

MONITORIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE MILHO UTILIZANDO TECNOLOGIAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO

ESTUDO DE CASO HUÍLA-ANGOLA

Hermenegildo Sawambo^{1,2,*}

Adélia de Sousa^{1,3}

José Rafael Marques da Silva^{1,3,4}

¹ Universidade de Évora (Mestrado em Tecnologias de Agricultura de Precisão)

² Universidade Mandume Ya Ndemufayo, Instituto Politécnico da Huíla

³ Mediterranean Institute for Agriculture, Environment and Development (MED) e CHANGE - Global Change and Sustainability Institute, Institute for Advanced Studies and Research

⁴ AgrolInsider Lda.

* hrodrigues@isph.umn.ed.a

RESUMO

Em resposta ao desafio global do crescimento populacional e à necessidade de aumentar a produtividade agrícola para a segurança alimentar, foi realizado um estudo no município da Chibia, Huíla, Angola, numa área de 25 hectares. O objetivo foi utilizar dados de deteção remota para analisar a cultura do milho, validando um modelo que identifica variáveis com impacto na eficiência da produção. A análise correlacionou os dados de campo com o índice NDVI, concluindo que as técnicas de cultivo, densidade de sementes, acidez do solo e a deficiência de fósforo foram parâmetros determinantes da produção. Foi proposta uma gestão adaptativa destas variáveis através da aplicação de taxas variáveis, a fim de otimizar a produtividade. Este estudo realça a importância das tecnologias de Agricultura de Precisão, nomeadamente as tecnologias associadas à deteção remota na melhoria da eficiência agrícola, essencial para enfrentar os desafios da segurança alimentar em regiões em desenvolvimento como a região de África.

Palavras-chave: milho; deteção remota; produtividade; Agricultura de Precisão.

INTRODUÇÃO

A população africana é uma das que mais cresce no mundo nos últimos anos e consigo uma grande pressão na produção de alimentos, devido aos elevados níveis de fome e pobreza, principalmente na África subsariana, onde a insegurança alimentar tem um crescimento expo-



nencial devido às alterações climáticas e à degradação da terra. A produção de cereais com maior enfoque na produção de milho é um caminho adequado para mitigar este fenómeno.

A cultura do milho, tem sido considerada mundialmente como o grão-chave para o consumo humano e animal. Estima-se que até 2050, o consumo de milho nos países em desenvolvimento duplicará. Prevê-se também que a partir de 2025 a cultura do milho tornar-se-á o cereal com maior produção à escala global.

«A cultura do milho, tem sido considerada mundialmente como o grão-chave para o consumo humano e animal»

Em África, a produção dos alimentos é maioritariamente feita por pequenos produtores que não têm acesso a grandes tecnologias de produção, logo com a inserção das novas tecnologias, os agricultores poderão garantir um aumento significativo da sua capacidade produtiva.

Angola é um país com excelentes condições edafoclimáticas para a prática agrícola, embora a economia nacional seja maioritariamente suportada pelos recursos naturais não renováveis o setor agrário tem uma contribuição importante na economia do país, sendo o 3.º setor a contribuir para o valor do produto interno bruto nacional, assim como o que engloba o maior número de trabalhadores.

«(...) com a inserção das novas tecnologias, os agricultores poderão garantir um aumento significativo da sua capacidade produtiva»

Com uma extensão territorial de terras aráveis de 35 000 000 ha, apenas cerca de 5 304 699 ha são cultivados ou seja 15,2%. A cultura do milho ocupa uma área aproximada de 3 154 964 ha, dos quais 91,6% são predominantes na agricultura familiar e os restantes 8,4% são cultivados pela agricultura empresarial com uma produção aproximada de 3 065 750 t/ha.

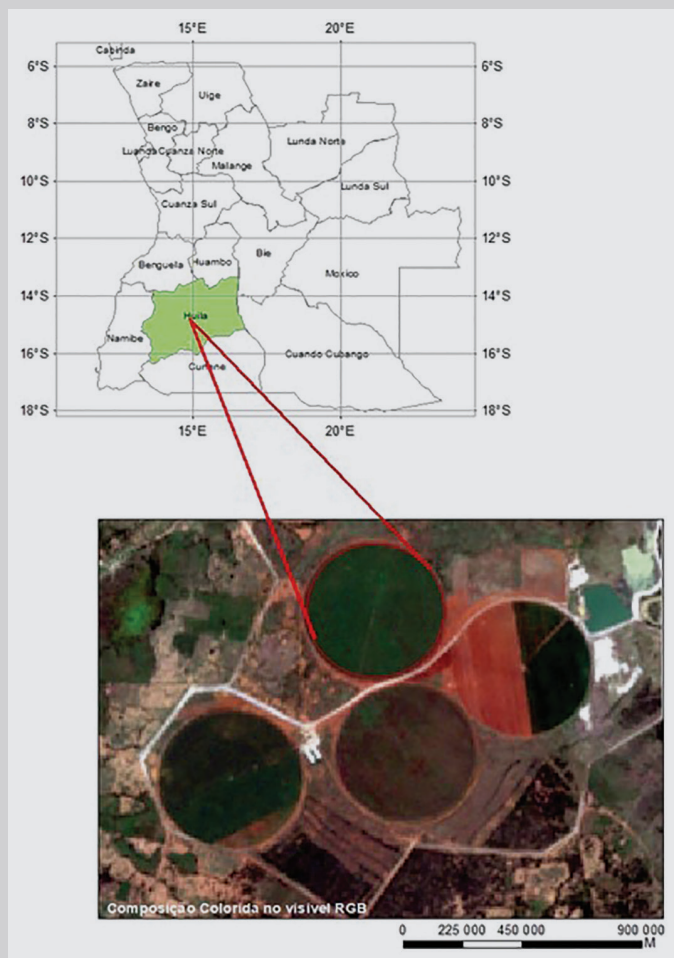


FIGURA 1. Enquadramento da parcela em estudo.

A produtividade média varia à volta dos 921 kg/ha para agricultura familiar e 2680 kg/ha para agricultura empresarial.

«Com uma extensão territorial de terras aráveis de 35 000 000 ha, apenas cerca de 5 304 699 ha são cultivados ou seja 15,2%»

Sendo um país onde os recursos como os fertilizantes são caros e escassos é fundamental otimizar tais recursos como forma de potenciar ao máximo o retorno para os empresários agrícolas. A Agricultura de Precisão e a Detecção Remota (DR) em particular pode ser uma das tecnologias fundamentais no aumento da eficiência de aplicação dos fatores de produção e consequentemente na sua produtividade. Se os fatores são escassos e caros é, pois, decisivo aplicar os mesmos nos espaços de terreno onde o seu retorno é máximo. Muitos foram os autores que encontraram relações entre a produtividade do milho e indicadores

de satélite como o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Rojas, 2007; Leroux *et al.*, 2015; Chivasa *et al.*, 2017; Leroux *et al.*, 2019; Khechba *et al.*, 2021; Rezaei *et al.*, 2021) e, como eles, a partir de um estudo de caso desenvolvido na Huila (Angola), demonstramos que é possível aumentar a eficiência da aplicação dos fatores de produção em África de forma muito barata, utilizando para tal as tecnologias de Agricultura de Precisão, mais precisamente as tecnologias de observação da terra.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado numa parcela de 25 hectares, localizada no município da Chibia, Província da Huila, situada entre os paralelos de 12° e 15° sul, latitude 14° 11' 33,858"(S), longitude 13° 41' 02,264"(E) e uma altitude média de 1.484 m. A variedade do milho foi Sahara, semeada no ano de 2023 com um compasso de 75 cm x 22 cm. O clima desta região é húmido, mesotérmico, em que as características da área enquadram-

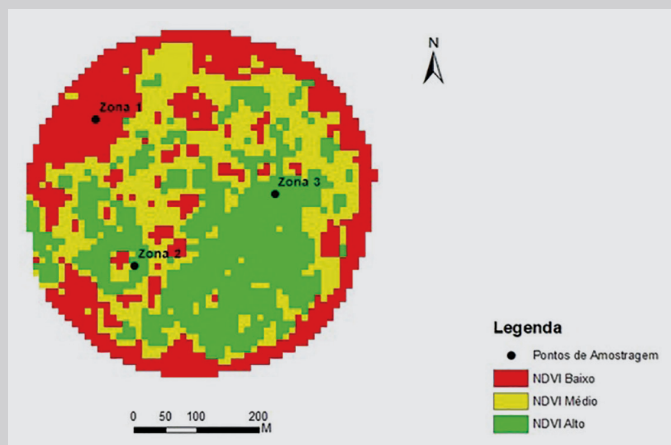


FIGURA 2. Carta do NDVI com as zonas de gestão.

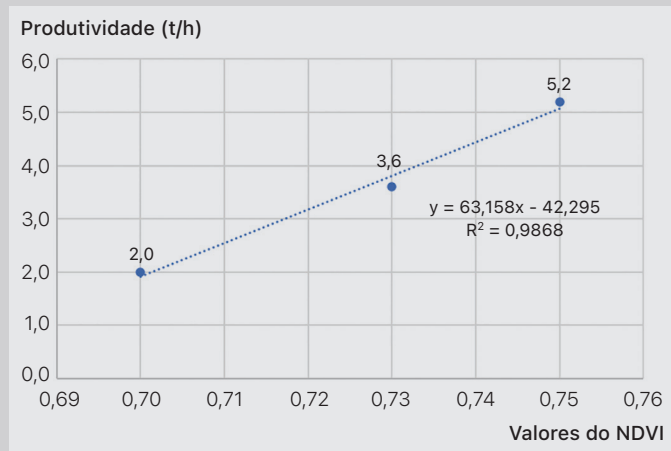


FIGURA 3. Relação entre a produtividade e o NDVI.

-se na zona tropical de clima húmido e seco, com temperaturas médias anuais variando entre 19 °C a 22 °C, podendo atingir valores mais baixos na ordem de 5 °C durante a estação seca do ano, os valores médios anuais da humidade relativa atingem 60% a 70%, e as precipitações vão de 1.100 mm a 1.400 mm por ano (Dinis, 2006) (Figura 1).

«O clima desta região é húmido, mesotérmico, em que as características da área enquadram-se na zona tropical de clima húmido e seco (...)»

Utilizando imagens de satélite Sentinel-2, a aplicação SmartAG da Agroinsider gerou mapas de gestão diferenciados, apresentando variações na cor da vegetação (verde, amarelo, vermelho) com base no índice NDVI. Estes mapas delinearam três zonas de gestão (alta, intermédia, baixa), categorizadas por níveis de vigor vegetativo (Figura 2).



TABELA 1. Variáveis biométricas medidas nos locais de ensaio e sua relação com os sinais obtidos pelo satélite (y, variável dependente; x, NDVI).

Variáveis medidas, associadas à produtividade da cultura do milho	Regressão linear
Altura da planta: existe uma correlação moderada entre o NDVI e a altura das plantas, com cerca de 75,75% da variação explicada pelo NDVI. No entanto, a análise ANOVA <u>não encontrou diferenças significativas</u> entre as zonas, sugerindo que outros fatores, como a invasão de infestantes, podem influenciar a altura das plantas.	$y = 684,74x - 286,34$ $R^2 = 0,75$
Biomassa total: Foi observada uma forte relação positiva entre o NDVI e a biomassa total, com 96,55% da variação na biomassa explicada pelo NDVI. <u>Foram confirmadas diferenças significativas entre zonas</u> , indicando que o NDVI é um bom indicador do potencial de biomassa das plantas.	$y = 4429,3x - 2902,3$ $R^2 = 0,96$
Cumprimento da espiga: A relação entre o NDVI e o comprimento da espiga de milho é positivamente correlacionada, conforme a reta, com aproximadamente 69,82% da variação no comprimento da espiga explicada pelo NDVI. Análises estatísticas <u>indicam diferenças significativas</u> no comprimento das espigas entre zonas.	$y = 559,47x - 328,23$ $R^2 = 0,69$
Peso da espiga: A relação entre o NDVI e o peso da espiga mostrou uma correlação muito forte, com quase toda a variação no peso da espiga explicada pelo NDVI. <u>Foram identificadas diferenças significativas entre zonas</u> , destacando o NDVI como um indicador fiável do peso da espiga.	$y = 1766,6x - 1076,8$ $R^2 = 0,99$
Peso de 100 grãos: Verificou-se uma correlação positiva robusta entre o NDVI e o peso de 100 grãos, com o NDVI explicando aproximadamente 94,06% da variação. A análise ANOVA refutou a hipótese nula e confirmou a <u>relação estatisticamente significativa</u> entre essas variáveis.	$y = 367,92x - 222,04$ $R^2 = 0,94$
Número de grãos por fileira: Apesar de uma correlação positiva entre o NDVI e o número de grãos por fileira, a análise ANOVA <u>não encontrou diferenças significativas</u> entre as zonas, sugerindo que o NDVI pode não ser um preditor tão forte para esta característica específica.	$y = 225,53x - 123,72$ $R^2 = 0,99$
Número de fileiras por espiga: verificou-se uma relação positiva entre o NDVI e o número de linhas por espiga, com uma correlação moderada. Foram identificadas diferenças significativas entre zonas. Estes resultados sugerem que o NDVI é um indicador útil de várias características do milho, embora a sua eficácia possa variar consoante a característica específica e as condições locais.	$y = 94,737x - 54,342$ $R^2 = 0,61$

Para garantir a representatividade das amostras em três zonas com diferentes índices NDVI (alto, médio e baixo), foram estabelecidos quatro subpontos de amostragem em ziguezague em cada zona, mais um ponto de 3 m² para observações contínuas do ciclo vegetativo (densidades de plantas, altura das plantas). Foi feita a colheita e amostras de solos e levadas ao laboratório de solos Ambiterria da Universidade de Évora. Depois, em cada zona, foram colhidas 10 plantas numa área de 3m², cortadas, e determinado o peso fresco e seco para analisar características como o peso de 100 grãos, a biomassa total, o peso da espiga, o número de fileiras por espiga e grãos por fileira. Após a secagem em estufa com uma temperatura de 60° C, as medições foram efetuadas periodicamente até se obter um peso constante. A análise permitiu calcular um conjunto de indicadores (ex: densidade de plantas por hectare, rendimento em toneladas por hectare, etc.) e dessa forma perceber, se a partir de técnicas estatísticas ANOVA, podemos encontrar diferenças significativas entre os sinais obtidos pelos satélites (zonas de gestão) e a produtividade de milho associada a cada zona. A análise de correlação de Pearson, que varia entre -1 e 1, foi utilizada para medir o grau de relação entre os sinais obtidos via satélite (NDVI) e a produtividade associada a cada zona de gestão.

«Utilizando imagens de satélite Sentinel-2, a aplicação SmartAG da Agroinsider gerou mapas de gestão diferenciados, apresentando variações na cor da vegetação (...)»

RESULTADOS

Com base nos parâmetros registados: a zona 1, com NDVI de 0,70, foi classificada como sendo de menor vigor vegetativo; a zona 2, com NDVI de 0,73 de vigor intermédio e a zona 3 com NDVI de 0,75 como o mais alto vigor vegetativo (Figura 2). Estes valores de NDVI foram utilizados para calcular a densidade de plantas em cada zona e correlacioná-la com a produção estimada, permitindo identificar diferenças significativas entre as zonas de gestão.

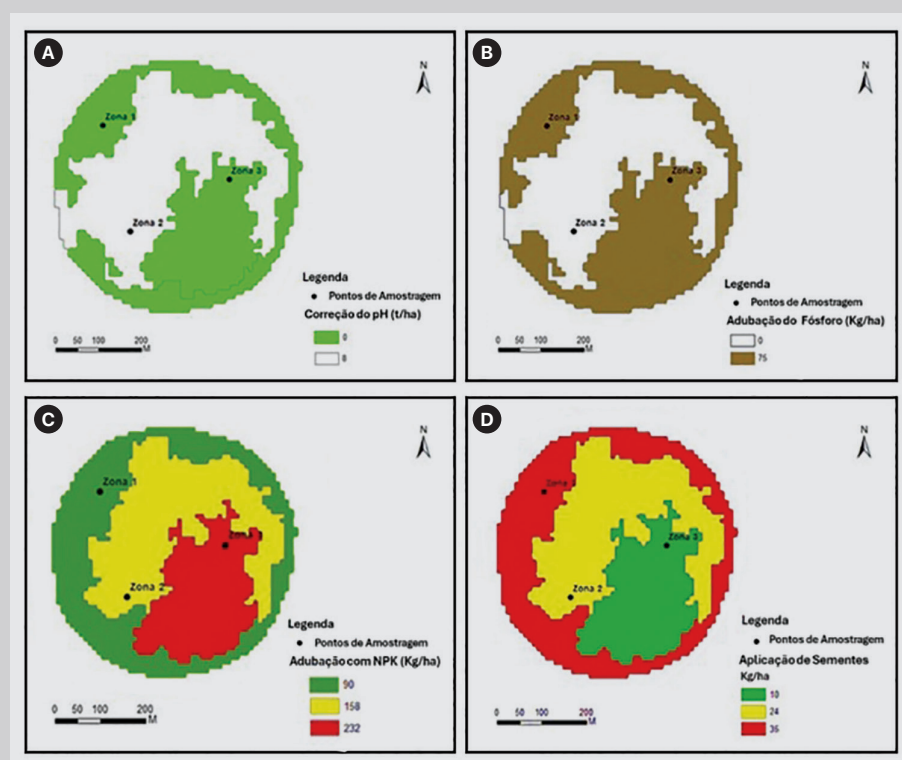


FIGURA 4. Mapa VRT de Gestão Diferenciada.



Relação da Produtividade x NDVI

Na zona 1, de menor vigor vegetativo, mediu-se uma densidade de 43 000 plantas/ha e um rendimento médio de 2,0 t/ha. Na zona 2, de vigor vegetativo intermédio, mediu-se uma densidade de 56 000 plantas/ha e um rendimento médio de 3,6 t/ha. Na zona 3, de vigor vegetativo mais alto, mediu-se uma densidade de 66 000 plantas/ha e um rendimento médio de 5,2 t/ha. O teste ANOVA indicou um p-valor de 2,54 e -05, confirmando diferenças significativas entre as zonas. Face à relação existente entre o NDVI e a produtividade do milho, evidenciada na **Figura 3** apresenta-se na **Tabela 1** as distintas variáveis medidas no terreno e a sua relação com os sinais medidos pelo satélite (NDVI).

Análise da variância (ANOVA)

A análise revelou diferenças significativas entre zonas em aspetos como o rendimento, a altura da espiga, a biomassa total e

outros parâmetros. Seguramente que estas diferentes zonas (**Figura 2**) devem apresentar fatores controladores da produtividade diferentes, contudo, sem entrar em muitos detalhes onde é que os produtores de milho em África devem colocar mais fertilizantes, na zona 1 ou na zona 3 da **Figura 2**? Seguramente que na zona 3, pois esta é a zona que remunera de forma mais elevada o fertilizante (fator escasso e caro). Não colocando nenhum fertilizante na zona 1, metade na zona 2 e o máximo possível na zona 3 faria aumentar a produtividade média da parcela. Em suma, em vez de estar a distribuir o fertilizante pela parcela toda, é preferível distribuir nas zonas com maior potencial produtivo. Olhando agora ao detalhe deste caso de estudo podemos dizer que a zona 1 (**Figura 2**) teve um rendimento reduzido devido à baixa densidade de plantas (má germinação) e ervas daninhas, enquanto na zona 2, a melhor densidade de plantas melhorou a formação de espigas, apesar dos problemas de germinação ainda se

terem manifestado nesta zona para além dos problemas de pH do solo ser ácido. A zona 3 foi aquela onde existiram menos problemas de germinação e consequentemente aquela onde o potencial produtivo foi mais elevado.

Propostas para otimização da produtividade do milho

Para aumentar a produtividade do milho, é essencial uma gestão diferenciada das parcelas, utilizando tecnologias de agricultura de precisão, como imagens de satélite e análise NDVI, combinadas com dados de campo. A análise identificou a zona 2, com um rendimento de 3,6 t/ha, como tendo baixa fertilidade do solo, destacando a necessidade de uma gestão diferenciada devido ao solo ácido e pobre. Recomenda-se a aplicação de calcário (8 t/ha) (**Figura 4A**) para ajustar o pH e equilibrar os nutrientes, melhorando assim a capacidade de troca catiónica do solo. Embora o fósforo não seja limitante, é aconselhável aumentar o seu nível

PUB

Aumente a sua produção de leite por hectare. O caminho é por aqui.



NOVO

Máxima produção com toneladas/ha em matéria fresca e matéria seca, com maior qualidade de silagem

Híbrido DKC5911
Ciclo 500
RM 109
Tipo Silagem

TIPO DE GRÃO	DENTADO	STAY-GREEN	★★★★★
FLORAÇÃO	ALTA	TOLERÂNCIA A HELMINTHOSPORIUM	★★★★★
INSERÇÃO DA ESPIGA	MÉDIA/ALTA	MATÉRIA SECA (kg/ha)	★★★★★
ASPECTO	★★★★★	MATÉRIA FRESCA (kg/ha)	★★★★★
VIGOR À NASCENÇA	★★★★★	TEOR DE AMIDO	★★★★★
RAÍZES	★★★★★	DIGESTIBILIDADE	★★★★★
CAULE	★★★★★	LEITEINA	★★★★★

- O híbrido 500 mais produtivo e com mais garantias do mercado
- Excelente Staygreen com elevada densidade de folhas
- Espiga compacta
- Caule denso e uniforme com elevada resistência a ventos fortes

NOVO

Toneladas de leite/ha para sua exploração agrícola

Híbrido DKC7023
Ciclo 600
RM 115
Tipo Silagem

TIPO DE GRÃO	DENTADO	STAY-GREEN	★★★★★
FLORAÇÃO	MÉDIA/TARDIA	TOLERÂNCIA A HELMINTHOSPORIUM	★★★★★
INSERÇÃO DA ESPIGA	MÉDIA/ALTA	MATÉRIA SECA (kg/ha)	★★★★★
ASPECTO	★★★★★	MATÉRIA FRESCA (kg/ha)	★★★★★
VIGOR À NASCENÇA	★★★★★	TEOR DE AMIDO	★★★★★
RAÍZES	★★★★★	DIGESTIBILIDADE	★★★★★
CAULE	★★★★★	LEITEINA	★★★★★

- 600 longos com rendimentos muito elevados tanto em matéria seca como em matéria fresca por hectare
- Excelente resistência à queda graças à flexibilidade do caule e do seu sistema radicular

NOVO

A expressão máxima de um ciclo 400 com muito bom staygreen e qualidade

Híbrido DKC5432
Ciclo 400
RM 103
Tipo Dupla Aptidão

TIPO DE GRÃO	SEMI-DENTADO	STAY-GREEN	★★★★★
FLORAÇÃO	MÉDIA	TOLERÂNCIA A HELMINTHOSPORIUM	★★★★★
INSERÇÃO DA ESPIGA	MÉDIA	MATÉRIA SECA (kg/ha)	★★★★★
ASPECTO	★★★★★	MATÉRIA FRESCA (kg/ha)	★★★★★
VIGOR À NASCENÇA	★★★★★	TEOR DE AMIDO	★★★★★
RAÍZES	★★★★★	DIGESTIBILIDADE	★★★★★
CAULE	★★★★★	LEITEINA	★★★★★

- Nova geração de híbridos para silagem com produções de matéria seca que superam, inclusivamente, as de ciclos mais longos e maior produção verde em ciclo 400
- Excelente Stay Green e aspeto de silagem com boa tolerância a Helminthosporium, Gibberella e Fusarium da espiga
- Totalmente adaptado para sementeiras de altas densidades. Confira com o seu assessor agrônomo a densidade correta para os seus campos

SILOEEXTRA
Elevado potencial de rendimento e qualidade superior para maximizar a produção de leite na sua exploração.

DEKALB
A genética única assegura híbridos com as melhores características. Ciência e tecnologia mais avançadas para lhe garantir os melhores resultados.

Mais informações em ativadekalb.com

SILOEEXTRA





para 75 kg/ha nas zonas 1 e 3 (**Figura 4B**) para promover a uniformidade, o rendimento e a resistência a doenças. A baixa fertilidade da zona 1, sugerida pelas características biométricas, implica uma gestão do solo semelhante à da zona 2, devido à ausência de diferenças significativas nos parâmetros do solo entre elas. A estratégia de sementeira deve variar também por zona, sendo recomendadas densidades de 50 kg/ha e 30 kg/ha para as zonas 1 e 2 (**Figura 4D**) respetivamente, para minimizar as perdas. É fundamental a reposição dos nutrientes extraídos pelas plantas, sendo as recomendações de fertilizantes ternários NPK de 90 kg/ha para a zona 1, 158 kg/ha para a zona 2 e 235 kg/ha para a zona 3 (**Figura 4C**), ajustando-se à produtividade de cada área e promovendo tratamentos diferenciados de acordo com as necessidades específicas de cada zona.

CONCLUSÕES

A deteção remota revelou-se essencial

para o caso de estudo aqui apresentado, permitindo analisar a sua produtividade através do índice NDVI. Este método permitiu identificar os fatores que afetam a produção, como as técnicas de cultivo e as condições do solo, e permitiu desenvolver propostas para melhorar a produtividade de forma sustentável. A metodologia aplicada revelou-se eficaz e económica, indicando um potencial aumento dos rendimentos dos agricultores em comparação com os métodos convencionais. Os resultados indicam que a agricultura de precisão tem grande potencial para monitorizar o milho e outras culturas importantes em Angola, promovendo avanços na eficiência e sustentabilidade. 🌱

BIBLIOGRAFIA

- Chivasa, W., Mutanga, O., & Biradar, C. (2017). Application of remote sensing in maize grain yield estimation in heterogeneous African agricultural landscapes: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 38(23), 6816-6845.
- Dinis, A.C. (2006). Características mesológicas de Angola.

- Nova Lisboa. Disponível em: <https://worldcat.org/title/caracteristicas-mesologicas-de-angola>.
- Khechba, K., Laamrani, A., Dhiba, D., Misbah, K., & Chehbouni, A. (2021). Monitoring and analysing yield disparity in Africa through improved management of soil attributes using remote sensing approaches: A review. *Remote Sensing*, 13(22), 4602.
- Leroux, L., Baron, C., Zoungana, B., Traoré, SB, Visto, DL, & Bégué, A. (2015). Crop monitoring using vegetation and thermal indices for yield estimation: case study of a rainfed cereal in semi-arid West Africa. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(1), 347-362.
- Leroux, L., Castets, M., Baron, C., Escorihuela, MJ, Bégué, A., & Seen, DL (2019). Maize yield estimation in West Africa from harvest process-induced combinations of multi-domain remote sensing indices. *European Journal of Agronomy*, 108, 11-26.
- Rezaei, EE, Ghazaryan, G., González, J., Cornish, N., Dubovyk, O., & Siebert, S. (2021). The use of remote sensing to derive maize sowing dates for large-scale crop yield simulations. *International Journal of Biometeorology*, 65, 565-576.
- Rojas, O. (2007). Development and validation of an operational maize production model based on remote sensing and agrometeorological data in Kenya. *International Journal of Remote Sensing*, 28(17), 3775-3793.

PUB

Proteja o seu campo contra imprevistos. O caminho é por aqui.



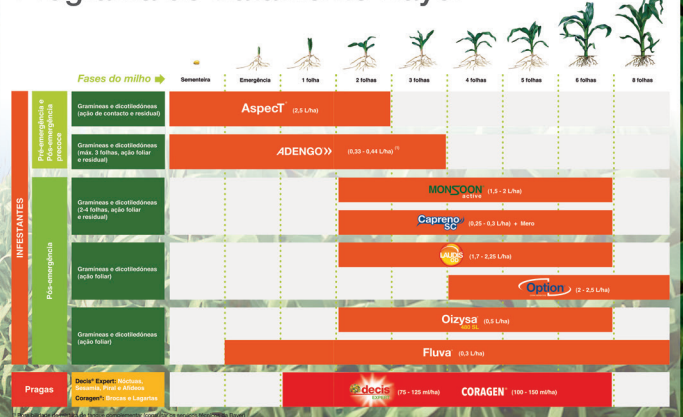
Na **DEKALB**, oferecemos uma gama completa de soluções fitossanitárias inovadoras.

Proteção completa contra pragas, doenças e infestantes, tanto em pré como em pós-emergência.

Mais informações em activadekalb.com



Programa de tratamento Bayer



Monseeds