

Agricultura de Precisão para Pequenos e Médios Agricultores

Vitor Melchioretto¹, Pedro H. S. de Souza¹, Mauricio A. Pillon¹

¹ Departamento de Ciência da Computação (DCC)
Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PPGCAP)
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

{vitor.melchioretto, phsd.souza}@edu.udesc.br
mauricio.pillon@udesc.br

Resumo. A agricultura de precisão tem revolucionado a produção agrícola ao permitir maior eficiência no uso de insumos e redução de impactos ambientais. No entanto, pequenos e médios produtores enfrentam desafios na adoção dessas tecnologias devido aos altos custos e à complexidade de implementação. Este estudo apresenta o protótipo de borda do AgrArroz para o monitoramento do cultivo de arroz. Um experimento foi realizado com foco na gestão do nitrogênio, avaliando a eficácia do sistema na redução do desperdício de fertilizantes e no aumento da eficiência produtiva.

1. Introdução

A agricultura de precisão, impulsionada por avanços como Internet das Coisas (IoT) e computação em nuvem, tem transformado a produção agrícola ao possibilitar um monitoramento detalhado do solo e do clima. No entanto, pequenos e médios produtores ainda enfrentam dificuldades na adoção dessas tecnologias devido a custos elevados e complexidade de implementação [Akhter and Sofi 2021, Cisternas et al. 2020].

No cultivo de arroz, o monitoramento contínuo das condições ambientais e do solo é essencial para garantir produtividade e sustentabilidade. Entre os fatores críticos, a gestão eficiente do nitrogênio tem grande impacto, pois sua aplicação inadequada pode resultar em desperdício e impactos ambientais, como lixiviação e contaminação da água [Belal et al. 2021, Wang et al. 2022]. A lixiviação do nitrogênio ocorre quando o excesso de fertilizante aplicado é dissolvido pela água da irrigação ou das chuvas, sendo transportado para camadas mais profundas do solo. Esse processo pode resultar na contaminação de corpos d'água e na redução da disponibilidade do nutriente para as plantas [Resende 2002].

Este estudo apresenta o *AgrArroz*, um sistema baseado no conceito *Edge-Cloud Continuum* [Milojicic 2020], que integra computação em borda e nuvem para monitorar o cultivo de arroz de forma abrangente. O sistema permite a coleta e análise de dados em tempo real, fornecendo recomendações aos agricultores para otimizar o manejo da lavoura. Os resultados preliminares apresentam a distribuição dos níveis de nitrogênio em uma quadra de arroz e analisa o impacto da aplicação de fertilizantes.

2. AgrArroz

O *AgrArroz* é um sistema integrado projetado para o monitoramento eficiente do cultivo de arroz, combinando sensoriamento IoT e processamento/armazenamento contínuo entre borda e nuvem. Seu objetivo é fornecer suporte à tomada de decisão

agrícola por meio da coleta, processamento e análise de dados ambientais e do solo, otimizando práticas como irrigação, fertilização e previsão de colheita.

Sensores IoT medem umidade, temperatura e níveis de nutrientes, os quais são transmitidos para dispositivos de borda. Estes dispositivos são responsáveis pelo pré-processamento dos dados e geração de alertas críticos, i.e., transbordo ou rompimento de taipas. Uma vez pré-processadas, as informações são organizadas e transmitidas para a nuvem, que mantém o armazenamento histórico e persistente. O ecossistema agrícola é complexo e sofre impactos de ações de microrregiões constituídas de um conjunto de produtores. O manejo do produtor A pode gerar impacto na produção do produtor B. Neste ponto, o *AgrArroz* apoia-se em técnicas de predição para elaborar recomendações a partir de dados coletivos de uma ou mais microrregiões. Estes modelos, maiores consumidores de recursos, são processados na nuvem, porém não fazem parte do escopo deste artigo.

3. Análise Experimental

Para validar a eficácia do *AgrArroz*, foi conduzido um experimento em condições reais de cultivo, avaliando sua capacidade de monitoramento e análise de dados para otimizar a gestão de fertilizantes. O experimento focou na distribuição de nitrogênio no solo e sua relação com a eficiência do uso de fertilizantes, além da análise da lixiviação, um dos principais desafios do manejo desse nutriente.

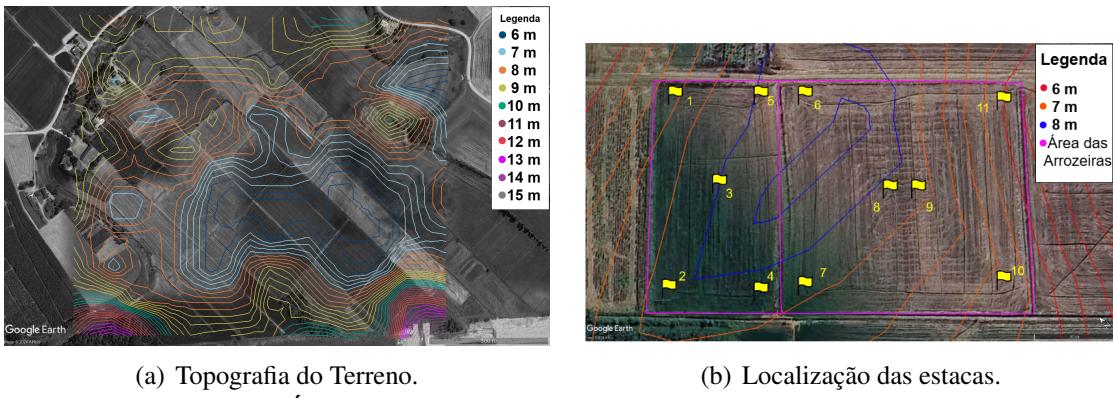


Figura 1. Áreas de cultivo do Arroz analisadas. Fonte: autores.

Os testes foram conduzidos em duas áreas de cultivo de arroz situadas em Araquari, Santa Catarina. A seleção dessas áreas foi baseada na análise da topografia e das condições de manejo hídrico empregadas pelo produtor. O mapa topográfico do terreno (Figura 1(a)), gerado com o auxílio da ferramenta *Google Earth*, destaca as variações altimétricas e do fluxo de irrigação. Finalmente, na Figura 1(b) são identificadas as duas áreas de estudo, retângulos em rosa, e as 11 estacas de coleta do protótipo, representadas pelas bandeiras numeradas amarelas.

3.1. Protótipo de Borda do *AgrArroz*

A coleta de dados foi realizada com o auxílio do protótipo de borda do *AgrArroz*. O equipamento portátil é composto por um sensor *NPK*, um conversor RS485, um *Arduino Uno*, um *Raspberry Pi 4* e um powerbank. O IoT de sensoriamento dos dados, responsável pela coleta, engloba o sensor, o conversor e o *Arduino Uno*. O *Raspberry Pi 4*, equipado de um cartão SD de 64GB e sistema operacional Linux Ubuntu versão 24.04.1 LTS, representa o dispositivo de borda. Finalmente, o powerbank serve como

fonte de energia para o protótipo. O esquema de montagem do protótipo bem como uma foto do dispositivo estão na Figura 2.



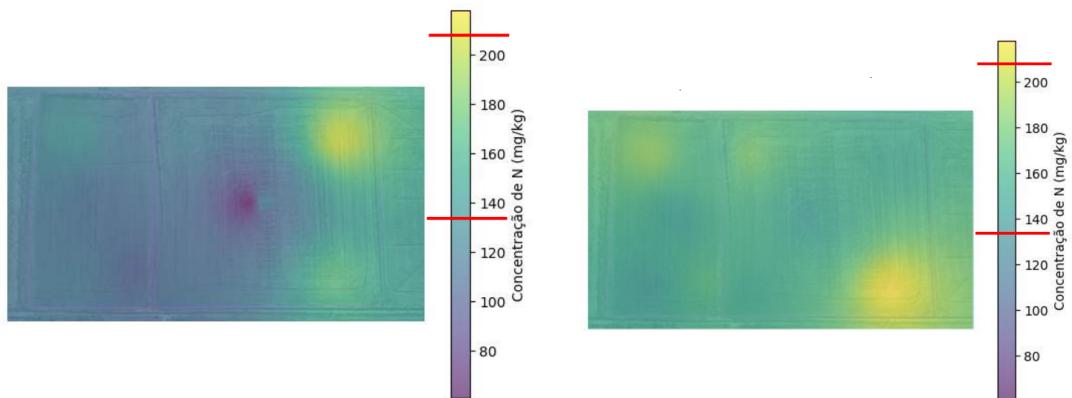
(a) Esquema de Montagem.

(b) Foto do dispositivo.

Figura 2. Protótipo de Borda do AgrArroz. Fonte: autores.

3.2. Análise dos Resultados

O experimento se fundamenta na medição periódica (2 a 3 vezes por semana) durante a primeira fase de cultivo do arroz, o que ocorreu entre os meses de agosto a novembro de 2024. As medições *in loco* são resultados de 3 a 5 coletas em cada uma das estacas (bandeiras amarelas - Figura 1(b)). O ponto de instalação das estacas foi definido em função da variação altimétrica do terreno e do escoamento superficial. Por se tratar de um ambiente aberto e hostil, algumas coletas foram canceladas em função de chuvas fortes ou impossibilidade de acesso físico a lavoura. Os dados coletados foram processados estatisticamente e utilizados como entrada de um modelo de interpolação espacial - IDW (*Inverse Distance Weighting*).



(a) Antes da aplicação de fertilizante.

(b) Após aplicação de fertilizante.

Figura 3. Representação da área de cultivo observada. Fonte: autores.

A interpolação foi aplicada sobre uma imagem da área de estudo obtida por meio do *Google Earth*, permitindo a visualização da distribuição do nutriente no solo. Os mapas de calor oriundos desta análise estão na Figura 3. Na Figura 3(a), observa-se tons mais quentes que tendem para o lilás, que representam baixa concentração de nitrogênio (inferiores a 140mg/kg) na maior parte da área. A exceção são duas elipses, uma verde, menos evidente, e outra amarela, ambas mais a direita. As cores verde e amarela correspondem a

níveis de nitrogênio dentro do espectro recomendado. Os resultados são coerentes, visto que as elipses verde e amarela correspondem a parte da área de menor altimetria, se observada a Figura 1(b) (bandeiras 10 e 11). A menor incidência de nitrogênio (abaixo de 80mg/kg) corresponde ao ponto mais alto da área, observado pelas estacas 8 e 9.

O nível de nitrogênio melhora com a aplicação de fertilizante (Figura 3(b)), como era esperado, porém a distribuição não-uniforme se mantém. Neste momento do plantio, a lâmina de água na lavoura era maior, facilitando a atuação do fenômeno de lixiviação. Ainda vale lembrar que a entrada d'água de irrigação, controlada por motores, está no canto superior esquerdo. Após a fertilização, o esperado era que toda a área estivesse igualmente fertilizada, o que não ocorreu. Pode-se observar uma elipse amarela na parte com menor altimetria, canto inferior esquerdo, e uma parte mais lilás no canto inferior direito. A alta concentração de nitrogênio, na parte com menor altimetria, era esperada. Porém, os níveis insuficientes de nitrogênio, na parte inferior direita, só foram explicados pela arquitetura de canais de irrigação da área. A aplicação de fertilizante foi feita com a mesma intensidade em toda a área. Porém a movimentação da água nos canais e diferença de altimetria do terreno fez com que parte da área tivesse níveis de nitrogênio acima do esperado e outras abaixo. Com o auxílio do *AgrArroz*, a agricultura de precisão pode ser aplicada a pequenos e médios agricultores, reduzindo desperdícios e aumentando lucros.

4. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

O monitoramento da distribuição de nutrientes em áreas de cultivo do arroz é essencial para colheitas exitosas. O protótipo de borda do *AgrArroz* está operacional e possibilitou a coleta de dados em ambiente de produção que indicam ações de melhoria no manejo da área. A interpolação IDW aplicada às medições permitiu identificar variações na concentração do nutriente, indicando potencial para otimização da aplicação de fertilizantes. Como trabalho futuro, pretende-se estender o protótipo para o módulo de nuvem, possibilitando a tomada de decisão com um conjunto maior de variáveis históricas e aplicação de modelos preditivos baseados em inteligência artificial.

Agradecimentos

Este trabalho conta com o apoio da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e foi desenvolvido no Laboratório de Processamento Paralelo e Distribuído (LabP2D). Além disso, recebeu suporte financeiro da CAPES – Brasil (PROAP/AUXPE), por meio do Programa de Computação Aplicada (PPGCAP), sob o código SCBA 88881.980214/2024-01.

Referências

- [Akhter and Sofi 2021] Akhter, R. and Sofi, S. (2021). Precision agriculture using iot data analytics and machine learning. *J. King Saud Univ. Comput. Inf. Sci.*, 34:5602–5618.
- [Belal et al. 2021] Belal, A. A., El-Ramady, H., Jalloum, M., Gad, A., and Mohamed, E. S. (2021). Precision farming technologies to increase soil and crop productivity. *Agro-Environmental Sustainability in MENA Regions*, pages 117–154.
- [Cisternas et al. 2020] Cisternas, I., Velásquez, I., Caro, A., and Rodríguez, A. (2020). Systematic literature review of implementations of precision agriculture. *Comput. Electron. Agric.*, 176:105626.
- [Milojicic 2020] Milojicic, D. (2020). The edge-to-cloud continuum. *Computer*, 53(11):16–25.
- [Resende 2002] Resende, A. V. d. (2002). *Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato*. Embrapa Cerrados. Documentos, 57. Embrapa Cerrados, Planaltina. CRI6560, openAccess.
- [Wang et al. 2022] Wang, W., Huang, L., Zhu, G., Zhang, H., Wang, Z., Adnan, M., Saud, S., Hayat, Z., and Fahad, S. (2022). Screening of rice cultivars for nitrogen use efficiency and yield stability under varying nitrogen levels. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(4):1808–1819.