

RIZICULTURA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE O MANEJO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS UTILIZANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

RICE CROP: A REVIEW OF NITROGEN FERTILIZERS MANAGEMENT USING DIGITAL IMAGE PROCESSING

Rodrigo Nunes Maciel 1
Roderval Marcelino 2
Rogério Hermínio da Silva 3
Wilson Gruber 4

Resumo: Os fertilizantes nitrogenados desempenham um papel de extrema importância na rizicultura. Seu manejo incorreto causam problemas ambientais e reduzem a rentabilidade das lavouras. O Processamento Digital de Imagens produz soluções inovadoras na identificação dos níveis de nitrogênio e sugere o manejo dos fertilizantes. O objetivo deste artigo foi realizar uma revisão do estado da arte da literatura, visando destacar as principais contribuições do Processamento Digital de Imagens, para identificação dos níveis de nitrogênio na rizicultura. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática exploratória da literatura. Foram selecionados e apresentados sete artigos referentes aos últimos dez anos e caracterizados como o estado da arte. Como resultado, ficou evidente que a aplicação de Processamento Digital de Imagens na rizicultura poderá melhorar a acurácia dos métodos e proporcionar melhorias na produtividade, rentabilidade das safras e agilidade na identificação e solução de problemas.

Palavras-chave: Rizicultura. Processamento Digital de Imagens. Níveis de Nitrogênio. Fertilizante Nitrogenado.

Abstract: Nitrogen fertilizers play an extremely important role in the crop. Improper handling causes environmental problems and can affect crop yields. Digital Image Processing produces innovative solutions in identifying nitrogen levels and suggesting fertilizer management. The aim of this paper was to review the state of the art in literature, highlighting the main contributions of digital image processing, to identify nitrogen levels in rice crop. For this, an exploratory systematic review of the literature was performed. We selected and presented seven articles related to the last ten years and characterized as the state of the art. As a result, it has become apparent that the Digital Processing Image Application in rice crop can improve the accuracy of methods and applications that improve testing, crop yields, and agility in problem identification and resolution.

Keywords: Rice Crop. Digital Image Processing. Nitrogen Level. Nitrogen Fertilizer.

Mestrando em Tecnologias da Informação e Comunicação, pela 1
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3378435763858879>. E-mail: rodrigo.enc@outlook.com

Doutor e professor da Universidade de Santa Catarina. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0122916218414168>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2760-3373>. E-mail: roderval.marcelino@ufsc.br 2

Mestrando em Tecnologias da Informação e Comunicação, pela 3
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8848143720129694>. E-mail: rogerioherminio@outlook.com.br

Doutor e professor da Universidade Federal de Santa Catarina. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5501474017902654>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4092-8578>. E-mail: wilson.gruber@ufsc.br 4

Introdução

O arroz é considerado um dos mais importantes alimentos, provendo cerca de dois terços da caloria necessária para mais de três bilhões de pessoas na Ásia e mais de um terço da caloria consumida por mais de 1,5 bilhões de pessoas na América Latina e África. No Brasil, os estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina se destacam, com níveis de produção anuais acima de um milhão de toneladas (CONAB, 2019). O crescimento da população, os altos custos de produção e as demandas para melhorias dos rendimentos financeiros, têm encorajado os fazendeiros a aumentarem suas produções em áreas territoriais mais limitadas, visando produzir quantidades adequadas de alimentos para o mundo (CHATAIGNER, 1997). Por isso, a segurança alimentícia associa-se a condição de prover alimentação e nutrição suficientes para uma vida saudável, sendo esse um desafio para os países em desenvolvimento.

A prática da rizicultura em grandes escalas requer emprego de modernas tecnologias, além do correto suprimento de nutrientes para as plantas. Dentre os vários nutrientes, o nitrogênio (N) é um dos mais importantes para o cultivo do arroz. É considerado um dos maiores contribuintes para a geração de clorofila e outras proteínas, além de ser um fator limitante para se atingir grandes níveis de produtividade (FAGERIA; MOREIRA; COELHO, 2011; NASCENTE et al., 2011). A aplicação de fertilizantes nitrogenados visa aumentar o nível de N no solo, uma vez que sem esse tratamento, o solo não supre as necessidades das plantações (VEÇOZZI et al., 2017).

O suprimento incorreto de N provoca a geração de folhas menores, menor teor de clorofila, menor produção de biomassa e conseqüentemente, menor qualidade dos grãos (PRA-SERTSAK; FUKAI, 1997; ADHIKARI et al., 1999). No entanto, mais de 50% do N aplicado não são assimilados pelas plantas e são perdidos através de diferentes mecanismos, incluindo volatilização de amônia, escoamento superficial, entre outros (SAVANT; STANGEL, 1990; ROCHETTE et al., 2013). Porém, acima de certos limites, maiores taxas de fertilização a base N podem causar sérios problemas ambientais (GRUBER; GALLOWAY, 2008; LIU et al., 2016). O óxido nitroso (N₂O) é um dos principais gases liberados pelo solo como consequência das aplicações de N, com forte potencial de contribuição para o aquecimento global, em torno de 298 vezes maior que o dióxido de carbono (CO₂) (BALAFOUTIS et al., 2017; STAVRAKLOUDIS et al., 2019).

A aplicação excessiva de fertilizantes nitrogenados é uma questão alarmante que vem indicando baixa eficiência no uso do N (CONANT; BERDANIER; GRACE, 2013; HUANG et al., 2017). Por isso, o monitoramento dos níveis de N é um pré-requisito essencial para determinar a taxa ideal de aplicação de fertilizantes nitrogenados, pois sua correta gestão pode trazer benefícios econômicos e ambientais (ZHENG et al., 2018). Os métodos mais tradicionais para monitorar os níveis de N costumam ser através de amostragens destrutivas com base em análises químicas das folhas e do solo, o que os tornam tediosos e demorados (ZHENG et al., 2018).

Em favor da Rizicultura, as Novas Tecnologias da Informação e Comunicação (NTIC) baseadas em Processamento Digital de Imagens (PDI), vêm oferecendo ferramentas que auxiliam na identificação dos níveis de N (CEN et al., 2019), proporcionando formas de auxiliar os agricultores no manejo de fertilizantes nitrogenados. Alguns estudos estão demonstrando a utilização de imagens digitais, uma forma não destrutiva de avaliação onde as características extraídas através de PDI, fornecem parâmetros que auxiliam no diagnóstico do N (LEE; LEE, 2013; WANG et al., 2013). As imagens digitais podem fornecer informações espectrais nas bandas visíveis que estão relacionadas às leituras de concentração de N das folhas (RORIE et al., 2011). Câmeras digitais são portáteis e fáceis de operar. Permitem que o PDI forneça um contexto mais prático em termos de aplicações na agricultura (RORIE et al., 2011).

Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão do estado da arte da literatura, visando destacar as principais contribuições do PDI para identificação dos níveis de N na rizicultura e no manejo de fertilizantes nitrogenados. Ao atingir esse objetivo, espera-se contribuir, em especial para o campo das Ciências Agrônômicas e rizicultura, demonstrando as oportunidades inovadoras que o PDI poderá oferecer como auxílio e aprimoramento das técnicas usuais de identificação dos níveis de N para o correto manejo e gestão dos fertilizantes nitrogenados, aplicados nas safras de arroz.

Processamento Digital de Imagens - PDI

Nesta seção, serão brevemente descritos alguns dos principais conceitos relacionados ao PDI. Todas as informações terão como referência a obra de (GONZALEZ; WOODS, 2001).

As imagens digitais são obtidas através de sensores, geralmente instalados em câmeras fotográficas, smartphones, entre outros equipamentos. Os sensores conseguem obter informações do espectro eletromagnético da luz visível ou outras faixas invisíveis para nós. Os sensores mais comuns são:

- **RGB** (Red, Green, Blue): capturam o espectro de luz visível contendo componentes de cor vermelha, verde e azul;
- **Multiespectrais**: geralmente capazes de captarem três ou quatro faixas do espectro além do visível;
- **Hiperspectrais**: esses são capazes de capturar quase todo o espectro eletromagnético da luz.

As imagens digitais são compostas por um número finito de elementos, sendo que cada qual tem uma localização e um valor em particular. Esses elementos são comumente conhecidos como pixels e são usados para denotar os menores elementos de uma imagem digital. Cada pixel é composto por um conjunto que varia de tamanho, dependendo da aplicação, de pontos coloridos. Esses pontos podem conter cores visíveis para nós ou informações de outros espectros que não percebemos.

As técnicas que englobam o PDI estão relacionadas ao processamento das imagens através de sistemas computacionais. Tem por objetivo melhorar as informações contidas nas imagens para análise e interpretação por nós ou por outras máquinas. Filtragens, geração de histogramas de distribuição de cores, correção de bordas, classificações de padrões e geração de índices de cores são algumas das ferramentas mais comuns em PDI.

O PDI traz benefícios a inúmeras áreas. Equipamentos utilizados na medicina (ultrassom, raio X, tomógrafo, etc.), Engenharias (visão computacional, simulação, inteligência artificial, etc.), ciências agrônômicas (monitoramento de florestas, identificação de pragas, classificação de plantas invasoras, etc.), entre outras, são alguns dos benefícios proporcionados pelo emprego de PDI.

As técnicas mais comuns empregadas em PDI que visam resultados úteis em diversas aplicações são:

- **Processamento de Histograma**: permite verificar as distribuições de cores e brilhos existentes em cada pixel que contem a imagem. Consiste em varrer cada pixel para medir sua intensidade de cor e distribuí-las de forma gráfica para sua interpretação;
- **Realce de Imagens**: tem como objetivo processar uma imagem de modo que o resultado seja mais adequado para uma aplicação específica. Consiste em aumentar o contraste de algumas partes de interesse na imagem;
- **Filtragem de Imagens**: é uma operação realizada diretamente sobre cada pixel da imagem. Essa operação geralmente manipula os valores dos pixels a fim de modificar a imagem original;
- **Estatísticas**: geração de índices estatísticos relacionados as características particulares tais como intensidade de luz presente na imagem. Podem ser gerados máximos, mínimos, médias, correlação, entre outros;
- **Segmentação de Imagens**: serve para dividir a imagem em regiões conexas e homogêneas e após reagrupar em regiões os elementos que possuem similaridades;
- **Representação e Descrição de Imagens**: após o processo de segmentação, as regiões são representadas através de suas características externas ou internas para posterior processamento. Desta forma, a imagem pode ser representada conforme suas características tais como o comprimento de seu contorno, por exemplo.

Com base nesses conceitos e ferramentas básicas, o PDI consegue ainda se combinar com diversos algoritmos de classificação, baseados ou não em Inteligência Artificial (IA) e empregando técnicas de aprendizagem de máquinas. Assim, consegue-se gerar aplicações com grandes contribuições as diversas áreas da ciência tais como veículos autônomos, medidores de níveis de clorofila das plantas, etc.

Metodologia

Este estudo originou-se da necessidade de se compreender como o PDI poderá contribuir na gestão do manejo de fertilizantes nitrogenados aplicados à rizicultura, visando identificar seus benefícios econômicos e ambientais.

Para a realização deste estudo, primeiramente foi definido o construtor (“*Multispectralimagery*” AND rice AND “*Nitrogenfertilizer*”) como estratégia de busca sistemática. Através deste primeiro construtor, no dia 14 de setembro de 2019 foi efetuada uma consulta nas bases de dados *Science Direct*, *IEEE Xplore* e *Scopus*. Como resultado, a consulta retornou 02 artigos na *Science Direct* e nenhum resultado nas demais bases. Devido ao resultado não ter sido satisfatório e com base nos resultados adquiridos na busca anterior, o construtor foi alterado para (“*UnmannedAerialVehicle*”) AND Nitrogen AND rice AND “*digital camera*” AND Yield).

Efetuando-se uma nova busca, no mesmo dia obteve-se 22 artigos na *Science Direct* e nenhum resultado nas demais bases. Novamente com base nas buscas anteriores, o construtor foi readequado para ((“*UnmannedAerialVehicle*” OR UAV OR “*dronecollected*”) AND Nitrogen AND rice AND (“*digital camera*” OR “*digital image*” OR “*Multispectralimagery*”) AND Yield), sendo que as bases *Science Direct* retornou 38 artigos, a *Scopus* retornou 04 artigos e a *IEEE Xplore* retornou 01 artigo, respectivamente. Com base nos resultados da última busca e leitura nos resumos, ficou definido que essa última busca seria utilizada na pesquisa. A tabela 1 ilustra os construtores e resultados obtidos através das pesquisas efetuadas nas bases de dados *Scopus*, *IEEE* e *Science Direct*.

Tabela 1. Resultado da Pesquisa nas bases de dados

Construtores	Science Direct	Scopus	IEEE	Directoryof Open Access Journals; AcademicOne File; Food Science Source; Complementary Index
(“ <i>Multispectral imagery</i> ” AND rice AND “ <i>Nitrogen fertilizer</i> ”)	2	0	0	
(“ <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> ”) AND Nitrogen AND rice AND “ <i>digital camera</i> ” AND Yield)	22	0	0	
((“ <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> ” OR UAV OR “ <i>drone collected</i> ”) AND Nitrogen AND rice AND (“ <i>digital camera</i> ” OR “ <i>digital image</i> ” OR “ <i>Multispectral imagery</i> ”) AND Yield)	38	4	1	
Busca Exploratória				4

Fonte: Dos Autores

Somando-se os artigos encontrados em todas as bases de dados utilizando o construtor ((“*UnmannedAerialVehicle*” OR UAV OR “*dronecollected*”) AND Nitrogen AND rice AND (“*digital camera*” OR “*digital image*” OR “*Multispectralimagery*”) AND Yield), foram encontrados um total de 43 publicações. Posteriormente, realizou-se uma validação e foi identificado que um destes artigos estava repetido. Com a eliminação do documento repetido a pesquisa resultou em um total de 42 artigos.

Resultados e Discussões

Após uma revisão nos 42 artigos, apenas três deles foram selecionados. Os artigos selecionados pela busca sistemática tiveram como critérios de inclusão a abordagem de temas relacionados ao PDI aplicado a rizicultura, identificação de níveis de N e manejo de fertilizantes nitrogenados. Os demais artigos foram excluídos por tratarem, em sua maioria, dos mesmos

assuntos, porém relacionados ao milho, cevada e trigo, estando estes fora do escopo deste trabalho. Os parágrafos seguintes descreverão os três artigos selecionados das respectivas bases de dados IEEE, Science Direct e Scopus.

No artigo publicado por Yuan et al. (2016), foi realizado um experimento de campo visando explorar a viabilidade de técnicas de PDI como método não destrutivo no diagnóstico dos níveis de N sob uma plantação de arroz. Este estudo investigou a relação entre os níveis de N com a coloração verde das folhas da planta do arroz. Para isso, foram utilizados como dados imagens coletadas através de uma câmera digital normal (espectros visíveis de cor) e níveis de clorofila das folhas, medidos através de um dispositivo medidor de clorofila. Através do emprego de PDI, foram extraídas as características das imagens e utilizaram técnicas de regressão linear para gerar correlações com as medições de clorofila. Segundo os autores, os resultados mostraram boa linearidade e correlação positiva entre os dois tipos de dados. Concluíram que os resultados experimentais indicaram que as combinações de PDI com os níveis de clorofila são viáveis no diagnóstico da nutrição nitrogenada do arroz para posterior aplicação de fertilizantes. O método proposto é rápido, não destrutivo e fácil de aplicar, além de contribuir na redução dos custos de produção e emissão de poluentes.

Na publicação de Saberioon et al. (2014), seu principal objetivo foi desenvolver e testar um novo índice para determinar os níveis de N e clorofila na folha do arroz utilizando PDI aplicado em imagens das bandas visíveis do espectro de luz. Outro objetivo foi utilizar sensoriamento remoto de baixa altitude através de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), responsável pela coleta das imagens sobre a plantação de arroz. Às imagens coletadas, foi aplicado PDI para geração de 12 índices de cores e correlacionados com as leituras de um medidor de clorofila para estimativa dos níveis de N. Os valores médios de clorofila foram comparados com todos os tratamentos à base de N (aplicação de fertilizantes) durante a safra. Os resultados mostraram uma tendência crescente e linear nos valores das medições de clorofila em todas as fases de crescimento das plantas, indicando uma correlação positiva entre níveis de N e clorofila. Ao final, os autores concluíram que câmeras digitais convencionais podem ser empregadas para determinação rápida, precisa e de forma não destrutiva na determinação dos níveis de N, gerando melhorias no manejo dos fertilizantes nitrogenados nas plantações de arroz.

No artigo de Zhu et al. (2009), seu objetivo foi avaliar a viabilidade do emprego de imagens digitais coletadas através de um VANT para quantificar, através do emprego de técnicas de PDI, o efeito de diferentes taxas de fertilizantes nitrogenados nas plantações de arroz. Segundo os autores, essa capacidade permitiria otimizar o manejo dos fertilizantes, reduzir os custos de produção e minimizar a degradação ambiental. Inicialmente, realizaram análises químicas da planta do arroz para identificar seus níveis de N. Após, aplicaram PDI às imagens coletadas pelo VANT para extração das características espectrais da planta. Desta forma, foi possível aplicar técnicas de regressão linear para correlacionar os dados obtidos das imagens com os resultados das análises químicas. Segundo os autores, esse estudo foi relevante dado seu esforço de tentar quantificar os efeitos de diferentes taxas de aplicação de fertilizantes nitrogenados nas plantações de arroz. Concluem que os resultados deste trabalho sugerem que o processo de coleta de imagens através de VANTs, tem o potencial de fornecer informações para apoiar as tomadas de decisões sobre as safras. Esse tipo de abordagem minimiza os esforços de amostragem em campo, economizando tempo e dinheiro e permitindo uma avaliação precisa das diferentes taxas de aplicação de fertilizantes.

Para complementar esta pesquisa, uma busca exploratória foi realizada adicionando-se outros quatro artigos. Os quatro parágrafos seguintes apresentarão cada um dos artigos selecionados, correspondentes as quatro bases como segue: a) Directoryof Open Access Journals; b) AcademicOne File; c) Food Science Source; d) Complementary Index.

O artigo publicado por Stavrakoudis et al. (2019), teve como objetivo apresentar modelos empíricos para predição das características agrônômicas das plantas do arroz através de imagens Multiespectrais, obtidas via sensoriamento remoto. Através de regressões lineares múltiplas, foram construídos modelos para predição da altura da planta, biomassa, concentração e absorção de N, rendimento dos grãos e índice de colheita. Como entrada de dados para geração dos modelos, foram utilizados valores de refletância e índices de vegetação obtidos

pela aplicação de PDI nas imagens coletadas por uma câmera Multiespectral, embarcada em um VANT. As imagens foram coletadas em campo durante duas safras consecutivas. Os modelos obtidos conseguiram acurácia maior ou igual a 80% em suas predições sendo que, segundo os autores, esses modelos podem ser úteis na recomendação das aplicações de fertilizantes nitrogenados, reduzindo o custo e melhorando a eficiência das safras.

Na publicação de Zheng et al. (2018), seu objetivo foi explorar o potencial de imagens Multiespectrais obtidas através de VANTs, para estimar o nível de concentração de nitrogênio na planta (PNC, do inglês PlantNitrogenConcentration) e melhorar a acurácia destas estimativas com o auxílio de dados coletados em campo por um Radiômetro Hiperespectral. Os autores combinaram índices de vegetação e informação da textura para estimar o PNC na planta do arroz. Essas informações foram obtidas através de PDI aplicados as imagens coletadas pelo VANT e pelos dados fornecidos em solo pelo Radiômetro. Os experimentos foram conduzidos ao longo de dois anos consecutivos, envolvendo diferentes taxas de N, densidades de plantio e cultivares de arroz. Os resultados demonstraram que os índices de vegetação obtidos através das imagens aéreas não foram satisfatórios para estimativa do PNC em todas as fases de crescimento da plantação. Em contrapartida, os índices obtidos a partir das medições em solo, se mantiveram consistentes em todas as fases do plantio. No entanto, os autores concluem que a integração das informações obtidas pelos dois métodos de sensoriamento, poderiam se tornar uma técnica promissora no monitoramento do PNC das safras de arroz.

Na pesquisa realizada por Sun et al. (2018), seus objetivos foram: i) analisar a dinâmica temporal da morfologia e das cores das folhas do arroz, quando submetidas a deficiência de N, Fósforo (P) e Potássio (K); ii) encontrar os índices dinâmicos efetivos e o melhor posicionamento das folhas para a coleta das imagens; iii) Identificar as deficiências de N, P e K usando os índices dinâmicos. A captura das imagens foi realizada através de um Scanner de mesa, para verificar de forma dinâmica, durante os estágios de crescimento das plantas, as mudanças na regulação das características das folhas sob estresse nutricional. As características das folhas foram extraídas aplicando-se PDI nas imagens, sendo que as dinâmicas das folhas foram quantificadas através do cálculo da taxa de crescimento relativo. Os resultados indicaram que as folhas com deficiência de N apresentaram a menor taxa de extensão e a taxa de murcha mais rápida, seguida pelas deficiências de P e K. Os autores concluíram que a análise dinâmica expandiu a aplicação da identificação das características foliares, o que contribui para melhorar o efeito dos diagnósticos.

Por fim, no artigo publicado por Sun et al. (2017), seu objetivo foi aplicar PDI combinado com Inteligência Artificial (IA) visando investigar seis algoritmos distintos de aprendizagem de máquina, na tentativa de identificar a concentração de nitrogênio na folha (LNC, do inglês LeafNitrogenConcentration) do arroz. Os autores também visavam fornecer um guia para escolher um algoritmo de regressão ou classificação comparativamente “universal” para aplicações semelhantes. As imagens foram coletadas em diferentes anos e localidades, utilizando sensores Multiespectrais e Hiperespectrais. Na estimativa do LNC, alguns índices tais como R^2 , erro médio quadrático e erro relativo foram comparados entre os diferentes algoritmos. Os autores concluíram que a aplicação de uma das técnicas de IA chamada Redes Neurais, obteve o desempenho mais satisfatório a partir dos dados coletados por todos os tipos de sensores.

Considerações Finais

Neste artigo, foram apresentados alguns trabalhos que utilizaram PDI aplicado na rizicultura. Foi realizada uma revisão sistemática da literatura e uma breve descrição de sete artigos escolhidos como o estado da arte. Nestas publicações, os autores aplicaram sensoriamento remoto através de câmeras digitais equipadas com sensores Multi, Hiperespectrais e nas bandas de luz visível. Seus objetivos foram utilizar PDI para proporem novos métodos de identificação de níveis de N e recomendações de fertilizantes nitrogenados.

Ficaram evidentes as contribuições de cada pesquisa. A utilização de PDI na rizicultura melhora a acurácia dos métodos tradicionais de identificação e manejo de N. Também proporcionam melhorias na produtividade e rentabilidade das safras. Observou-se ainda, que o emprego de VANTs nas lavouras, diminui o tempo de monitoramento das safras e acelera a

tomada de decisões sobre os possíveis problemas encontrados.

Em contrapartida, os sensores Multi e Hiperespectrais são produtos de alto custo. Para pequenos agricultores, por exemplo, sua aquisição torna-se inviável. Porém, dada às vantagens apresentadas nas pesquisas anteriormente citadas, fica evidente a necessidade de novas pesquisas com objetivos semelhantes, mas visando o emprego de sensores alternativos e de menor custo. Desta forma, o PDI aplicado a rizicultura poderá trazer ainda mais contribuições, tanto para a Engenharia Agrônômica quanto para os produtores de arroz.

Referências

ADHIKARI, C. et al. **On-farm soil N supply and N nutrition in the rice–wheat system of Nepal and Bangladesh.** *Field Crops Research*, v. 64, n. 3, p. 273–286, dec 1999. ISSN 03784290. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429099000635>.

BALAFOUTIS, A. et al. **Precision Agriculture Technologies Positively Contributing to GHG Emissions Mitigation, Farm Productivity and Economics.** *Sustainability*, v. 9, n. 8, p. 1339, jul 2017. ISSN 2071-1050. <http://www.mdpi.com/2071-1050/9/8/1339>.

CANCELLIER, E.I. et al. **Eficiência agrônômica no uso de nitrogênio mineral por cultivares de arroz de terras altas.** *Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, [s.l.], v. 6, n. 4, p.650-656, 31 dez. 2011. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v6i4a1420>.

CEN, Haiyan et al. **Dynamic monitoring of biomass of rice under different nitrogen treatments using a lightweight UAV with dual image-frame snapshot cameras.** *Plant Methods*, [s.l.], v. 15, n. 1, p.1-16, 27 mar. 2019. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1186/s13007-019-0418-8>.

CHATAIGNER, J. **Activités de recherche sur le riz en climat méditerranéen.** *Cahiers Options Méditerranéennes*, v. 24, n. 2, 1997.

CONAB. **Acompanhamento da safra Brasileira: Graãos, safra 2018/2019, oitavo levantamento.** 2019. 1–60 p. CONANT, R. T.; BERDANIER, A. B.; GRACE, P. R. Patterns and trends in nitrogen use and nitrogen recovery efficiency in world agriculture. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 27, n. 2, p. 558–566, jun 2013. ISSN 08866236. <http://doi.wiley.com/10.1002/gbc.20053>.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A.; COELHO, A. M..YIELD AND YIELD COMPONENTS OF UPLAND RICE AS INFLUENCED BY NITROGEN SOURCES. **Journal Of Plant Nutrition**, [s.l.], v. 34, n. 3, p.361-370, 20 jan. 2011. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2011.536878>.

GONZALEZ, R. C., R. E. WOODS. **Digital Image Processing.** Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001. 954p.

GRUBER, N.; GALLOWAY, J. N. **An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle.** *Nature*, v. 451, n. 7176, p. 293–296, jan 2008. ISSN 0028-0836. <http://www.nature.com/articles/nature06592>.

HUANG, J. et al. **Nitrogen and phosphorus losses and eutrophication potential associated with fertilizer application to cropland in China.** *Journal of Cleaner Production*, v. 159, p. 171–179, aug 2017. ISSN 09596526. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652617309265>.

LEE, Jae-Neung; KWAK, Keun-Chang. **A trends analysis of image processing in unmanned aerial vehicle.** *International Journal of Computer, Information Science and Engineering*, v. 8, n. 2, p. 2–5, 2014.

LEE, K.-J.; LEE, B.-W. **Estimation of rice growth and nitrogen nutrition status using color di-**

gital camera image analysis. European Journal of Agronomy, v. 48, p. 57–65, jul 2013. ISSN 11610301. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1161030113000294>.

LI, Y. et al. **Estimating the nitrogen status of crops using a digital camera.** Field Crops Research, v. 118, n. 3, p. 221–227, sep 2010. ISSN 03784290. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429010001358>.

LIU, X. et al. **Effect of N Fertilization Pattern on Rice Yield, N Use Efficiency and Fertilizer–N Fate in the Yangtze River Basin, China.** PLOS ONE, v. 11, n. 11, p. e0166002, nov 2016. ISSN 1932-6203. <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0166002>.

NASCENTE, A. S. et al. **PRODUTIVIDADE DO ARROZ DE TERRAS ALTAS EM FUNÇÃO DO MANEJO DO SOLO E DA ÉPOCA DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 41, n. 1, jan 2011. ISSN 1983-4063. <http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/6509>.

PRASERTSAK, A.; FUKAI, S. **Nitrogen availability and water stress interaction on rice growth and yield.** Field Crops Research, v. 52, n. 3, p. 249–260, jun 1997. ISSN 03784290. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429097000166>.

ROCHETTE, P. et al. **Ammonia Volatilization and Nitrogen Retention: How Deep to Incorporate Urea?** Journal of Environment Quality, v. 42, n. 6, p. 1635, 2013. ISSN 0047-2425. <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/abstracts/42/6/1635>.

RORIE, R. L. et al. **Association of “Greenness” in Corn with Yield and Leaf Nitrogen Concentration.** Agronomy Journal, v. 103, n. 2, p. 529, 2011. ISSN 1435-0645. <https://www.agronomy.org/publications/aj/abstracts/103/2/529>.

SABERIOON, M.m. et al. **Assessment of rice leaf chlorophyll content using visible bands at different growth stages at both the leaf and canopy scale.** International Journal Of Applied Earth Observation AndGeoinformation, [s.l.], v. 32, p.35-45, out. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2014.03.018>.

SAVANT, N. K.; STANGEL, P. J. **Deep placement of urea supergranules in transplanted rice: Principles and practices.** Fertilizer Research, v. 25, n. 1, p. 1–83, oct 1990. ISSN 0167-1731. <http://link.springer.com/10.1007/BF01063765>.

SUN, Jia et al. **Estimating Rice Leaf Nitrogen Concentration: Influence of Regression Algorithms Based on Passive and Active Leaf Reflectance.** Remote Sensing, [s.l.], v. 9, n. 9, p.951-965, 13 set. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs9090951>.

SUN, Yuanyuan et al. **Identification of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Deficiencies Based on Temporal Dynamics of Leaf Morphology and Color.** Sustainability, [s.l.], v. 10, n. 3, p.762-775, 10 mar. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su10030762>.

STAVRAKLOUDIS, D. et al. **Estimating Rice Agronomic Traits Using Drone-Collected Multispectral Imagery.** Remote Sensing, v. 11, n. 5, p. 545, mar 2019. ISSN 2072-4292. <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/5/545>.

VEÇOZZI, T. A. et al. **Soil solution and plant nitrogen on irrigated rice under controlled release nitrogen fertilizers.**Ciência Rural, v. 48, n. 1, dec 2017. ISSN 1678-4596. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782018000100251&lng=en&tlng=en.

WANG, Y. et al. **Estimating nitrogen status of rice using the image segmentation of G-R**

thresholding method. *Field Crops Research*, v. 149, p. 33–39, aug 2013. ISSN 03784290. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037842901300124X>.

WUTHI-ARPORN, **Jirawut.** **Increasing Rice Production: Solution to the Global Food Crisis.** [S.d.].

YUAN, Yuan et al. **Diagnosis of nitrogen nutrition of rice based on image processing of visible light.** 2016 IEEE International Conference On Functional-structural Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization And Applications (fspma), [s.l.], v. 1, n. 1, p.228-232, nov. 2016. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/fspma.2016.7818311>.

ZHENG, H. et al. **Combining Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-Based Multispectral Imagery and Ground-Based Hyperspectral Data for Plant Nitrogen Concentration Estimation in Rice.** *Frontiers in Plant Science*, v. 9, n. 1, p. 1–9, jul 2018. ISSN 1664-462X. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2018.00936/full>.

ZHU, Jinxia et al. **Quantifying Nitrogen Status of Rice Using Low Altitude UAV-Mounted System and Object-Oriented Segmentation Methodology.** Volume 3: ASME/IEEE 2009 International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications; 20th Reliability, Stress Analysis, and Failure Prevention Conference, [s.l.], v. 1, p.603-609, 2009. ASME. <http://dx.doi.org/10.1115/detc2009-87107>.

Recebido em 10 de dezembro de 2019.
Aceito em 30 de março de 2020.