



TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM POMARES IRRIGADOS DE CITROS¹

E. C. Amendola², F. B. T. Hernandez³, A. H. C. Teixeira⁴

RESUMO: A temperatura possui grande influência em todos os estádios das culturas, por exercer papel determinante na umidade do solo, volatilização de adubos e defensivos agrícolas, crescimento da planta, aborto floral, sendo ainda fator limitante para a implantação de culturas em determinadas regiões. A temperatura de superfície é a energia radiante de um determinado alvo, podendo ser influenciada por cobertura, cor, textura e profundidade do solo, além do horário de medição. O objetivo deste trabalho foi determinar, com base em técnicas de sensoriamento remoto, a temperatura de superfície de cultivos de citros irrigados por gotejamento e pivô central em uma área comercial no Noroeste Paulista. Para tanto, utilizou-se imagem do satélite LandSat 8, processada em ambiente ArcGIS para a seleção e estimativa dos parâmetros temperatura de superfície e NDVI. Após o procedimento foram selecionados 11 polígonos de citros irrigados por cada sistema de irrigação com valores próximos de NDVI, afim de selecionar áreas com coberturas vegetais semelhantes e descartar possíveis interferências de solo exposto, diferentes idades de cultivo ou tratos culturais dentro da mesma fazenda. Em pomares adultos de citros sob pivô central a temperatura de superfície média foi de 23,3°C, enquanto que sob irrigação por gotejamento a temperatura média de 25,4°C. A diferença de 2,1°C pode indicar que o tipo de sistema de irrigação pode influenciar na temperatura de superfície do dossel das plantas.

PALAVRAS-CHAVE: NDVI, citros, irrigação, sistema de irrigação

SURFACE TEMPERATURE IN IRRIGATED CITRUS ORCHARDS

ABSTRACT: The temperature has a great influence in all the stages of the crops, because it plays a determinant role in soil moisture, volatilization of fertilizers and agricultural pesticides, plant growth, floral abortion, being a limiting factor for the implantation of crops in certain regions. The surface temperature is the radiant energy of a given target, and can be influenced

¹ Apoio financeiro da FAPESP Processo 2.009/52.467-4

² Engenheira Agrônoma, Mestranda em Sistemas de Produção Vegetal na UNESP Ilha Solteira e Bolsista CAPES, Passeio Monção, 1041, CEP: 15385-000. Ilha Solteira - São Paulo. Fone: +55 (19) 98211-2366. Email: emanoel.amendola@gmail.com

³ Professor Titular, Departamento de Fitossanidades, Engenharia Rural e Solos. UNESP, Ilha Solteira - SP.

⁴ Pesquisador do CNPq e da Embrapa Monitoramento por Satélite. Campinas - SP.

by the coverage, color, texture and depth of the soil, and the measurement time. The objective of this work was to determine, based on remote sensing techniques, the surface temperature of citrus crops irrigated by drip irrigation and central pivot in a commercial area in Northwest of São Paulo state. In order to do so, we used an image of the LandSat 8 satellite, processed in ArcGIS environment for the selection and estimation of the parameters surface temperature and NDVI. After the procedure, 11 citrus polygons irrigated by each irrigation system with values close to NDVI were selected, in order to select areas with similar vegetation cover and to discard possible interferences of exposed soil, different ages of cultivation or cultural treatments within the same farm. In citrus adult orchards under central pivot the average surface temperature was 23.3°C, whereas under drip irrigation the average temperature was 25.4°C. The difference of 2.1°C may indicate that the type of irrigation system may influence the canopy surface temperature of the plants.

KEYWORDS: NDVI, citrus, irrigation, irrigation systems

INTRODUÇÃO

Segundo o IBGE (2016), a produção citrícola do Brasil em 2015 foi de 18,9 milhões de toneladas, o que gerou aproximadamente um valor de produção de R\$ 18,3 bilhões, respondendo por 2,7% da PIB agrícola nacional, entre Limão, Tangerinas e a Laranja, sendo 16.746.247 toneladas em 665.174 hectares apenas da última cultura, resultando em uma produtividade média de 25 toneladas por hectare. A citricultura emprega aproximadamente 200 mil pessoas no país. Em 2015 o estado de São Paulo representou aproximadamente 73,3% da produção nacional de laranjas.

Segundo o FUNDECITRUS (2016), o cinturão citrícola, representado pelo Estado de São Paulo e o Sul e Sudoeste de Minas Gerais, possui 416.703 hectares de laranja plantadas, sendo 99.214 hectares irrigados (24,6% do total), onde o método de irrigação localizada representa 88,3% e a aspersão apenas 11,7%. No Noroeste do Estado de São Paulo - representado pelas regiões de São José do Rio Preto e Votuporanga - região objeto desta pesquisa - foram identificados 20.341 hectares plantados, sendo 5.212 (14%) irrigados.

A temperatura exerce um papel determinante na produtividade e qualidade dos frutos cítricos, e assim torna-se um dos principais fatores climáticos da produção. Segundo Sentelhas (2005), nas regiões de clima tropical úmido - caso desta propriedade - onde a amplitude térmica é baixa os frutos tendem a ser maiores e mais caldalosos, entretanto com menores teores de

sólidos solúveis e concentração de ácidos. Em pomares cuja temperaturas chegam a 40°C ou mais, ocorrem injúrias tanto em frutos como folhas e outros tecidos. O autor ainda destaca que estes são problemas frequentes em países com grande potencial produtivo de citros como Estados Unidos da América, Espanha e Israel.

A temperatura do solo pode ser influenciada pela localização geográfica, declividade, umidade, práticas de manejo, tipos de solos, estrutura do pomar, disponibilidade de energia solar e cobertura vegetal (SENTELHAS, 2005), assim, para análise da temperatura de superfície torna-se importante selecionar áreas com cobertura vegetal semelhantes.

O NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index* (índice de vegetação por diferença normalizada), é amplamente utilizado na agricultura, e permite, avaliar a variação da área verde (KNIES, 2010). O NDVI possui a vantagem de poder ser analisado por meio da interpretação de imagens de satélite.

O objetivo deste trabalho foi determinar, com base em técnicas de sensoriamento remoto, a temperatura de superfície de cultivos de citros irrigados por gotejamento e pivô central em uma área comercial no Noroeste Paulista.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado com base em uma propriedade produtora de citros destinados ao mercado de mesa, localizada no município de Rubinéia - SP (Figura 1). O clima na região de acordo com a classificação de Köppen é o Aw, caracterizado pelo verão seco. Segundo Alvares et al. (2013), que estudou as médias anuais para o Brasil, a temperatura varia de 22 a 24°C e a precipitação de 1000 a 1300 mm, valores próximos ao determinado por Hernandez et al. (1995) em pesquisa na região alvo.

A imagem utilizada foi da data de 13 de agosto de 2016, adquiridas do satélite *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM, Landsat 8) na órbita 222 e ponto 74, fornecidas ao público de forma gratuita na página do *U.S. Geological Survey* (www.usgs.gov), sendo requerido apenas um cadastro para poder obter as imagens de nível 1, no formato *.GeoTIFF (TIF).

A metodologia utilizada foi segundo a sugerida pelo *U.S. Geological Survey* (<http://www.usgs.gov>), a de Chander et al. (2009) e a de Vanhellemont e Ruddick (2014) para as calibrações radiométricas e atmosféricas. Todos os processamentos (Figura 2) feitos nas imagens foram realizados no software ArcGIS® (ArcMap™), que na função *raster calculator* possibilitou os cálculos dos dados no formato matricial. Antes de utilizar as imagens, fez-se correções geométricas, calibrações radiométricas e atmosféricas.

Para os cálculos de obtenção do NDVI foi utilizada a seguinte equação:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (1)$$

Onde:

NDVI = Índice de vegetação por diferença normalizada

ρ_{NIR} = Valor de radiância do Infra Vermelho próximo

ρ_R = Valor de radiância do Vermelho

Foram selecionados 11 polígonos com números semelhantes de NDVI para cada sistema de irrigação (pivô central e gotejamento) e assim foram aplicadas as seguintes equações para obtenção da radiância (Equação 2) e da temperatura de superfície (Equação 3):

$$L_\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

$$T_{bri} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

Onde:

L_λ = valor de radiância espectral no topo da atmosfera (TOA)

M_L = fator multiplicativo de escala específica por banda

Q_{cal} = produto padrão quantificado e calibrado para valores de pixel (DN)

A_L = fator aditivo de escalado específica por banda

T_{bri} = temperatura de brilho (topo da atmosfera), em graus Kelvin

K_1 = constante de conversão térmica K_1 para cada banda

K_2 = constante de conversão térmica K_2 para cada banda

Para a temperatura no topo da atmosfera, foi considerado o valor médio das bandas 10 e 11, conforme metodologia de TEIXEIRA et al. (2015).

$$T_0 = (1,0694 T_{bri} - 20,173) - 273,15 \quad (4)$$

Onde:

T_0 = temperatura de superfície (°C)

T_{bri} = temperatura de brilho (topo da atmosfera = °K)

A temperatura de superfície foi obtida segundo Teixeira et al. (2009) em que 1,0694 e -20,173 são coeficientes de regressão e subtraídos 273,15 para converter a temperatura em graus Celsius.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar os valores de NDVI e temperatura de superfície nota-se um comportamento inversamente proporcional, ou seja, quanto maior o NDVI, menor a temperatura de superfície, indicando que a cobertura vegetal do solo exerce influência na temperatura. Tal relação obteve o coeficiente de determinação (R^2) de 0,8188, considerado alto (Figura 3). A informação corrobora com o encontrado por Amendola et al. (2015), que detectaram uma diferença de até 10°C entre solos com cobertura vegetal e solos descobertos no noroeste de São Paulo.

A grande variação no NDVI dentre os talhões irrigados por gotejamento pode ter sido causada tanto por diferentes idades dentro dos mesmos no pomar (menor área de recobrimento do solo) ou ainda pelas características dos dois sistemas de irrigação, uma vez que o pivô central (aspersão) irriga também as entrelinhas, simulando a chuva, enquanto o gotejamento (localizada) irriga apenas a zona radicular das plantas e, assim, a menor umidade na entrelinha pode ter causado as maiores variações dentre os polígonos no gotejamento de 0,195 a 0,378, enquanto que no pivô central a variação foi entre 0,369 a 0,406. Essa afirmação corrobora com Lopes et al. (2011) que afirmam que o índice de umidade do solo indica uma relação direta com a densidade de vegetação relacionada com o NDVI. A diferença de vegetação e localização dos polígonos na propriedade rural são expressos na Figura 1.

A temperatura de superfície mensurada nos talhões de citros irrigados por gotejamento variou de 23°C até 29,8°C (média de 25,1°C) coincidindo com os locais de menores e maiores valores de NDVI, respectivamente. O coeficiente de determinação entre temperatura de superfície e NDVI foi de 0,8244. Nos setores irrigados por pivô central a temperatura de superfície variou de 22,8°C a 24,0°C (média de 23,3°C) vale salientar aqui que foram selecionados 11 polígonos adultos (que já tiveram ao menos um ciclo produtivo). O coeficiente de determinação entre NDVI e temperatura de superfície foi de 0,3646, relativamente baixo, indicando que a cobertura vegetal não exerceu grande influência sobre a variação de temperatura entre polígonos.

CONCLUSÕES

A diferença entre as médias de temperatura de superfície entre os sistemas de irrigação pivô central e gotejamento foi de 1,8°C, sendo as mesmas de 23,3°C e 25,1°C respectivamente.

A metodologia utilizada no trabalho mostrou-se adequada e de fácil aplicabilidade e é ainda sugerido, como trabalho futuro, a correlação entre a umidade física do solo e os valores de NDVI e ainda a avaliação da influência da interação entre a temperatura de superfície e o reservatório da usina hidroelétrica de Ilha Solteira, caso ocorra.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UNESP Ilha Solteira e a Coordenadoria de Aperfeiçoamento da (CAPES) pela Bolsa de Estudos concedida a primeira autora e a FAPESP pelo apoio financeiro na implantação da Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista (Processo 2.009/52.467-4).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s.l.], v.22, n.6, p.711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. [Http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507](http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507). Disponível em: <http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf>. Acesso em 21 de junho de 2017.

AMENDOLA, E.C.; NUÑEZ, D.N.C.; HERNANDEZ, F.B.T. Variabilidade espacial da temperatura superficial de ecossistemas sensíveis. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

CHANDER, G.; MARKHAM, B.L.; HELDER, D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 113, n. 5, p. 893-903, 2009.

FUNDECITRUS - FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA. Inventário de árvores e estimativa da safra de laranja do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro 2016/2017. Araraquara - SP: Fundecitrus, 2016. 25 p.

HERNANDEZ, F.B.T.; LEMOS FILHO, M.A.F.; BUZETTI, S. **Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira**. Ilha Solteira, FEIS/UNESP, 1995, 45 p. (Série irrigação, v.1).

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção agrícola municipal 2015. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: < <http://cidades.ibge.gov.br/> >. Acesso em 21 de junho de 2017.

SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia dos citros. In: Citros. 1 ed. Campinas - SP. Instituto Agrônomo/FUNDAG. 2005, v.1, p. 317 - 344.

TEIXEIRA, A.H.C.; BASTIAANSSEN, W.G.M.; AHMAD, M.D.; BOS, M.G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil. Part A: calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.149, p.462-476, 2009.

TEIXEIRA, A.H.C.; LEIVAS, J.F.; ANDRADE, R.G.; HERNANDEZ, F.B.T. Water productivity assessments with Landsat 8 images in the Nilo Coelho irrigation scheme. **Irriga**, Botucatu, p. 1-10, 2015. Edição Especial.

VANHELLEMONT, Q.; RUDDICK, K. Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with Landsat 8. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 145,p. 105-115, 2014.

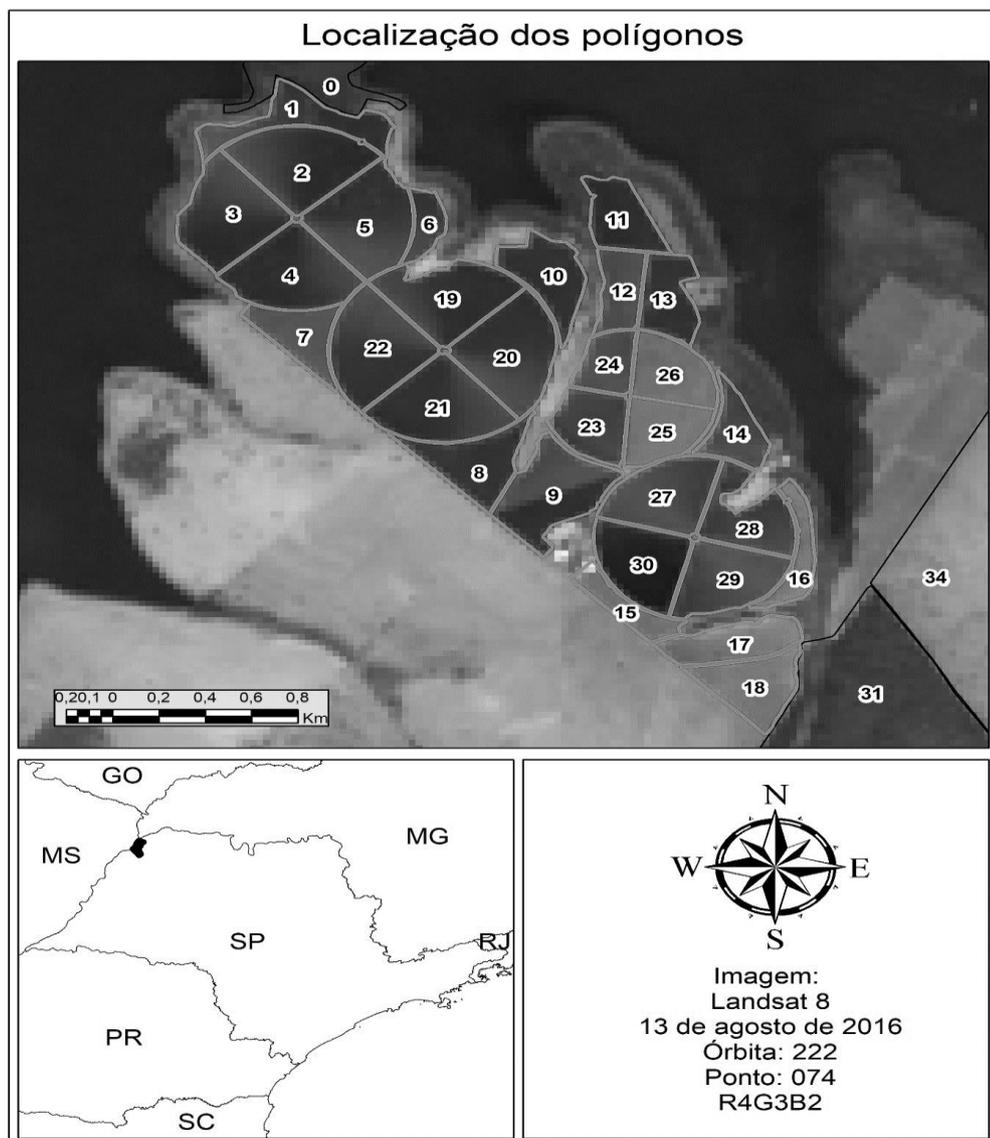


Figura 1. Localização dos polígonos na propriedade estudada. Município de Rubinéia - SP.

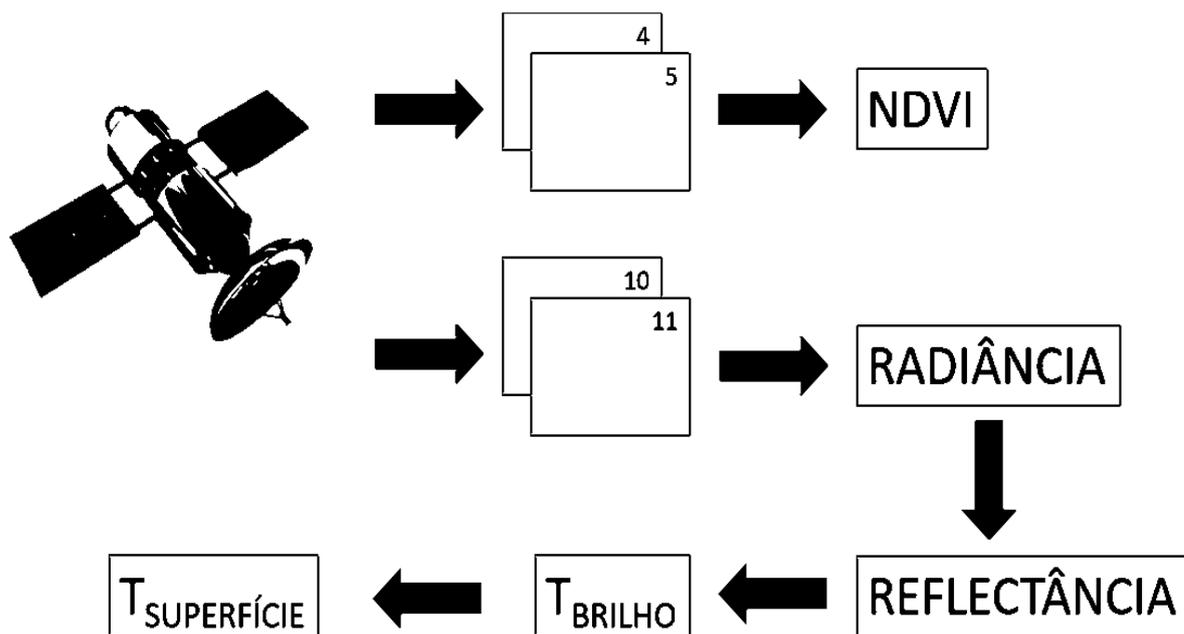


Figura 2. Organograma do processamento da imagem para obtenção do NDVI e temperatura de superfície.

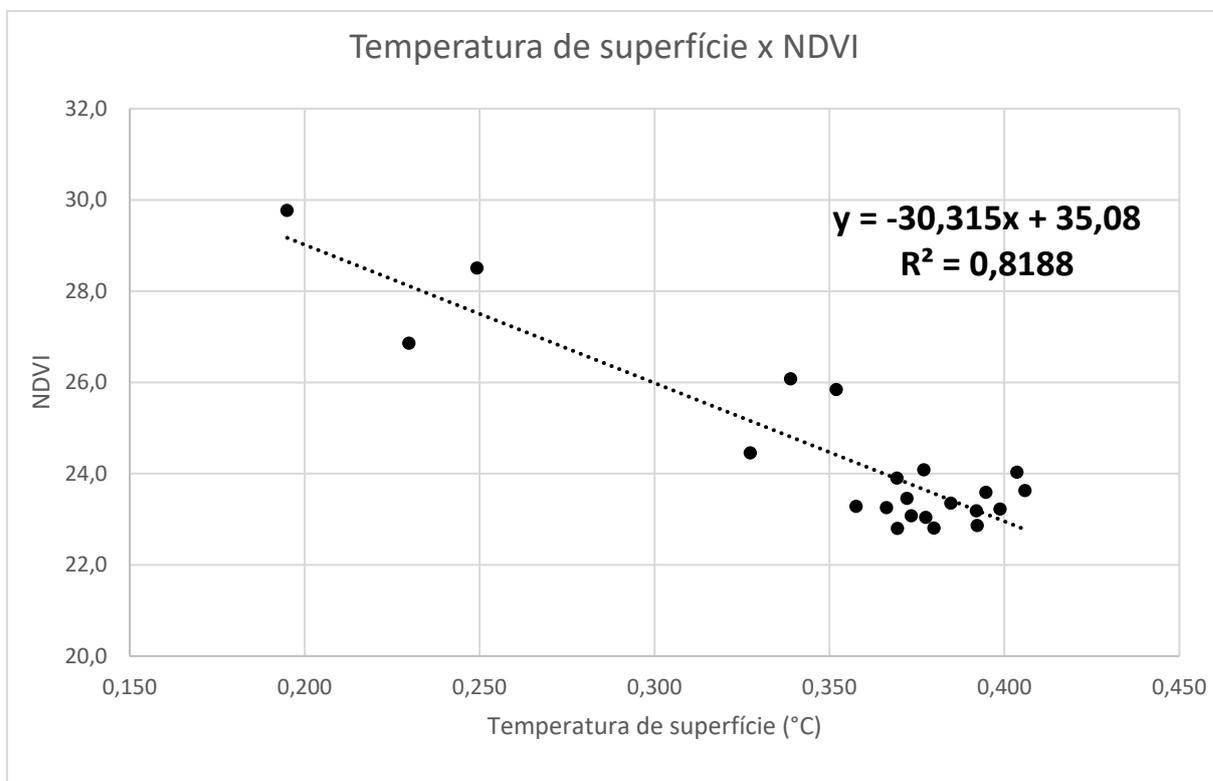


Figura 3. Regressão entre temperatura de superfície e NDVI.

Tabela 1. Temperaturas de superfície e índices NDVI dos polígonos estudados.

POLÍGONO	USO	SISTEMA	AREA (m²)	T_{MÉDIA} (°C)	NDVI
18	Citros	Gotejamento	118800	29,8	0,1950
16	Citros	Gotejamento	61200	26,9	0,2298
17	Citros	Gotejamento	103500	28,5	0,2493
9	Citros	Gotejamento	178200	24,5	0,3274
15	Citros	Gotejamento	57600	26,1	0,3389
7	Citros	Gotejamento	88200	25,8	0,3520
1	Citros	Gotejamento	111600	23,3	0,3576
10	Citros	Gotejamento	114300	23,3	0,3664
8	Citros	Gotejamento	121500	23,9	0,3694
6	Citros	Gotejamento	46800	24,1	0,3770
11	Citros	Gotejamento	92700	23,0	0,3776
4	Citros	Pivô Central	181800	22,8	0,3695
3	Citros	Pivô Central	182700	23,5	0,3722
2	Citros	Pivô Central	191700	23,1	0,3734
21	Citros	Pivô Central	187200	22,8	0,3799
5	Citros	Pivô Central	188100	23,4	0,3848
22	Citros	Pivô Central	190800	23,2	0,3921
19	Citros	Pivô Central	173700	22,9	0,3923
28	Citros	Pivô Central	120600	23,6	0,3948
23	Citros	Pivô Central	104400	23,2	0,3988
24	Citros	Pivô Central	71100	24,0	0,4036
29	Citros	Pivô Central	140400	23,6	0,4059
USO	SISTEMA	AMOSTRAS	AREA (Ha)	T_{MÉDIA} (°C)	NDVI
Citros	Gotejamento	11	109,44	25,4	0,3219
Citros	Pivô Central	11	173,25	23,3	0,3879