57	31.6 - 49.2
aFDNmo	%DM	37.62	30.7 - 48.1
Lignina	%FDNmo	6.75	
Lignina	%DM	2.54	2.43 - 4.43
DFDN 48h	%FDNmo	59.14	53.3 - 69.7
DFDN 240h	%FDNmo	70.71	65.6 - 80.6
uFDNmo 48h	%DM	15.37	10.3 - 18.5
uFDNmo 240h	%DM	11.02	6.89 - 12.8
uFDNmo 240h	%FDNmo	29.29	
Acucar (ASA)	%DM	2.85	0.99 - 6.63
Amido	%DM	40.73	19.2 - 41.9
Extrato Etereo	%DM	3.27	2.23 - 3.86
AGT	%DM	2.97	1.49 - 2.61
Cinza	%DM	3.16	2.81 - 6.19
Calcio	%DM	0.20	0.16 - 0.31
Fosforo	%DM	0.23	0.19 - 0.28
Magnesio	%DM	0.11	0.13 - 0.23
Potassio	%DM	1.53	0.77 - 1.36
Enxofre	%DM	0.12	0.08 - 0.13
Cloreto	%DM	0.24	0.17 - 0.44

*Corn silage statistics provided for comparison.

Calculations

CNF	%DM	48.38

TTNDFD			%FDNmo	53.31
PDR - NRC01			%PB	78.36
PDR - NRC01			%DM	6.05
		FDA	OARDC	MLK 2006 NonProc
NDT 1x		71.58	75.36	66.93
ELL 3x	Mcal/kg	1.64	1.73	1.44
ELG	Mcal/kg	1.03	1.14	1.18
ELM	Mcal/kg	1.63	1.76	1.81
Leite/ton	Kg/Ton MS			1483
Carne/ton	Kg/Ton MS			

		MLK 2006 Processed	ISU Beef
NDT 1x		71.00	67.58
ELL 3x	Mcal/kg	1.55	
ELG	Mcal/kg	1.18	1.01
ELM	Mcal/kg	1.81	1.61
Leite/ton	Kg/Ton MS	1648	
Carne/ton	Kg/Ton MS		133

Cálculo de TTNDFD desenvolvido pela Mertens Innovation and Research para predizer a digestão da FDN no trato gastrointestinal total, utilizando múltiplos pontos no tempo, a taxa de passagem ruminal e estimativas de digestão do intestino grosso.*

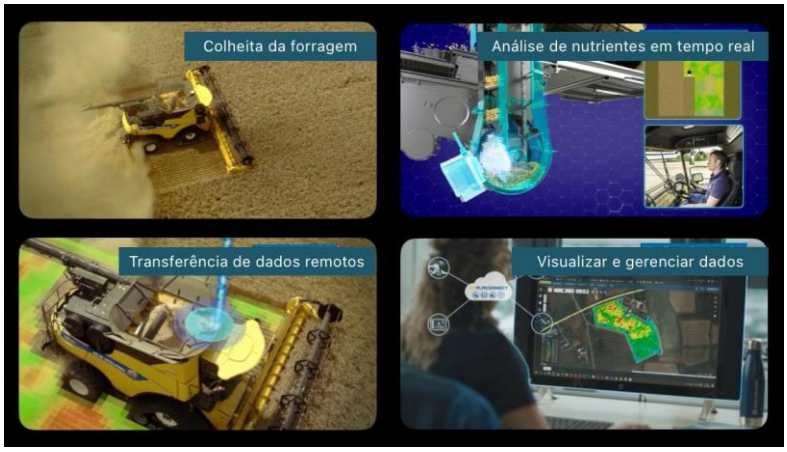
MS. DC Lab

LABNUTRIS DAIRYLAND

Page 1 of 1
Billing Reference: 494744
05/02/2025

Fonte: Print de tela de laudo laboratorial fornecido pelo produtor Reginaldo Garcia, MS.DC Lab, 2025.

Figura 3: Etapas do funcionamento do sensor Nutrisense® durante a colheita da forragem



Fonte: Montagem própria com imagens obtidas do site institucional da New Holland (2025).

Figura 4: Sensor Nutrisense® acoplado à forrageira durante operação de colheita

Fonte: Site institucional da New Holland (2025).

Figura 5: Forrageira FR780 New Holland

Fonte: Site institucional da New Holland (2025).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação entre os métodos de análise permitiu observar diferenças relevantes em alguns parâmetros nutricionais da forragem de milho, especialmente aqueles relacionados ao teor de matéria seca, umidade, amido e fibra. De modo geral, o sensor Nutrisense® apresentou resultados próximos aos obtidos pela análise laboratorial em parâmetros como proteína bruta, gordura, cinzas e fibra em detergente ácido (fda), demonstrando sua eficácia para estimativas rápidas e em tempo real. No entanto, foram identificadas diferenças mais expressivas nos valores de amido, fibra em detergente neutro (fdn) e, principalmente, nos teores de matéria seca e umidade, o que pode estar relacionado às condições ambientais no momento da colheita e às particularidades dos métodos de medição.

Tabela 1 - Comparação dos parâmetros nutricionais entre sensor Nutrisense® e colheita convencional.

Parâmetro	Unidade	Nutrisense	Convencional	Diferença
Amido	%	21,88	40,73	18,85
Cinza	%	4,82	3,16	1,66
Fibra Detergente Neutro (FDN)	%	51,38	38,57	12,81
Fibra Detergente Ácido (FDA)	%	26,67	23,23	3,44
Gordura	%	2,93	3,27	0,34
Matéria seca	%	33,8	54,63	20,83
Proteína Bruta	%	7	7,72	0,72
Umidade	%	66,17	45,37	20,08

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 1 exibe os resultados referentes aos principais parâmetros nutricionais da forragem, fazendo uma comparação entre as análises efetuadas com o sensor Nutrisense®, que estava instalado na forrageira durante o processo de colheita, e os dados provenientes de uma colheita convencional, analisados em laboratório a partir de amostras enviadas pelo produtor. De maneira geral, os resultados demonstraram semelhanças entre os dois métodos, evidenciando a eficácia do Nutrisense® como um recurso de análise em tempo real. A maior parte dos parâmetros apresentou diferenças mínimas e toleráveis, dentro de um intervalo que pode ser atribuído à variação natural da amostra, às diferenças metodológicas e ao modo de coleta dos dados.

Parâmetros como proteína bruta, gordura, cinzas e fibra em detergente ácido (FDA) apresentaram pequenas variações entre os métodos utilizados. Por exemplo, o teor de proteína bruta foi de 7% com o Nutrisense® e 7,72% no método convencional, resultando em uma diferença de apenas 0,72%. O teor de gordura variou em apenas 0,34%, enquanto a diferença nas cinzas foi de 1,66%. Esses resultados corroboram com estudos anteriores que também identificaram alta confiabilidade nos sensores NIR para medir compostos como proteína e extrato etéreo em tempo real (ZOU et al., 2020; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2021).

Contudo, diferenças mais expressivas foram observadas em três parâmetros principais: amido, fibra em detergente neutro (FDN) e os teores de matéria seca e umidade. Em relação ao amido, o método convencional indicou 40,73%, enquanto o Nutrisense® apontou 21,88%, gerando uma diferença de 18,85 pontos percentuais. Essa variação pode estar associada à dificuldade da tecnologia NIR em estimar com exatidão o teor de amido, sobretudo em materiais com alta umidade ou baixa uniformidade. Estudos de Mertens (2012) e Fontaneli et al. (2019) destacam que partículas maiores ou mal trituradas podem interferir na leitura óptica do sensor, o que não ocorre no método laboratorial, onde a amostra é homogeneizada antes da análise.

No caso da FDN, a análise com o Nutrisense® mostrou 51,38%, contra 38,57% do método convencional — uma diferença de 12,81%. Isso pode indicar uma superestimação da fração fibrosa pela espectroscopia, provavelmente em razão da estrutura mais densa do material no momento da coleta, o que afeta a interação da luz infravermelha com a amostra (CARVALHO et al., 2021).

A discrepância mais marcante ocorreu nos parâmetros de matéria seca e umidade. O sensor registrou 33,8% de matéria seca e 66,17% de umidade, enquanto o método tradicional apontou 54,63% e 45,37%, respectivamente. A variação superior a 20 pontos percentuais se deve ao fato de que o Nutrisense® mede a umidade em tempo real, diretamente no campo, sendo influenciado pelas condições climáticas no momento da colheita, enquanto o método laboratorial envolve secagem em estufa, o que proporciona uma estimativa mais precisa (FERREIRA et al., 2022).

Apesar dessas diferenças, é importante destacar que o sensor Nutrisense® mostrou-se eficaz como ferramenta complementar de análise, permitindo ajustes imediatos no manejo nutricional da propriedade. A integração dos dados coletados à plataforma de gestão permitiu o monitoramento contínuo e contribuiu para a rastreabilidade das informações nutricionais da forragem, o que reforça seu valor no contexto da pecuária de precisão. Ainda que o uso dessa tecnologia demande calibrações frequentes para distintos tipos de forragem e condições

ambientais, ela representa uma inovação promissora para tornar os processos mais ágeis, econômicos e eficientes.

6 CONCLUSÃO

Com base na análise realizada ao longo deste trabalho, é possível concluir que os objetivos propostos foram plenamente atendidos, contribuindo para uma melhor compreensão da aplicação da agricultura de precisão na produção de forragens e, especificamente, da eficiência do sensor Nutrisense® como ferramenta de análise nutricional em tempo real. A comparação entre os dados obtidos por meio do sensor, durante a colheita de milho em Ponta Grossa – PR, e os resultados da análise bromatológica convencional demonstrou que, apesar de algumas variações em parâmetros como amido, fibra em detergente neutro (FDN) e umidade, os valores fornecidos pelo sensor mostraram boa aproximação com os dados laboratoriais, especialmente em indicadores como proteína bruta, gordura, cinzas e FDA. Isso confirma a eficácia do Nutrisense® na oferta de resultados confiáveis, com a vantagem adicional da agilidade e praticidade em campo.

Quanto a avaliação da eficiência da agricultura de precisão, os resultados mostram que a tecnologia pode representar um importante diferencial competitivo na produção de volumosos de qualidade, contribuindo diretamente para o aprimoramento da alimentação animal e, por consequência, para a produtividade dos rebanhos. Ao proporcionar dados instantâneos e facilitar ajustes rápidos no manejo nutricional, o sensor Nutrisense® permite maior controle e previsibilidade na produção, além de reduzir a dependência de análises laboratoriais demoradas e mais custosas.

Verificou-se que a agricultura de precisão, ao otimizar o uso de insumos e melhorar a eficiência produtiva, tem um impacto positivo direto na economia do país, com reflexos significativos no Produto Interno Bruto (PIB) do setor agropecuário. A tecnologia, ao elevar a qualidade e a quantidade da produção de forragens, fortalece a base alimentar dos rebanhos e contribui para uma pecuária mais sustentável e rentável.

A análise dos prós e contras do sensor Nutrisense® mostrou que, embora apresente limitações quanto à exatidão em determinados parâmetros, seu uso é amplamente vantajoso por conta da rapidez, portabilidade e integração com sistemas de gestão agrícola. Tais características fazem da tecnologia uma aliada importante para produtores que desejam melhorar a eficiência de suas operações.

Por fim, o estudo reforça a importância da produção de uma forragem de alto valor nutricional para garantir a saúde, o desempenho e a produtividade dos animais. Ao permitir a coleta precisa de dados nutricionais em tempo real, o sensor Nutrisense® se mostra como uma ferramenta estratégica para alcançar esses objetivos, contribuindo para uma agropecuária mais tecnológica, eficiente e sustentável.

7 REFERÊNCIAS

BASTOS, R. M. et al. Tecnologias NIR na nutrição animal: aplicações e limitações. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 51, 2022.

CAMPOS, J. R. et al. Fundamentos da espectroscopia NIR aplicada à nutrição animal. *Ciência Rural*, v. 50, n. 3, 2020.

COSTA, J. R. da et al. Qualidade da forragem na nutrição animal: revisão de literatura. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 11, n. 1, p. 45–54, 2021.

COSTA, M. A. et al. Qualidade nutricional da forragem e desempenho animal em sistemas intensivos. *Ciência Animal Brasileira*, v. 22, n. 4, p. 497-508, 2021.

FERREIRA, L. M. et al. Uso de sensores na avaliação nutricional de forragens. *Revista Agropecuária Técnica*, v. 42, 2021.

FONTANELI, R. S.; OLIVEIRA, D.; BORGES, L. et al. Impact of sample particle size on NIR prediction of starch content in corn silage. *Animal Feed Science and Technology*, v. 251, p. 25–33, 2019. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2019.01.005.

GONZÁLEZ-GARCÍA, E.; SÁNCHEZ, M.; PÉREZ, A. et al. Real-time monitoring of forage quality using NIR spectroscopy sensors. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 180, p. 105-114, 2021. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105114.

KOLLING, Caio Ericles; RAMPIM, Leandro. Agricultura de precisão e digital: perspectivas e desafios dos produtores rurais do estado do Paraná. *Uningá Review*, v. 36, eURJ3981, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.46311/2178-2571.36.eURJ3981. Acesso em: 14 maio 2025.

LOPES, F. A. et al. Benefícios da agricultura de precisão na produtividade agrícola. *Revista de Tecnologia e Inovação Agropecuária*, v. 4, n. 2, p. 90–99, 2022.

LOPES, J. R. et al. Vantagens e desafios da agricultura de precisão no Brasil. *Revista de Tecnologia Agrícola*, v. 15, n. 2, p. 45-56, 2022.

MARQUES, L. F. et al. Agricultura de Precisão: princípios, tecnologias e impacto na agricultura moderna. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, n. 3, p. 215-223, 2020.

MARQUES, M. A. S. et al. Histórico e avanços da Agricultura de Precisão no Brasil e no mundo. *Revista de Engenharia Agrícola*, v. 40, n. 3, p. 375–382, 2020.

MERTENS, D. R. Challenges in measuring forage quality. *Journal of Dairy Science*, v. 95, 2012.

MERTENS, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC International*, v. 95, n. 2, p. 620–626, 2012. DOI: 10.5740/jaoacint.11-193.

REHAGRO. Silagem de milho de qualidade: parâmetros e recomendações técnicas. Belo Horizonte: Rehagro, 2024.

REHAGRO. Gestão da alimentação e desempenho animal com uso de tecnologia NIR. 2024.

SANTOS, A. L.; BARROS, M. E. Desafios da Agricultura de Precisão para pequenos produtores no Brasil. *Cadernos de Extensão Rural*, v. 7, n. 1, p. 102–110, 2021.

SANTOS, P. L.; BARROS, D. F. Barreiras à adoção da agricultura de precisão por pequenos e médios produtores rurais. *Revista de Desenvolvimento Rural*, v. 17, n. 1, p. 112-130, 2021.

SILVA, D. C. et al. Parâmetros da qualidade da silagem e suas implicações na produção animal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 49, p. 1–10, 2020.

SILVA, E. P. da et al. O papel da Agricultura de Precisão na sustentabilidade do agronegócio brasileiro. *Revista Científica de Agricultura*, v. 21, n. 2, p. 99–107, 2019.

SILVA, R. A. et al. Aplicações da agricultura digital na gestão agrícola: eficiência e sustentabilidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 54, n. 10, p. 981-992, 2019.

SILVA, T. C. et al. Avaliação bromatológica da silagem de milho: parâmetros e recomendações técnicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 49, 2020.

TEIXEIRA, M. C. et al. Calibração de sensores NIR para avaliação de silagem de milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 26, n. 1, 2022.

ZOU, C.; LI, J.; WANG, X. et al. Evaluation of Near Infrared Reflectance Spectroscopy for Predicting Forage Nutritional Composition. *Journal of Animal Science*, v. 98, n. 7, p. 1–9, 2020. DOI: 10.1093/jas/skaa213.

AGROTECH. Sensor Nutrisense: tecnologia de análise nutricional em tempo real. 2023. Disponível em: https://www.agrotech.com.br/nutrisense. Acesso em: 10 abr. 2025.

AGROTECH. Monitoramento em tempo real com sensores NIR. São Paulo: Agrotech Solutions, 2023.

AGROTECH. Relatório técnico: análise de forragem com sensores NIR – Nutrisense® e suas aplicações. São Paulo: Agrotech, 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária – MAPA. Relatório de impacto econômico da Agricultura de Precisão no Brasil. Brasília: MAPA, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura. Acesso em: 10 abr. 2025.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA/ESALQ/USP). Boletim do agronegócio brasileiro – dados econômicos 2023. Piracicaba, 2023.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). Impacto da modernização tecnológica no agronegócio nacional. Brasília, 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Relatório anual sobre agricultura digital e agricultura de precisão no Brasil. Brasília: MAPA, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br. Acesso em: 10 abr. 2025.

REHAGRO – Centro de Excelência em Nutrição Animal. Manual técnico de análise bromatológica e manejo da silagem de milho. Porto Alegre: Rehagro, 2024.

FOSS ANALYTICAL A/S. Near Infrared Spectroscopy (NIR) for Forage Analysis: Principles and Applications. 2022. Disponível em: https://www.fossanalytics.com. Acesso em: 10 abr. 2025.

NEW HOLLAND. Plataforma Field OPS. Relatório gerado pelo sistema de monitoramento de colheita. 2025.

NEW HOLLAND. Site institucional da New Holland. Disponível em: https://agriculture.newholland.com. Acesso em: 2025.

SISAGRO. Monitoramento de pastagens via NDVI e imagens de satélite. Disponível em: https://www.sisagro.com.br. Acesso em: 10 abr. 2025.

SOLINFTEC. Tecnologias digitais para agricultura de precisão. Disponível em: https://www.solinftec.com. Acesso em: 10 abr. 2025.

UNITY SCIENTIFIC. Portable NIR Sensors for Forage and Feed Analysis. 2023. Disponível em: https://www.unityscientific.com. Acesso em: 10 abr. 2025.

MS.DC LAB. Laudo de análise bromatológica da silagem de milho. Produção de Reginaldo Garcia. 2025.

PRODUTOR REGINALDO GARCIA. Dados de colheita e amostras para análise bromatológica. Ponta Grossa, PR, 2025.