

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

TULIO NAVES LEPESQUEUR

ZONAS HOMOGÊNEAS NA VALIDAÇÃO DE ATRIBUTOS BIOFÍSICOS NA
CULTURA DO SORGO GRANÍFERO

UBERLÂNDIA

2022

TULIO NAVES LEPESQUEUR

ZONAS HOMOGÊNEAS NA VALIDAÇÃO DE ATRIBUTOS BIOFÍSICOS NA
CULTURA DO SORGO GRANÍFERO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de
Ciências Agrárias da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito
parcial para obtenção do Título de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Manuel
Carmelino Hurtado

UBERLÂNDIA

2022

TULIO NAVES LEPESQUEUR

ZONAS HOMOGÊNEAS NA VALIDAÇÃO DE ATRIBUTOS BIOFÍSICOS NA
CULTURA DO SORGO GRANÍFERO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de
Ciências Agrárias da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito
parcial para obtenção do Título de
Engenheiro Agrônomo.

Uberlândia, 31 de março de 2022

Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado (ICIAG-UFU)

Prof. Dr. Hugo César Rodrigues M. Catão (ICIAG-UFU)

Eng. Agrônomo Gabriel Marques Pedrosa (INQUIMA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família: meu pai Saulo, minha mãe Tereza e meu irmão Hugo, pelo amor, pelo apoio, pela confiança e por todos os ensinamentos que me foram passados durante toda minha vida e que foram fundamentais para meu crescimento;

Ao Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado pela confiança, pela oportunidade de estar sob sua orientação, por todo o conhecimento transmitido, pela experiência e pelo profissionalismo que contribuíram para a minha formação;

Aos meus amigos que sempre estiveram presentes e que me ajudaram a superar os obstáculos e desafios durante toda a minha graduação;

À Universidade Federal de Uberlândia pela oportunidade e por todo o conhecimento fornecido;

Aos colegas e amigos do Grupo de Estudos em Agricultura de Precisão (GeAP – UFU) por toda a contribuição e auxílio durante o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

LEPESQUEUR, Tulio Naves. **Zonas homogêneas na validação de atributos biofísicos na cultura do sorgo granífero.** 20f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2022.

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma cultura de fácil adaptação a condições edafoclimáticas adversas e que nas últimas décadas apresentou crescimento expressivo de produtividade. Todo esse crescimento foi possível pelo uso de novas tecnologias e um melhor aproveitamento dos recursos naturais. Nesse cenário surge a agricultura de precisão (AP) como ferramenta focada no aprimoramento do sistema produtivo, levando em consideração a variabilidade espacial dos talhões e a redução dos impactos ambientais. O presente trabalho teve por objetivo definir zonas homogêneas, a partir de atributos de solo e o índice de vegetação NDVI, que permitam reconhecer a diferença de massa seca e produtividade existente em um talhão cultivado com sorgo granífero. O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental Capim Branco, pertencente a Universidade Federal de Uberlândia, em uma área contemplando 25 hectares, numa grade amostral com 50 pontos, sendo dois pontos por hectare, os atributos estudados para definição das zonas de manejo foram a textura do solo, condutividade elétrica, resistência a penetração, altitude e NDVI. A definição das zonas de manejo foi feita a partir da interpolação dos mapas destes atributos. Os softwares utilizados foram o Google Earth, Excel e QGIS com o Smart Map Plugin. Para a validação das zonas de manejo obtidas a partir da interpolação dos mapas, foram avaliadas a altura de plantas, comprimento de panícula, peso de parte aérea sem grãos e produtividade. A definição de zonas homogêneas que permita diferenciar o potencial de resposta produtiva dos talhões é possível a partir de atributos como altitude, areia, argila, condutividade elétrica, resistência à penetração e NDVI. É possível relacionar a resposta de atributos biofísicos do sorgo ao potencial produtivo da área a partir da definição de zonas homogêneas.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, Zonas de manejo, Variabilidade espacial

ABSTRACT

Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) is a crop that is easy to adapt to adverse soil and climate conditions and which in recent decades has shown significant growth in productivity. All this growth was made possible by the use of new technologies and a better use of natural resources. In this scenario, precision agriculture emerges as a tool focused on improving the production system, taking into account the spatial variability of the stands and the reduction of environmental impacts. The present work aimed to define homogeneous zones, based on soil attributes and the NDVI vegetation index, which allow the recognition of the difference in dry mass and productivity existing in a field cultivated with grain sorghum. The experiment was carried out at the Experimental Farm Capim Branco, belonging to the Federal University of Uberlândia, in an area covering 25 hectares, in a sampling grid with 50 points, with two points per hectare, the attributes studied to define the management zones were the texture of the soil, electrical conductivity, penetration resistance, altitude and NDVI. The definition of management zones was made from the interpolation of maps of these attributes. The software used were Google Earth, Excel and QGIS with the Smart Map Plugin. For the validation of the management zones obtained from the interpolation of the maps, the height of plants, panicle length, shoot weight without grains and productivity. The definition of homogeneous zones that allows differentiating the productive response potential of the stands is possible based on attributes such as altitude, sand, clay, electrical conductivity, penetration resistance and NDVI. It is possible to relate the response of sorghum biophysical attributes to the productive potential of the area from the definition of homogeneous zones.

Keywords: Precision agriculture, Management zones, Spatial variability

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	MATERIAL E MÉTODOS	10
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4	CONCLUSÃO.....	17
	REFERÊNCIAS	18

1 INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma cultura de fácil adaptação a condições edafoclimáticas adversas, como altas temperaturas, salinidade, acidez do solo e déficit hídrico (FERNANDES et al., 2017), sendo alternativa ideal ao cultivo em sucessão ao milho, soja e cana-de-açúcar. O sorgo é uma gramínea da família *Poaceae*, de mecanismo fotossintético C₄ e ciclo vegetativo curto, de 90 a 120 dias. Por apresentar semelhanças morfológicas com a cultura do milho é importante para entender a interação da cultura com os atributos físicos, químicos e hídricos do solo (SILVA et al., 2021).

Registros evidenciam que entre os anos de 1977 à 2017, o sorgo apresentou crescimento produtivo aproximado de 430% no Brasil (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2018). Na safra 2020/21 foram semeados 865 mil hectares, produzindo 2,1 milhões de toneladas do grão com produtividade média de 2.427 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021). Esse incremento produtivo é possível pelo uso de novas tecnologias e o melhor aproveitamento dos recursos naturais.

Nesse cenário surge a agricultura de precisão (AP) como ferramenta focada no aprimoramento do sistema produtivo, levando em consideração a variabilidade espacial dos talhões e a redução dos impactos ambientais (REGHINI; CAVICHIOLI, 2020). A AP possibilita a produtores e profissionais a tomada de decisão a partir da coleta de dados históricos de produtividade, de aplicações de corretivos e fertilizantes, entre outros, obtidos com base na variabilidade espacial dos atributos do sistema (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015). A percepção da variabilidade espacial é compreendida na presença de reboleiras, em áreas com diferente disponibilidade de nutrientes ou com algum nível variado de compactação do solo. A coleta dessas informações pode ser mais bem aproveitada quando utilizada a interpolação por krigagem, estimando valores em locais não amostrados, sem tendência e com mínima variação (SOUZA; XAVIER; ROCHA, 2010).

Em razão da grande quantidade de dados gerados, se faz necessário o uso de análises eficientes que permitam relacionar os diferentes atributos dos talhões, definindo assim as zonas de manejo - ZM (ROSA, 2021). A divisão dos talhões em ZM permite um manejo diferenciado da variabilidade espacial existente nas áreas. Na sua criação podem ser utilizados dados de produtividade em conjunto aos de atributos físicos e químicos do solo, de elevação (BAZZI et al., 2019; KESHAVARZI, et al., 2019), e de índices de vegetação - IV (ALBORNOZ; ÑANCO; SÁEZ, 2019; DAMIAN et al., 2020).

Os IV permitem identificar o comportamento espectral da vegetação, facilitando comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética, como da estrutura do dossel (ZANZARINI et al., 2013). Na definição das ZM, um índice bastante utilizado é o NDVI (*Normalized difference vegetation index*), proposto por Rouse et al. (1974). O índice é calculado a partir da reflectância dos alvos nas faixas espectrais do vermelho (625 – 740 nm) e infravermelho próximo (780 – 2500 nm), auxiliando na discriminação da presença de cobertura vegetal, do volume de biomassa e do vigor vegetativo das culturas (GANDHI et al., 2015; LIMA et al., 2013).

Neste sentido, objetivou-se com esse trabalho definir zonas homogêneas, a partir de atributos de solo e o índice de vegetação NDVI, que permitam reconhecer a diferença de massa seca e produtividade existente, em um talhão cultivado com sorgo granífero.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido na fazenda experimental Capim Branco (18°53' S e 48°20' W), pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, em Uberlândia. A área, com altitude média de 825m, apresenta clima do tipo Aw (Köppen-Geiger), tropical com estação seca de inverno. A área de estudo, de 25 ha, foi cultivada com culturas graníferas em sistema plantio direto desde 2012 (ocorrendo apenas uma subsolagem em parte do talhão em 2018), com a cultura da soja em primeira safra, seguida do milho ou sorgo, em sucessão. Na segunda safra 2021-21 (31 de março de 2021) foi semeado o sorgo granífero, híbrido precoce 50A60 (Pioneer®), na população de 220 mil sementes por hectare.

No local foi delimitada uma malha regular, sistematicamente aleatorizada, com 50 pontos de amostragem, criada com auxílio do software Qgis (Qgis Development Team, 2020). O reconhecimento dos pontos a campo e a obtenção de dados de elevação foi realizado com auxílio do sistema global de navegação por satélite - GNSS, a partir do GPS de navegação marca Garmin e-Trex Vista®, munido com altímetro barométrico (Figura 1).



Figura 1. Área de estudo e localização dos pontos amostrais georreferenciados. Fonte: Elaboração própria.

No talhão foram obtidos dados de atributos do solo e biofísicos da cultura do sorgo. Para isto, foram demarcadas parcelas úteis de 8m² (4 linhas de espaçadas 0,5 m e 4 m de comprimento) em cada um dos 50 pontos amostrais. No solo foram consideradas amostras compostas a partir da coleta de 10 subamostras, na profundidade 0-0,2 m. Foram

obtidos os teores de areia e argila (CAMARGO et al., 2009) e condutividade elétrica – CE (CARMO; SILVA, 2016).

Para a coleta de atributos biofísicos do sorgo foram consideradas 5 plantas em sequência, para cada uma das 2 linhas centrais da parcela útil. Foram coletados dados de altura de planta (do solo até a ponta da panícula), comprimento da panícula e peso da parte aérea sem grãos. Para o cálculo da produtividade foi realizada trilha das panículas contidas na parcela útil de 8m², limpeza de impurezas e determinação do peso e umidade, no laboratório de análise de sementes (LASEM) da UFU. A produtividade final considerou uma umidade igual a 13%, a partir da fórmula:

$$PF = \frac{PI(100 - UI)}{100 - UD}$$

Onde:

PF = Peso final corrigido a 13% de umidade;
 PI = Peso inicial na umidade real;
 UI = Umidade inicial (real do grão);
 UD = Umidade desejada (13%).

A avaliação da resistência à penetração (RP) foi realizada em abril de 2021 com auxílio do penetrômetro de impacto (STOLF, 1991), considerando 3 leituras para cada ponto da grade amostral. A transformação da força de penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto), em resistência à penetração, foi obtida a partir da equação descrita em Stolf (1991).

$$RP = \left(\frac{X \cdot \frac{M}{(M+m)} \cdot g \cdot h}{(a \cdot \Delta x) \cdot \frac{M}{(M+m)} + \left(\frac{M+m}{a} \right) \cdot g} \right) \div 1000000$$

Onde:

RP = resistência à penetração (MPa);
 M = massa do êmbolo (3,880 kg);
 M = massa do aparelho sem êmbolo (3,441 kg);
 h = altura de queda do êmbolo (0,4 m);
 X = médias da quantidade de impactos;
 A = área do cone (0,0001131 m²);
 g = aceleração da gravidade (9,81 m s⁻²);
 Δx = agrupamento (0,1 m)

Informações do índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI foram obtidas a partir de imagens do satélite Sentinel-2 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), resolução de 10 m, com uso das bandas espectrais do vermelho (banda 4) e infravermelho próximo (banda 8) (ROUSE et al., 1974). As imagens foram coletadas aos 51 dias após semeadura, em data próxima ao florescimento.

A elaboração do mapa temático de zonas homogêneas (ZH) foi realizada com os dados de altitude, areia, argila, CE, RP e NDVI, com auxílio do plugin Smart Map (SMP), no ambiente Qgis. No processamento foi seguida a ordem: seleção dos atributos de análise, interpolação de dados, definição do número ideal de classes e obtenção do mapa final de zonas a partir do algoritmo Fuzzy K-means. A interpolação dos atributos e geração de mapas de distribuição espacial foi realizada pela geoestatística, a partir do ajuste de modelos à semivariogramas experimentais (VIEIRA, 2000). Para o processamento das imagens, os valores de pixel foram transformados em informação vetorial. Como passo final foi realizada a análise de correspondência entre as ZH e os atributos de solo e biofísicos para cada zona, a partir do teste T ($p < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve dependência espacial para os atributos avaliados, com ajuste de modelos linear para a maioria dos semivariogramas (Tabela 1). O ajuste desse modelo difere do encontrado por Bertolani; Vieira (2001) e Sousa et al. (2004) para atributos de solo, citando como mais comum o ajuste ao modelo gaussiano.

Tabela 1. Análises geoestatísticas para os dados dos atributos do solo, altitude e NDVI, Uberlândia-MG, 2018.

Atributos ¹	Modelo ²	C ₀	C ₀ +C	a	R ²	GDE
Areia (g kg ⁻¹)	Gaussiano	387,526	12207,08	447,12	0,821	Forte
Argila (g kg ⁻¹)	Linear	77,7970	2634,01	257,82	0,937	Forte
CE (μS cm ⁻²)	Linear	315,9600	685,14	272,37	0,904	Moderado
RP (Mpa)	Linear	0,2900	0,67	331,44	0,956	Moderado
Altitude (m)	Linear	0,0001	114,05	344,76	0,770	Forte
NDVI	Esférico	0,0001	0,005	470,66	0,996	Forte

¹CE: condutividade elétrica do solo; RP: resistência a penetração. ²C₀: efeito pepita; C₀+C: patamar; a: alcance; R²: coeficiente de determinação; GDE: grau de dependência espacial, C₀/(C₀+C).

O parâmetro alcance indica a distância limite de presença de estrutura espacial para dados de um mesmo atributo. O parâmetro permitiu observar os menores valores para a argila e CE (257 e 272 m) e os maiores para o NDVI (470 m). Já, o grau de dependência espacial (GDE) foi forte (<25%) para a maioria dos atributos, evidenciando uma boa representatividade espacial nos dados.

A interpolação por krigagem permitiu observar o comportamento espacial nos atributos estudados (Figura 2). Para a areia e altitude os menores valores foram observados na porção superior do talhão (Figura 2A e 2E). Comportamento oposto a este foi encontrado para argila (Figura 2B). Essa relação auxilia no monitoramento de atributos relacionados ao teor de água no solo (CORWIN; LESCH, 2005). Quando observados os mapas de CE e NDVI (Figura 2C e 2F), percebe-se uma concentração de menores teores restritos à parte inferior do talhão. O agrupamento pode ser explicado pelo comportamento espacial da resistência a penetração - RP (Figura 2D), a mesma que estaria influenciando a movimentação de solutos no solo e limitando a absorção de

nutrientes pelas plantas. Consequência disso é uma redução na produtividade, refletida nos menores valores do índice de vegetação NDVI.

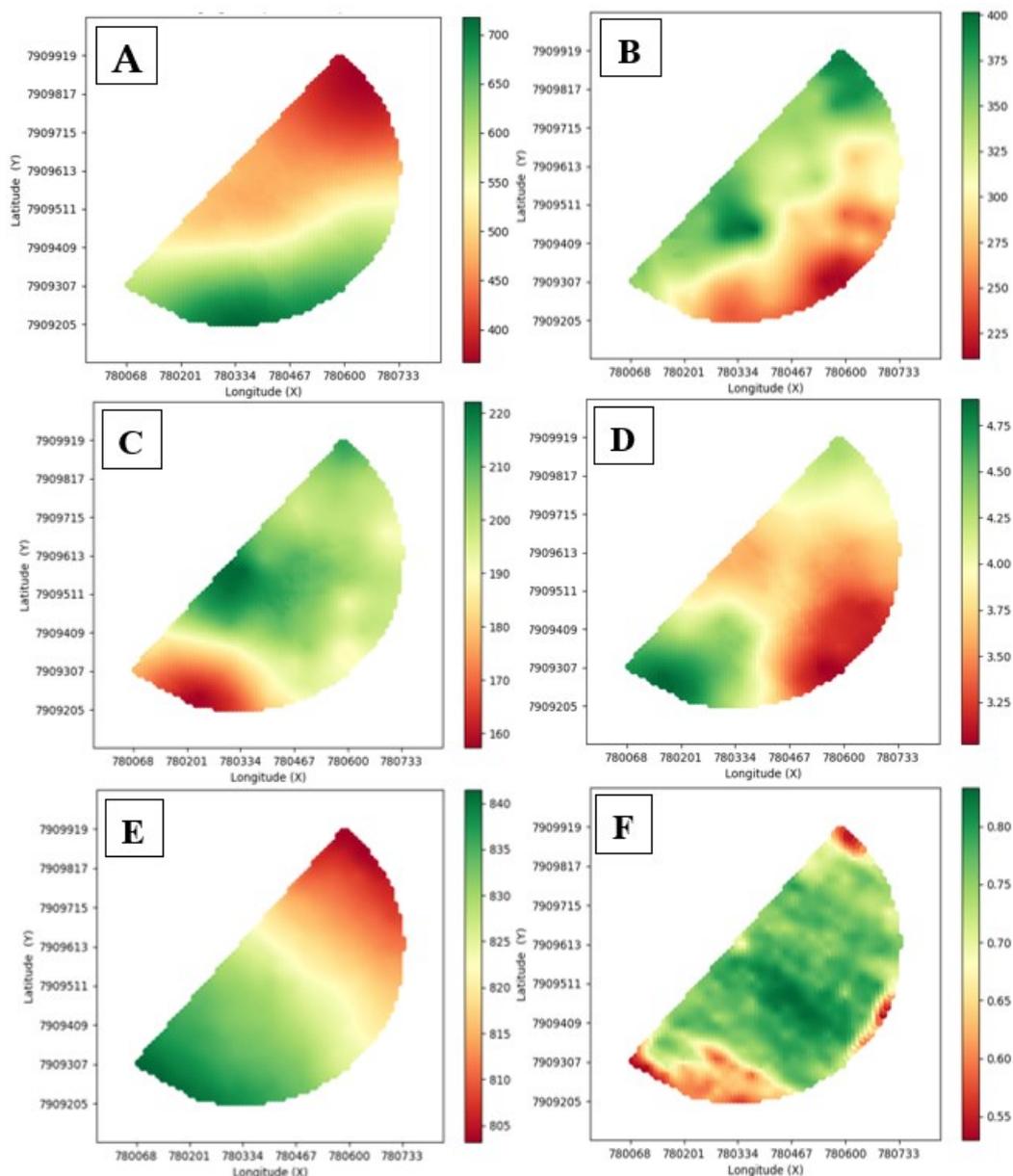


Figura 2. Mapa interpolado por krigagem para areia (A), argila (B), condutividade elétrica (C) resistência a penetração (D), altitude (E) e NDVI (F). Fonte: Elaboração própria.

Solos com textura arenosa possuem níveis de nutrientes comumente encontrados abaixo do necessário para o completo desenvolvimento das plantas (TAHIR; MARSCHNER, 2017). Em contrapartida, os atributos físicos e químicos do solo argiloso contribuem para uma maior produtividade, por possuir maior microporosidade e

capacidade de troca catiônica, o que aumenta a retenção de água e nutrientes, possibilitando melhor desenvolvimento da cultura (CECCON, et al., 2018).

Os valores da CE encontrados variam de 160 a 220 $\mu\text{S cm}^{-2}$, e trata-se de uma medida frequentemente utilizadas para avaliar a concentração de sais dissolvidos no solo (FRANCISCO et al., 2015). Quanto resistência à penetração foram observados valores entre 3,25 e 4,75 Mpa, e é o fator que mais afeta o crescimento radicular das plantas e, por consequência, a produtividade (COLLARES et al., 2006). Quanto maiores os valores do NDVI, maiores as diferenças entre a reflectância do infravermelho com o vermelho, o que indica maior quantidade de clorofila e matéria seca e, consequentemente, maior o potencial produtivo da planta (RISSINI et al., 2015). Todos estes atributos, contribuíram para a elaboração do mapa das ZM.

As zonas homogêneas (ZH) foram definidas a partir dos atributos altitude, areia, argila, CE, RP e NDVI. Na literatura é encontrada a sua definição a partir de atributos como areia e argila (SANTOS et al., 2017), condutividade elétrica aparente do solo e matéria orgânica (ALVES et al., 2013), altitude e atributos de solo (MELO et al., 2017) e produtividade (UMBELINO et al., 2018). A definição de ZH permitiu diferenciar o talhão em três regiões ou zonas (Figura 3), sendo estas indicadoras de alto potencial (vermelho), médio potencial (verde) e baixo potencial produtivo (creme). De acordo com o mapa das ZH, há maior semelhança com os atributos CE, RP e NDVI (Figuras 2C; 2D e 2F), atributos utilizados na sua definição (Figura 3).

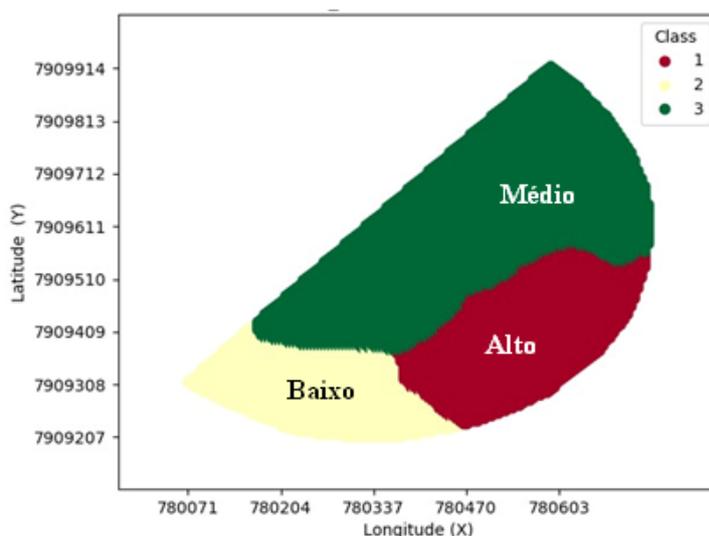


Figura 3. Mapa de zonas homogêneas. Destaque para as zonas de alto potencial (vermelho), médio potencial (verde) e baixo potencial produtivo (creme). Fonte: Elaboração própria.

A validação das zonas homogêneas considerou a relação dos atributos biofísicos do sorgo e produtividade para cada uma das ZH definidas (Tabela 2; Figura 3). Houve significância estatística entre as ZH para os atributos de sorgo e produtividade, o que estaria indicando a correta definição das ZH a partir do SMP (Tabela 2).

Baixo CV% ($CV < 10$) (GOMES, 2000) foi evidenciado para os atributos altura de planta e comprimento de panícula (Tabela 2). Para o atributo produtividade - PROD, foi encontrado alto CV% ($CV > 20$), o que reflete a ocorrência de geada no local no período do enchimento dos grãos. O fenômeno impactou as menores cotas do talhão (Figura 2E), afetando às amostras coletadas nessa porção da área. Cabe ressaltar que a definição das ZH foi realizada com dados coletados em tempo anterior ao acontecimento do fenômeno.

Tabela 2. Valores médios dos atributos biofísicos do sorgo e produtividade para as zonas homogêneas. Uberlândia-MG, 2022.

ZONAS	APLA ¹	COMP	PPA	PROD
Baixo	74,25 c	18,55 b	350,24 b	1215,62 b
Médio	84,23 b	18,53 b	331,35 b	931,24 b
Alto	88,28 a	20,30 a	507,44 a	2700,65 a
CV (%)	3,49	5,09	18,76	24,79

¹APLA: altura de planta, cm; COMP: comprimento de panícula, cm; PPA: peso de parte aérea sem grãos, g; PROD: produtividade a 13% de umidade, kg ha⁻¹; CV: coeficiente de variação, %. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste T.

Assim sendo, as amostras de produtividade coletadas na ZH indicada como de alto potencial, foram diferentes estatisticamente das obtidas nas ZH de médio e baixo potencial. O mesmo padrão foi observado para o comprimento de panícula - COMP e o peso da parte aérea, desconsiderando os grãos - PPA (Tabela 2), o que pode ser explicado pela influência direta desses atributos no dreno de fotoassimilados para os grãos. Por sua vez, a altura total de plantas - APLA foi definida em estágio prévio à geada, motivo pelo evidenciou as diferenças já visualizadas na definição das ZH.

Desta maneira é possível realizar diferentes manejos nas ZH, como no trabalho de Nunes (2021), onde ZH de diferentes potenciais produtivos apresentaram melhor resultado com diferentes densidades populacionais.

4 CONCLUSÃO

A partir de atributos de solo e índice de vegetação NDVI pode-se definir zonas homogêneas com diferentes potenciais produtivos.

É possível relacionar a resposta de atributos biofísicos do sorgo ao potencial produtivo do talhão, definido a partir das zonas homogêneas.

REFERÊNCIAS

ALBORNOZ, V. M.; ÑANCO, L. J.; SÁEZ, J. L. Delineating robust rectangular management zones based on column generation algorithm. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 161, p. 194–201, 2019.

ALVES, S. M. de F.; ALCÂNTARA, G. R. de; REIS, E. F. dos; QUEIROZ, D. M. de; MAGALHÃES, D. S. Definição de zonas de manejo a partir de mapas de condutividade elétrica e matéria orgânica. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29, n.1, p.104-114, jan./fev. 2013.

BAZZI, C. L.; DE SOUZA, E. G.; SCHENATTO, K.; BETZEK, N. M.; GAVIOLI, A. A software for the delineation of crop management zones (SDUM). **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 1, p. 26–34, 2019.

BERTOLANI, F. C.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. Viçosa, MG: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2001. v. 25, n. 4, p. 987-995. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218240021>. Acesso em: 10 de janeiro de 2022.

CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Condutividade elétrica e crescimento do milho em solos contrastantes sob aplicação de diversos níveis de calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.51, p.1762-1772, 2016.

CECCON, G.; SILVA, J. F.; MAKINO, P. A.; LUIZ NETO NETO, A. Consórcio milho-braquiária com densidades populacionais da forrageira no centro-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 1, p. 157-167, 2018.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1663-1674, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos safra 2017/18, nono levantamento**. Brasília, DF, v. 5, n. 9, 2018. 178p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo segundo levantamento, agosto 2021**. Brasília: CONAB, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos> . Acesso em: 28 de fevereiro de 2022.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v.46, p.11-43, 2005.

DAMIAN, J. M.; PIAS, O. H. C.; CHERUBIN, M. R.; FONSECA, A. Z.; FORNARI, E. Z.; SANTI, A. L. Applying the NDVI from satellite images in delimiting management zones for annual crops. **Scientia Agricola**, v. 77, n. 1, p. 1–11, 2020.

FERNANDES, P. B.; THEODORO, G. F.; GURGEL, A. L. C.; COSTA, C. M.; COSTA, A. B. G.; SANTANA, J. C. S.; SILVA, M. G. P.; BOMFIM, L. N. Aspectos relacionados ao potencial forrageiro do sorgo: Revisão. **PUBVET**, v. 14, p. 119, 2020.

FRANCISCO, J. P.; FOLEGATTI, M. V.; DA SILVA, L. D. B.; SILVA, J. G. B. Monitoramento da condutividade elétrica e pH da solução do solo sob diferentes doses de aplicação de vinhaça. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 23, n. 6, p. 552-561, 2015.

GANDHI, G. M.; PARTHIBAN, S.; THUMMALU, N.; CHRISTY, A. NDVI: vegetation change detection using remote sensing and Gis: a case study of vellore district. **Procedia Computer Science**, v. 57, p. 1199–1210, 2015.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Degaspari, 2000.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 2, p. 204-214, 2013.

MELO, B. M. R. de.; PAGLIS, C. M.; OLIVEIRA, M. S. de.; TEIXEIRA, M. B. R.; SILVA, J. S. M. da.; LIMA, D. F. F. Zonas de manejo em função de propriedades de solo, relevo e produtividade da lavoura cafeeira. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v.9, n.2, p.1, 2017.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. 1 ed. São Paulo: Oficina de textos, p. 119 – 131, 2015.

NUNES, J. N. **Produtividade e qualidade de sementes de soja em diferentes zonas de manejo e densidade de plantio**. Trabalho de Conclusão de Curso em Agronomia - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia – MG, p.26. 2021.

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System**. OpenSource Geospatial Foundation Project. 2015.

REGHINI, F. L.; CAVICHIOLI, F. A. UTILIZAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO NA AGRICULTURA DE PRECISÃO. **Revista Interface Tecnológica, [S. l.]**, v. 17, n. 1, p. 329-339, 2020.

RISSINI, A. L. L.; KAWAKAMI, J.; GENÚ, A. M. Índice de vegetação por diferença normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1703-1713, 2015.

ROSA, Helton Aparecido. **Sensoriamento remoto orbital e não orbital no delineamento de zonas de manejo para agricultura de precisão**. 2021. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR.

SANTOS, F. S. **Seleção de variáveis e definição de zonas de manejo para agricultura de precisão**. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

SILVA, D. F.; GARCIA, P. H. M.; SANTOS, G. C. L.; FARIAS, I. M. S. C.; PÁDUA, G. V. G.; PEREIRA, P. H. B.; SILVA, F. E.; BATISTA, R. F.; GONZAGA NETO, S.; CABRAL, A. M. D. Características morfológicas, melhoramento genético e densidade de plantio das culturas do sorgo e do milho: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e12310313172-e12310313172, 2021.

SOUZA, G. S.; XAVIER, A. C.; ROCHA, W. S. D. Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na espacialização de atributos químicos de um argissolo. **Scientia Agraria**, v.11, p.73-81, 2010.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. Brasília, DF: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, maio 2004. v. 39, n. 5, p. 491-499. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000500012>. Acesso em: 06 de janeiro de 2022.

TAHIR, S.; MARSCHNER, P. Clay addition to sandy soil reduces nutrient leaching—effect of clay concentration and ped size. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 48, n. 15, p. 1813-1821, 2017.

UMBELINO, A. da S.; OLIVEIRA, D. G. de; MARTINS, M. P. de O.; REIS, E. F. dos. Definições de zona de manejo para soja de alta produtividade. **Rev. de Ciências Agrárias**, v.41, n.3. Lisboa set. 2018.

ZANZARINI, F. V.; PISSARRA, T. C. T.; BRANDÃO, F. J. C.; TEIXEIRA, D. D. B. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 608–614, 2013.