Deteção Remota e Análise de Imagem

Trabalho prático

Estudo de 2 pivots de rega em culturas de milho através de análise e processamento de imagens de Sentinel 2

NDVI, relação com produtividade e consumo de água

Professora Maria da Graça Brito

Simão Correia, 59223

Fernando Gheiner, 57236

Capítulo 1. Introdução e objetivos

Pretendeu-se com este trabalho realizar um estudo sobre a produção de milho no Alentejo, com base na análise espácio-temporal de imagens satélite do Sentinel 2, desde 03 de julho a 30 dezembro de 2020 para a avaliação do estado da produção do milho em grão por regadio.

As origens da planta do milho remontam há pelo menos 5000 anos atrás na América do Sul e Central, porém só após os descobrimentos, esta se estabeleceu como uma cultura importante para a alimentação humana e animal (Duarte, Mattoso, & Garcia, 2020).

O milho constitui, atualmente, uma das mais importantes culturas arvenses. Quer associada à produção de silagem, quer à produção de grão, a cultura do milho afirma-se hoje como um dos casos demonstrativos das potencialidades produtivas da agricultura de regadio, gerando importantes contributos para a vitalidade da economia nacional e mundial, tendo sido produzidas 853 milhões de toneladas a nível mundial no ano de 2012 (Eng. Luís de Vasconcellos e Souza, Presidente da Anpromis, 2015). Em 2018 Portugal exportou cerca de 270 mil toneladas de milho com o valor de cerca de 50 milhões de euros (Governo da República Portuguesa, 2020). Contudo, Portugal é historicamente dependente da importação de milho. Se em 1989 os níveis de autoaprovisionamento eram de 45%, a diminuição da produção e o aumento do consumo conduziram a um valor atual particularmente baixo (cerca de 31%). O milho grão ocupava, no final dos anos 80, mais de 200 mil ha, diminuindo para cerca de 90 mil ha em 2016. Porém com os avanços tecnológicos e também novas disponibilidades hídricas conseguiu-se que a produtividade alentejana atingisse 13 ton/ha (GPP - Administração Geral, 2018) (Luís Souto Barreiros, 2018). A importância de ações governativas também são de destacar para se ter alcançado tal produtividade, destaca-se a Lei da água (Lei n.º 58/2005) que assegura a transposição da diretiva Europeia, estabelecendo as bases para a gestão sustentável dos recursos hídricos e o despacho normativo n.º 2/2010 que estabelece, entre outras, medidas de apoio específico à melhoria da qualidade dos produtos agrícolas de forma sustentável (Associação Nacional de Produtores de Milho e Sorgo, Legislação, 2021).

As sementeiras de milho iniciam-se no final do Inverno, alongando-se por toda a Primavera, já a colheita ocorre durante os meses de verão. O regadio surge como a única forma de ultrapassar as condições edafoclimáticas do nosso país, como a característica da irregularidade pluviométrica (muita no inverno e pouca no verão). Tirando proveito da boa insolação que o país dispõe, na verdade o milho é a cultura mais regada em Portugal. A cultura do milho é sensível ao stress hídrico, se ocorrer “stress” durante o período de floração, o número de flores por espiga diminui, dando origem a um menor número de grãos por m^2. Ao ocorrer “stress” mais tarde, na fase de enchimento do grão, o peso médio do grão diminui.

As necessidades de água da cultura do milho dependem das condições climáticas e o seu fornecimento deve ser planeado de modo a valorizar ao máximo os recursos de água disponíveis. Um regadio bem conduzido melhora a eficiência da adubação azotada, permitindo produtividades ao nível do esperado. No entanto, uma má gestão da rega pode implicar riscos em relação à utilização do azoto, inerente à lixiviação e perdas por escorrimento, podendo assim o nível de produtividade ser menor do que o esperado. Deste modo, o equipamento de rega terá de estar dimensionado de acordo com as necessidades da cultura e adaptado a outras condicionantes ligadas ao solo e ao clima em questão (Associação Nacional de Produtores de Milho e Sorgo, O Milho, 2021).

O presente trabalho teve como caso de estudo a comparação de 2 pivots de rega em Ferreira do Alentejo, onde com imagens obtidas pelo Sentinel 2 desde 03 de julho a 30 de dezembro foi possível determinar o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e acompanhar a sua evolução ao longo do tempo. O NVDI varia entre -1 e 1, sendo que valores próximos de 1 evidenciam uma forte refletância espectral da clorofila, significando, portanto, que as plantas

estão em boas condições produtivas. Por outro lado, valores mais baixos significam que a presença de vegetação é muito baixa ou que não está em boas condições de produtividade, podendo estar em carência de algum nutriente, sob uma infestação ou com baixos níveis de água disponível. Valores próximos de 0 estão associados a solos expostos (sem cobertura), pois o nível de refletância na zona do vermelho é muito semelhante ao da zona do infravermelho próximo. Valores negativos de NVDI estão associados a massas de água, neve ou nuvens devido à alta refletância na zona do vermelho comparativamente à zona do infravermelho próximo.

Com esta análise dos NDVI, do seu desvio padrão ao longo do tempo e também das necessidades de rega para a zona de Ferreira do Alentejo, conseguiu-se tirar conclusões sobre:

(i) Estimativa da produção de cada pivot;

(ii) Pivot de maior produção potencial;

(iii) Pivot mais homogéneo e qual a média do vigor em cada pivot nas últimas 8 semanas de cultura;

(iv) Eventuais anomalias no crescimento da cultura;

(v) Data provável da colheita (semana);

(vi) Estimativa do volume de água usado para rega na campanha de 2020 e uma estimativa de quantos litros de água são necessários para produzir um quilo de milho.

.

.

Capítulo 2. Metodologia de análise

Com recurso ao ArcGis Pro, descarregaram-se as imagens do Sentinel 2 para o projeto e definiram-se os pivots a analisar na região de Ferreira do Alentejo, com a marcação de 2 áreas circulares na zona de atuação de cada pivot, como se verifica na figura 1.

Figura 1: Imagem de Sentinel 2 em Ferreira do Alentejo com os 2 pivots de estudo assinalados a preto, o maior, pivot 1 e o mais pequeno, pivot 2.

Com base no Boletim das Necessidades de rega para a Região do Alentejo para 2019 que se encontra na figura 12 em anexo, sabendo que o ciclo de cultivo tem cerca de 150 dias e, tendo em consideração a evolução da cultura nos pivots escolhidos ao longo do tempo, o período para análise dos pivots foi entre 03 de julho e 30 de dezembro de 2020.

Figura 2: Satélite Sentinel 2 em operação (Fletcher, 2012).

Os Sentinel-2a e 2B pertencem ao Programa GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*) conjuntamente administrada pela Comunidade Europeia e a ESA (*European Spacial Agency*), para observação da Terra formam uma missão imageadora multiespectral. Realizando coleta de dados sobre a vegetação, solos, humidade, rios, áreas costeiras e dados para correção atmosférica (absorção e distorção) em alta resolução (10 m). Com alta capacidade de revisita (5 dias), para garantir a continuidade dos dados fornecidos pelo SPOT 5 e Landsat 7, o Sentinel 2 está operacional desde 2015 e encontra-se atualmente em operação. Sem capacidade de estereoscopia, este satélite tem uma precisão de localização de 20m de erro circular e uma resolução radiométrica de 12 bits, garantindo assim uma alta qualidade na performance radiométrica (Fletcher, 2012).

Resolução	Nr da Banda	Nome da Banda	Comprimento de Onda Central (nanômetro)	Combinações de Bandas
10 m	B02	Blue (Azul)	490	Cor Verdadeira RGB 04/03/02 Falsa Cor 1 e 2 RGB 08/04/03 e 04/08/03
	B03	Green (Verde)	560	
	B04	Red (Vermelho)	665	
	B08	NIR (Infravermelho Próximo)	842	
20 m	B05	Red Edge 1	705	SWIR 1 RGB 12/11/8A
	B06	Red Edge 2	740	
	B07	Red Edge 3	783	
	B08A	Red Edge 4	865	
	B11	SWIR 1	1610	
	B12	SWIR 2	2190	
60 m	B01	Aerossol	443	–
	B09	Water Vapor	940	
	B10	Cirrus	1375	

Figura 3: Tabela informativa do Sentinel 2 acerca das resoluções espaciais e bandas espectrais correspondentes (Fletcher, 2012).

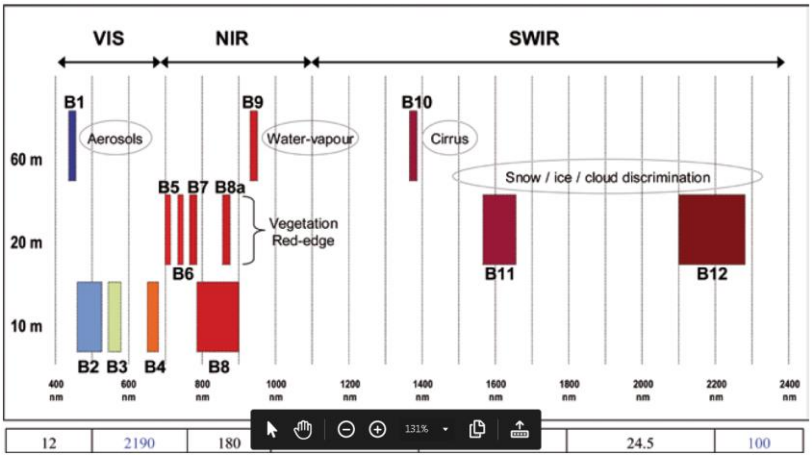

Figura 4: Bandas espectrais do Sentinel 2 e resoluções espectrais (Fletcher, 2012).

De forma a se poder comparar os NDVI de cada pivot ao longo do tempo, obteve-se primeiramente os valores de NDVI para cada imagem temporal do Sentinel, recorrendo ao template de processamento, NDVI. Com recurso à ferramenta *zonal statistics,* determinaram-se os NDVI médios, bem como seu desvio padrão e a área de cada pivot para cada imagem do Sentinel 2.

3. Apresentação de resultados

Durante a análise das imagens, verificou-se rapidamente que os 2 pivots tiveram colheitas em períodos diferentes. Importantes estudos sobre a biomassa e produtividade de milho irrigado por meio de NDVI, mostram que os valores médios de NDVI para a altura de sementeira e colheita são 0,26 e 0,38 respetivamente, permitindo assim com recurso às nossas imagens estimar a altura ótima para a colheita e sementeira (Venancio, 2019). A tabela 1 mostra os resultados obtidos pelo Arcgis Pro para cada um dos pivots de rega. A área ocupada por cada pivot também é obtida pela ferramenta zonal statistics do software, onde o pivot 1 ocupa 85,4 ha e o pivot 2 ocupa 45,6 ha.

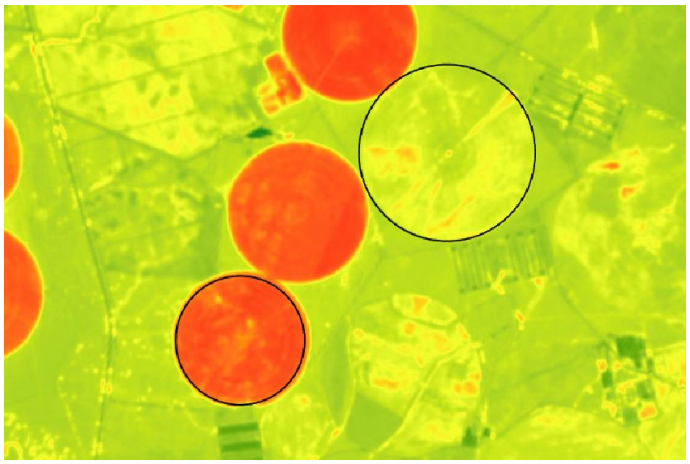

Figura 5: Imagem do Sentinel 2 de 23 de julho de 2020, processada para obter valores de NDVI. Pivot 1 em fase inicial de ciclo, distinta de pivot 2 que apresenta alto vigor.

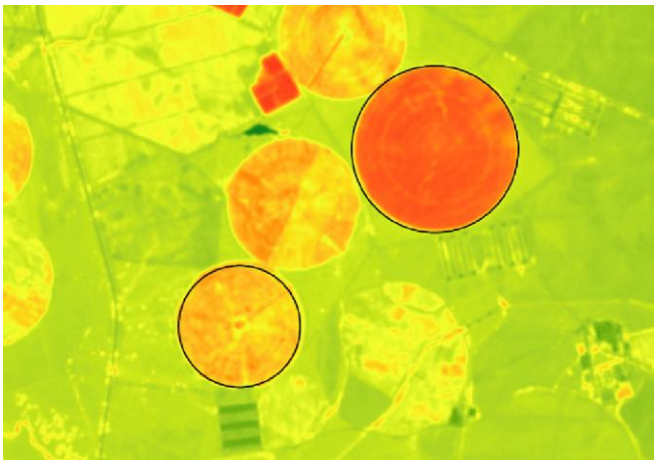

Figura 6: Imagem do Sentinel 2 de 06 de setembro de 2020, processada para obter valores de NDVI. Pivot 1 em fase de maior vigor, distinta de pivot 2 que encontra próximo da colheita.

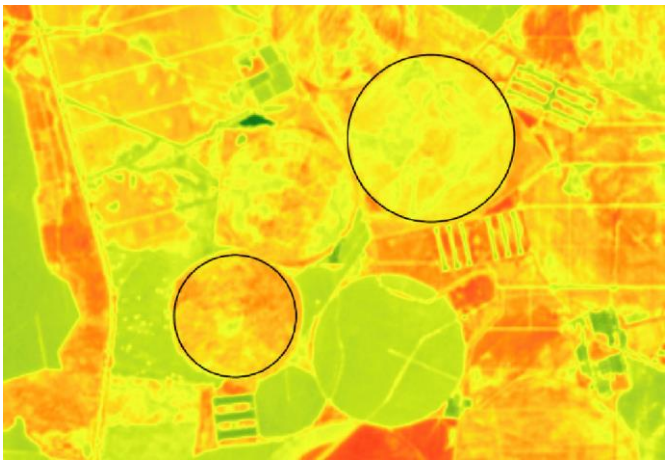

Figura 7: Imagem do Sentinel 2 de 20 de novembro de 2020, processada para obter valores de NDVI. Pivot 1 após colheita, distinto de pivot 2 com início de uma possível cultura de inverno..

Tabela 1: Resultados obtidos pelo Arcgis Pro, pela ferramenta zonal statistics. NDVI e desvio padrão para pivot 1 e 2.

Data	NDVI_Pivot 1	Desvio padrão NDVI_Pivot 1	NDVI_Pivot2	Desvio padrão NDVI_Pivot 2
03-jul	0,15	0,021	0,75	0,064
23-jul	0,25	0,051	0,72	0,041
17-ago	0,68	0,091	0,59	0,11
06-set	0,69	0,088	0,45	0,063
21-set	0,65	0,071	0,3	0,057
11-out	0,7	0,084	0,25	0,037
20-nov	0,3	0,056	0,45	0,067
30-dez	0,23	0,06	0,47	0,19

Com base nos resultados da tabela 1, obteve-se gráficos da evolução do NDVI e seu desvio padrão ao longo do tempo que estão em anexo. O pivot 1 atinge o valor de NDVI máximo de 0,7 em 11 de outubro. Por sua vez, o pivot 2 apresenta o valor máximo de NDVI de 0,75 a 03 de

julho. Venancio et al, demonstraram que o NDVI tem um incremento bastante elevado até 100 DAS (Dias Após Sementeira), dando lugar a um decréscimo do seu valor após o florescimento e aparecimento de grãos. Em relação aos extremos, verifica-se valores superiores na fase final do ciclo comparativamente ao início, como mostra a figura 8.

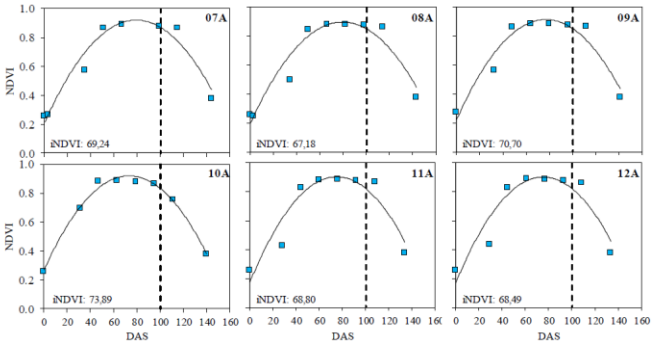

Figura 2. Curvas de desenvolvimento da cultura do milho, no oeste da Bahia, Brasil, baseadas no NDVI (NDVI vs. DAS) e NDVI acumulado até 100 DAS (iNDVI) para seis pivôs centrais na safra de 2014.

Figura 8: Curvas de desenvolvimento da cultura do milho no Brasil, baseadas em NDVI vs DAS. Cultura 2014 (Venancio, 2019).

Tendo por base o conhecimento científico já referido e analisando o gráfico da figura 10 em anexo, estima-se que a data para colheita do pivot 1 seria na semana de 11 de novembro e o pivot 2 na de 11 de Setembro de 2020, estando nesta fase o milho com uma cor amarelada ao olho humano e valor médio de NDVI de 0,4. Por usa vez, tendo em conta que o ciclo de cultivo é de 150 dias, as datas de sementeira para o pivot 1 e 2 são 11 de junho e 11 de abril de 2020 respetivamente.

Recentes estudos evidenciam a relação do NDVI com a produtividade do milho em diferentes estágios de cultivo, onde é percetível que existe uma relação de aumento da produtividade com o NDVI até certo ponto, como mostra o gráfico da figura 9 (Drum, et al.). Na verdade, não foi possível neste estudo comprovar a relação empírica deste gráfico devido ao facto de serem em regiões muito distintas do planeta com condições edafoclimáticas diferentes, mas também por não se conhecer efetivamente o local dos pivots em Ferreira do Alentejo, nem ter a certeza se a cultura em análise é efetivamente milho. Assim, é possível afirmar que o Pivot 2 por apresentar NDVI máximo ligeiramente superior ao do Pivot 1, tem um potencial de produtividade maior. Contudo para melhor análise, é conveniente olhar também para o desvio padrão que evidencia a homogeneidade da cultura se o valor do desvio padrão for baixo e a heterogeneidade da cultura se o valor do desvio padrão for elevado. Como tal, na figura 11 em anexo, verifica-se um pico acentuado no desvio padrão no pivot 2 a 17 de agosto, que corresponde à fase de floração e aparecimento do grão. Isto poderá representar o efeito de uma anomalia do cultivo, por falta de nutrientes, água, uma praga ou outra doença que possa ter impacto na produtividade. De forma similar, mas não tão acentuada, o pivot 1 também tem um pico no mesmo período, o que ainda dá mais força à hipótese de um fator externo ter afetado as culturas naquele período. Porém, no caso do pivot 1, por ter sido semeada mais tarde, esse fator externo não teve tanto impacto na heterogeneidade da cultura.

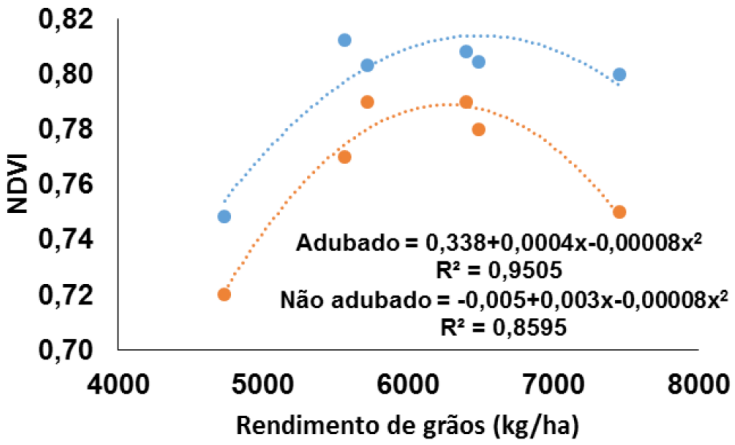

Figura 9: curvas com níveis de NDVI em função do rendimento de grãos em kg por hectare. Curvas de milho adubado e não adubado (Drum, et al.).

Relativamente às necessidades de rega, neste trabalho considerou-se que o consumo de água se manteve constante, apesar de em certos meses ter existido alguma pluviosidade em ambos os Pivots. Para efeitos de cálculo do consumo de água de cada pivot, utilizaram-se dados disponibilizados pelo Boletim de Necessidades de Rega na Região do Alentejo para 2019, onde para o pivot 1 foi considerado o valor referente a junho de 57 mm e para o pivot 2 o valor de 63 mm respetivo à segunda semana de abril. A tabela 2, indica os principais resultados obtidos com este trabalho, onde para o cálculo da produtividade típica no Alentejo se utilizou o valor fixo de 13 ton/ha. Verifica-se que o consumo de água por tonelada de milho obtida varia entre 939,6 e 1038,5 m^3/ton.

Tabela 2: Resumo de resultados obtidos. Consumo de água e produtividade

Pivot	Área [ha]	Consumo água [m^3]	Consumo água específico [m^3/ha]	Produtividade típica Alentejo [ton]	Consumo água vs produção [m^3/ton]	$NDVI_{máx}$
Pivot 1	85,4	1.043.465,2	12214	1110,6	939,6	0,70
Pivot 2	45,6	615.463,7	13500	592,7	1038,5	0,75

4. Conclusões

As imagens de satélite são uma boa ferramenta para analisar a evolução de produções agrícolas, permitindo determinar com boa precisão a melhor altura para colheita, mas também detetar antecipadamente efeitos de anomalias que possam surgir na cultura.

No caso de estudo em análise, o pivot 2 apresenta $NDVI_{máx}$ ligeiramente superior ao do pivot 1 e, como já referido, indica que tem maior potencial de produtividade. Porém, apresenta uma grande variabilidade na altura de floração e enchimento do grão, o que traz implicações para a produtividade. Por outro lado, o pivot 1 não apresenta uma heterogeneidade tão elevada na mesma fase de ciclo e também apresenta consumo mais baixo de água a cada tonelada de milho produzida. De forma a se tirar mais conclusões sobre o caso de estudo seria conveniente ter conhecimento mais aprofundado do local, certeza da cultura que foi semeada pois poderá até nem ser milho, utilizar boletim de rega para o ano de 2020, bem como ter em conta a precipitação ocorrida nesse ano, seriam considerações convenientes a ter em conta. Outras ferramentas de análise e processamento de imagem também poderiam ter sido utilizadas para verificar por exemplo a existência de água na região e em cada pivot. Para o estudo do pivot 2 teria sido conveniente também analisar imagens respetivas ao mês de junho para verificar a evolução dos níveis de NDVI e o seu desvio padrão logo após a sementeira. Um conhecimento *in loco* do território é também de se valorizar para uma análise profunda e mais detalhada, podendo com uma classificação supervisionada corrigir alguns detalhes como obstáculos ou irregularidades no terreno e presença de rochas. Sabendo neste caso que acarreta mais custos de trabalho laboral de deslocação e análise no local, acrescentado ao maior tempo de processamento e análise de dados.

Uma hipótese poderá ser colocada sobre o ligeiro aumento do NDVI médio no pivot 2 após a data de colheita selecionada, onde com crescimento contínuo atinge um valor médio máximo de 0,47 a 30 dezembro, mais de 3 meses depois da última colheita. Isto sugere que poderá ter existido uma segunda cultura, embora tenha existido uma alta heterogeneidade como mostra a variação do desvio padrão representada graficamente na figura 11 em anexo. Sendo que as datas de sementeira do milho não correspondem às do crescimento de NDVI para o pivot 2 no período de 09 de outubro a 30 de dezembro, certamente que a possível plantação não foi milho, mas uma pastagem ou outro cereal como centeio que se desenvolve em ambientes mais frios.

De salientar que apesar de não se ter conseguido neste trabalho, será de real interesse novos estudos que determinem uma relação entre o NDVI e a produtividade do milho, no sentido de se entender qual o NDVI ótimo para atingir a produtividade típica da região, ou de forma inversa determinar a produtividade esperada em relação ao NDVI. Para isto, uma homogeneidade na fertilização e técnicas de cultivo nas regiões, são fatores que beneficiam estas análises, pois estes fatores são agentes de grande impacto na capacidade produtiva de uma região.

5. Anexos

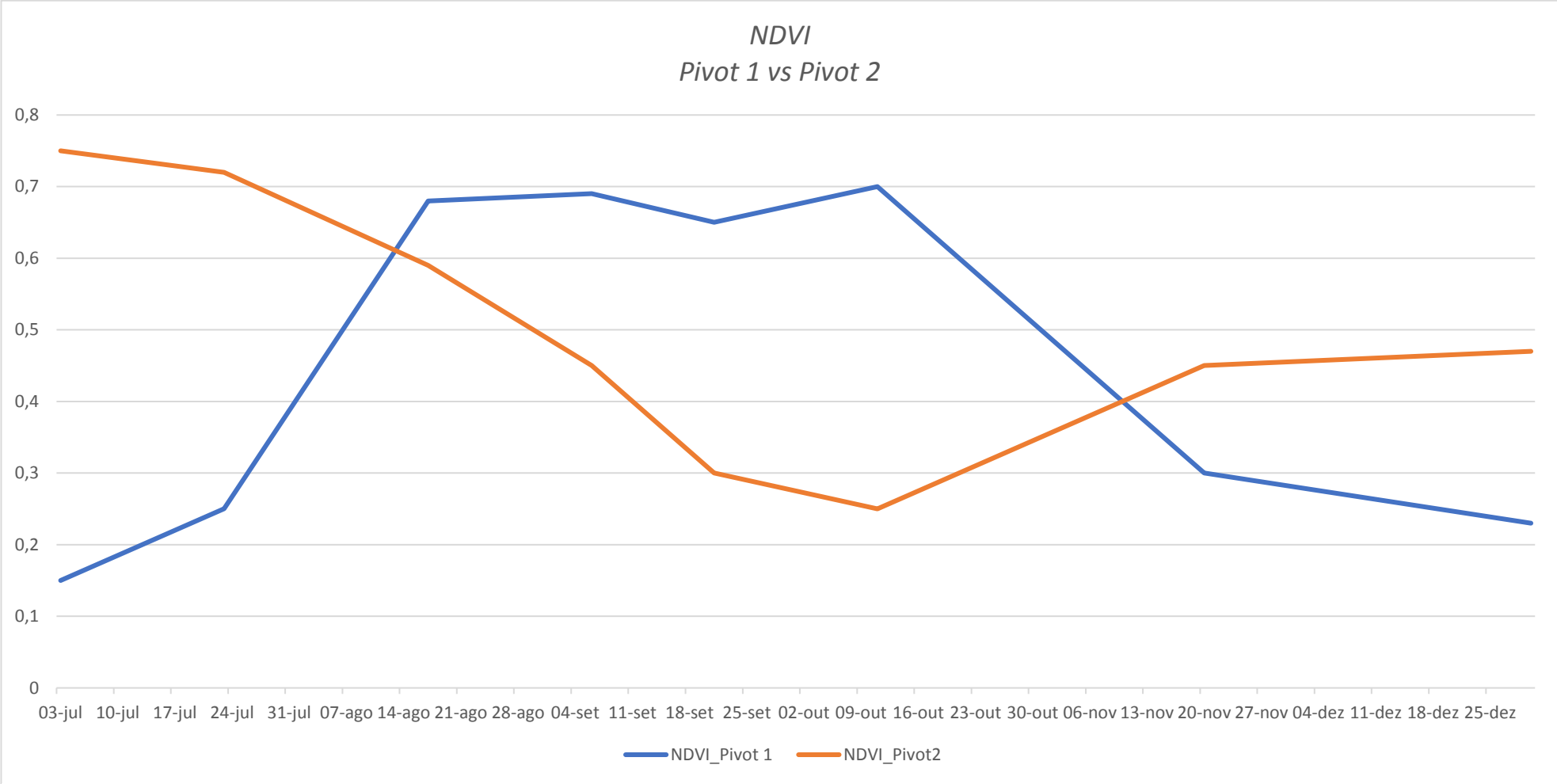

Figura 10: Gráfico obtido com a tabela 1. Níveis de NDVI em função do tempo.

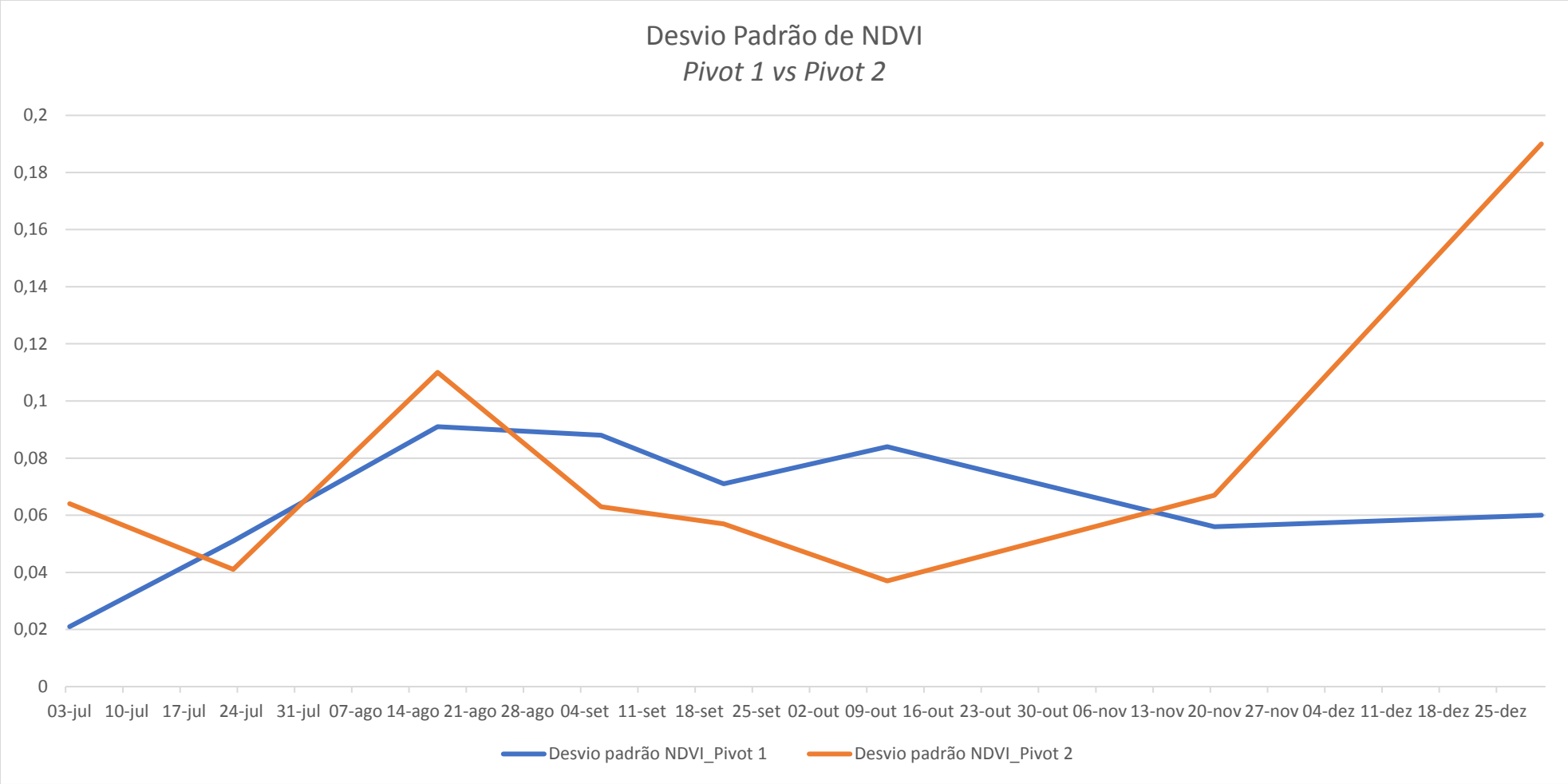

Figura 11: Gráfico do desvio padrão de NDVI para Pivot 1 e 2.

NOVMILHO
Centro Nacional de Competências das Culturas do Milho e Sorgo

Boletim das Necessidades de Rega do Milho
Região Alentejo
Semana 29-07-2019 a 04-08-2019

COTR
CENTRO DE COMPETÊNCIAS PARA O REGADIO NACIONAL

			Quantidade de água a aplicar semanalmente através do sistema de rega (mm) *Data de Sementeira*														
			01/04/2019			15/04/2019			01/05/2019			15/05/2019			01/06/2019		
Estação	ETo (mm)	P (mm)	Aspersão	Gota a Gota	Gravidade	Aspersão	Gota a Gota	Gravidade	Aspersão	Gota a Gota	Gravidade	Aspersão	Gota a Gota	Gravidade	Aspersão	Gota a Gota	Gravidade
Aljustrel	43,1	0,0	60	54	80	65	58	86	65	58	86	65	58	86	59	53	79
Alvalade do Sado	44,3	0,0	62	55	82	66	59	89	66	59	89	66	59	89	61	54	81
Beja	46,5	0,0	65	58	86	70	62	93	70	62	93	70	62	93	64	57	85
Elvas	49,7	0,0	69	62	92	75	66	99	75	66	99	75	66	99	68	61	91
Estremoz	39,0	0,0	54	48	73	59	52	78	59	52	78	59	52	78	54	48	72
Évora	44,8	0,0	46	41	62	50	44	67	50	44	67	50	44	67	46	41	61
Ferreira do Alentejo	41,8	0,0	58	52	78	63	56	84	63	56	84	63	56	84	57	51	77
Moura	41,2	0,0	57	51	77	62	55	82	62	55	82	62	55	82	57	50	76
Odemira	27,4	0,0	38	34	51	41	37	55	41	37	55	41	37	55	38	34	50
Redondo	45,8	0,0	64	57	85	69	61	92	69	61	92	69	61	92	63	56	84
Serpa	45,3	0,0	63	56	84	68	60	91	68	60	91	68	60	91	62	55	83
Viana do Alentejo	39,0	0,0	66	58	87	71	63	94	71	63	94	71	63	94	65	57	86
Vidigueira	44,8	0,0	62	55	83	67	60	90	67	60	90	67	60	90	62	55	82

Notas:

(1) Caso não tenha havido precipitação na sua exploração, deverá acrescentar a precipitação referida no quadro, à dotação de rega a aplicar.

(2) Para efeitos dos cálculos das necessidades de água a aplicar foram consideradas as seguintes eficiência de rega: Aspersão 80%, Gota a Gota 90% e Gravidade 60%. Em caso de dúvida, recomenda-se a avaliação do sistema de rega.

(3) ETo - Evapotranspiração de referência (mm) ; P - Precipitação ocorrida no período (mm).

(4) Para o cálculo da quantidade de água a aplicar, considera-se apenas 80% da precipitação ocorrida no período.

(5) Na determinação das necessidades em água considerou-se um ciclo cultural com uma duração de 150 dias.

Figura 12: Boletim de Necessidades de Rega do Milho na Região do Alentejo em2019

6. Bibliografia

[1]. GPP - Administração Geral. (2018). Sistemas Análise Informação Base Cereais. *Evolução da Superfície, Produção e Produtividades dos Cereais por Região 1986 -2016*

[2]. Associação Nacional de Produtores de Milho e Sorgo. (17 de 01 de 2021). *Legislação.* Obtido de anpromis.pt: http://www.anpromis.pt/legislacao-em-destaque.html

[3]. Associação Nacional de Produtores de Milho e Sorgo. (17 de 01 de 2021). *O Milho.* Obtido de anpromis.pt: http://www.anpromis.pt/o-milho.html

[4]. Drum, M., Vian, A., Bredemeier, C., Trentin, C., Silva, J., Giordano, C., & Santos, F. (s.d.). NDVI como ferramenta para ajustar a adubação nitrogenada na cultura do milho.

[5]. Duarte, J. d., Mattoso, M. J., & Garcia, J. C. (17 de 01 de 2020). *Árvore do conecimento Milho - Importância Socio-económica.* Obtido de agencia.cnptia.embrapa.br: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_8_168200511157.html

[6]. Eng. Luís de Vasconcellos e Souza, Presidente da Anpromis. (16 de 01 de 2015). *A produção de milho em Portugal.* Obtido de AgroNegocios.eu: http://www.agronegocios.eu/noticias/a-producao-de-milho-em-portugal/

[7]. Fletcher, K. (03 de 2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services*.

[8]. Governo da República Portuguesa. (20 de 02 de 2020). *Cultura do milho tem uma importância reconhecida pelo País e pelo Governo*. Obtido de portugal.gov.pt: https://www.portugal.gov.pt/pt/gc22/comunicacao/noticia?i=cultura-do-milho-tem-uma-importancia-reconhecida-pelo-pais-e-pelo-governo

[9]. Luís Souto Barreiros, G. d. (01 de 09 de 2018). *A cultura do milho.* Obtido de Agrotec: http://www.agrotec.pt/noticias/a-cultura-do-milho/

[10]. Venancio, L. &. (2019). Biomassa e produtividade de grãos na cultura do milho irrigado por meio do NDVI acumulado.