

## FATORES QUE CONTROLAM A TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DOS SOLOS DO NOROESTE DO PARANÁ

**Otávio Cristiano Montanher**

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Geografia, Maringá, PR, Brasil  
[otaviocmontanher@yahoo.com.br](mailto:otaviocmontanher@yahoo.com.br)

**Danilo Rafael Bastos Resende Espíndola**

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Tecnologia, Umuarama, PR, Brasil  
[danilorze@gmail.com](mailto:danilorze@gmail.com)

*Recebido em: 26/07/16; Aceito em: 23/05/17*

### RESUMO

Este artigo apresenta um estudo da temperatura de superfície de solos da região noroeste do Estado do Paraná. Essa região possui duas formações rochosas predominantes: formação Caiuá (Kc) e formação Serra Geral (JKsg). Os solos que se desenvolvem sobre essas formações possuem texturas arenosas e argilosas. Formulou-se a seguinte questão: em total exposição, tais solos possuem diferentes valores de temperatura de superfície? Adicionalmente, também foi avaliado o papel térmico da cobertura vegetal que permanece sobre o solo após as colheitas, sistema este denominado como plantio direto. Buscou-se compreender se essa cobertura provoca alguma variação na temperatura dos solos. Foi utilizada uma abordagem a partir de sensoriamento remoto e testes estatísticos. Os resultados mostram que: a) quando os solos arenosos e argilosos estão totalmente expostos, os solos arenosos possuem maiores valores de temperatura de superfície; b) a presença de cobertura vegetal morta provoca uma diminuição na temperatura, tanto dos solos arenosos quanto dos argilosos; c) quando os dois tipos de solos avaliados estão cobertos com palha, não há diferenças significativas entre suas temperaturas. Esses resultados evidenciam os fortes controles do material parental e da cobertura de palha sobre a temperatura de superfície dos solos da região noroeste do Paraná.

**Palavras-chave:** Substrato Geológico; Plantio direto; Umidade do Solo; Sensoriamento Remoto; Interpretação de Imagens.

## CONTROLLING FACTORS OF THE SOIL SURFACE TEMPERATURE IN THE NORTHWEST PARANA STATE

### ABSTRACT

This article presents a study of the surface temperature of soils from the northwest Paraná State (Southern Brazil). Geological setting from this region shows two predominant formations: Caiuá Formation (Kc) and the Serra Geral Formation (JKsg) with sandy and clayey soil textures, respectively. The following question was raised: in a condition of total exposition, is there a difference in the surface temperature values? Beyond that, it was also evaluated the thermic role of the vegetal cover that remains on the soil after crop harvesting in no-till farming. It was attempted to understand whether this cultivation system promotes some variation in the soil surface temperature. Methodology includes a remote sensing approach and statistical tests. Results indicate that: a) assuming that both soils are entirely exposed, the sandy soils have higher surface temperature values; b) the presence of straw on the soil induces a reduction in the temperature for both soils; c) supposing that the two soil types are covered with straw, there is no significant difference in their temperatures. Strong influence of both geological substratum and the straw drives soil surface temperature in the northwest Parana State.

**Keywords:** Geological substratum; No-till farming; Soil Moisture; Remote Sensing; Image Interpretation.

## INTRODUÇÃO

A temperatura é um parâmetro que determina muitas características físicas, químicas e biológicas dos solos. Com relação aos processos e características hidrológicas dos solos que são influenciados pela temperatura, podem ser mencionados: aeração, o movimento da água através do solo, sua disponibilidade para as plantas e a taxa de evaporação (LAL e SHUKLA, 2004). Isso porque as propriedades físicas da água, como densidade, viscosidade e tensão superficial são dependentes da temperatura. Por consequência, a interação entre as partículas do solo e a água também é governada pela temperatura.

Lal e Shukla (2004) também mencionam a temperatura do solo como um dos fatores mais importantes para o crescimento das plantas. A germinação de sementes, o crescimento de raízes e brotos, bem como a disponibilidade de água e alguns nutrientes para as plantas são exemplos de características que ocorrem preferencialmente em faixas ideais de temperatura do solo. A faixa de temperatura entre 20°C e 30°C é mencionada como a mais adequada para o crescimento das plantas (LAL e SHUKLA, 2004).

Além dos efeitos que a temperatura do solo possui sobre os fenômenos que ocorrem no interior e sobre o perfil pedológico, podem ser referidos fenômenos de maior ordem espacial. A microclimatologia, o balanço hidrológico da bacia e o uso agropecuário de uma determinada região, por exemplo, também podem ser influenciados, em certo grau, pela temperatura do solo. Portanto, essa variável relaciona-se com muitas características do potencial ecológico, da exploração biológica e da ação antrópica de geossistemas (BERTRAND, 2004).

Quando considerada em grandes extensões espaciais, a temperatura da superfície terrestre é um parâmetro crucial para avaliação de processos ambientais, ecológicos e de mudanças climáticas (WENG et al., 2014). Conforme tais autores, esses estudos necessitam de imagens, obtidas via sensoriamento remoto, da faixa espectral do infravermelho termal em diversas escalas espaciais. Adicionalmente, Hulley et al. (2014) argumentam que, como a emissividade é uma propriedade intrínseca dos alvos da superfície terrestre, dados da região espectral do infravermelho termal permitem um aumento da capacidade de monitorar mudanças da paisagem para além das técnicas mais usuais de sensoriamento remoto. Portanto, diversos estudos têm sido realizados sobre a influência das mudanças da cobertura da superfície terrestre sobre a temperatura de superfície a partir de imagens de sensoriamento remoto. Como exemplos podem ser mencionados estudos sobre as ilhas de calor urbanas (ANNIBALLE et al., 2014; QUAN et al., 2014).

Este trabalho centra-se na avaliação da temperatura de superfície dos solos da região noroeste do Estado do Paraná. Mais especificamente, pretendeu-se avaliar duas variáveis que podem estar relacionadas com as variações de temperatura de superfície desses solos: a) os diferentes substratos geológicos que ocorrem na região e b) a presença de resíduos vegetais (cobertura morta).

A permanência da palhada sobre a superfície do solo após as colheitas é uma prática amplamente conhecida como plantio direto e traz diversos benefícios ao uso agropecuário do solo, como o aumento da resistência à erosão, maior retenção de água, entre outros (REVISTA PLANTIO DIRETO, 2015; WWF, 2016). O plantio direto foi implantado desde a década de 1970 na região Sul do país, enquanto que outras regiões vieram a assimilar essa técnica posteriormente (WWF, 2016). Para fins de nomenclatura, os solos foram denominados com ou sem “cobertura por palha”.

Bortoluzzi e Eltz (2000) avaliaram o efeito de diferentes manejos da palha de aveia preta sobre a temperatura e umidade de um Argissolo, bem como sobre a emergência da soja, em Santa Maria (RS). Segundo os autores, a redução das taxas de erosão dos solos e do desenvolvimento de ervas daninhas são benefícios do uso do plantio direto que são melhor documentados na bibliografia em relação às mudanças da temperatura da superfície do solo. Comparando o solo exposto e em diversas condições de palhada, Bortoluzzi e Eltz (2000) concluíram que as temperaturas máximas foram maiores no solo exposto, o qual foi o único que atingiu temperaturas superiores a 40°C, nível prejudicial para a fase de germinação da soja.

Diante do exposto, este trabalho buscou abordar as seguintes questões: há diferenças significativas entre a temperatura de superfície dos dois principais tipos de solos do noroeste paranaense quando esses estão expostos? E quando estão cobertos por palha? Um mesmo tipo de solo possui grandes variações de temperatura quando está totalmente exposto ou coberto com palha?

## **METODOLOGIA**

Esta seção apresenta inicialmente a área de estudo. Posteriormente, os métodos estão separados em quatro partes. A primeira apresenta os procedimentos realizados para geração de estimativas de temperatura de superfície a partir dos dados orbitais. A segunda parte apresenta a definição dos alvos a partir dos métodos de interpretação visual. A terceira parte descreve os testes estatísticos que foram aplicados sobre os dados adquiridos via sensoriamento remoto. Por último, são descritos os dados de precipitação que foram obtidos para avaliação de possíveis efeitos da umidade do solo sobre as estimativas da temperatura de superfície.

## **ÁREA DE ESTUDO**

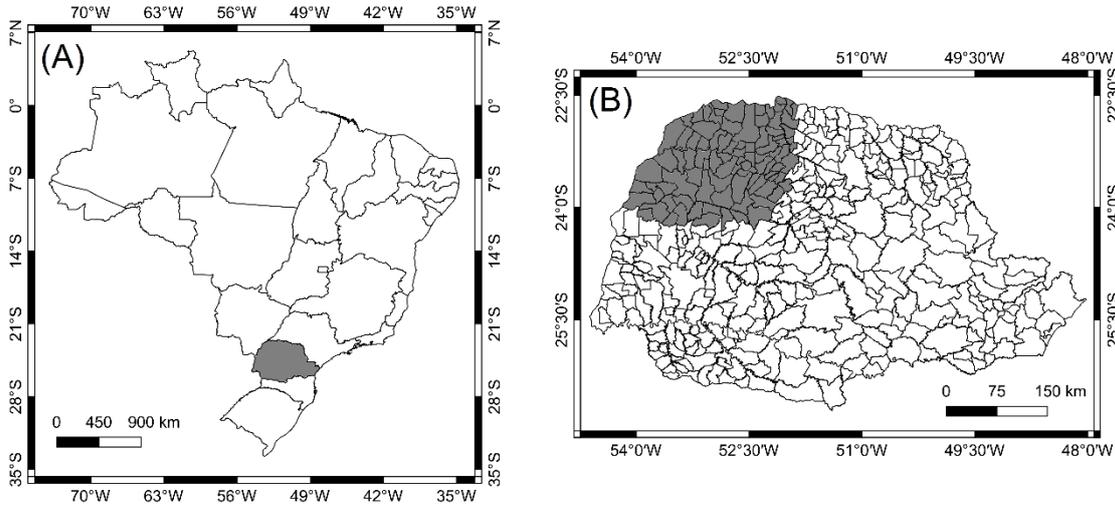
A área de estudo envolve a região noroeste do Estado do Paraná (Figura 1). O terceiro planalto paranaense possui duas formações geológicas predominantes: formação Caiuá (Kc) e a formação Serra Geral (JKsg). Ainda, Fernandes e Coimbra (1994) sugerem o Grupo Caiuá, em que no noroeste do Paraná ocorreriam as formações Rio Paraná e Goioerê. Essas duas formações possuem cores, texturas e mineralogias semelhantes, no entanto, a primeira possui estrutura cruzada tabular de médio a grande porte, enquanto que formação Goioerê possui estruturas de menor porte, diferença relacionada com os respectivos ambientes de origem (FERNANDES e COIMBRA, 1994).

De forma geral, os solos que se desenvolvem sobre estas formações podem ser diferenciados entre solos com predominância de textura arenosa, relacionados com as formações do grupo Caiuá e solos com predominância de textura argilosa, relacionados com a formação Serra Geral. Na primeira condição ocorrem latossolos, argissolos e neossolos quartzarênicos, com texturas que variam entre arenosa a franco-arenosa e sobre a formação Serra Geral ocorrem latossolos, nitossolos e solos rasos (cambissolos e neossolos), de textura argilosa. Para fins de simplificar a referência a esses solos, neste estudo, os mesmos foram designados como solos “arenosos” e “argilosos”.

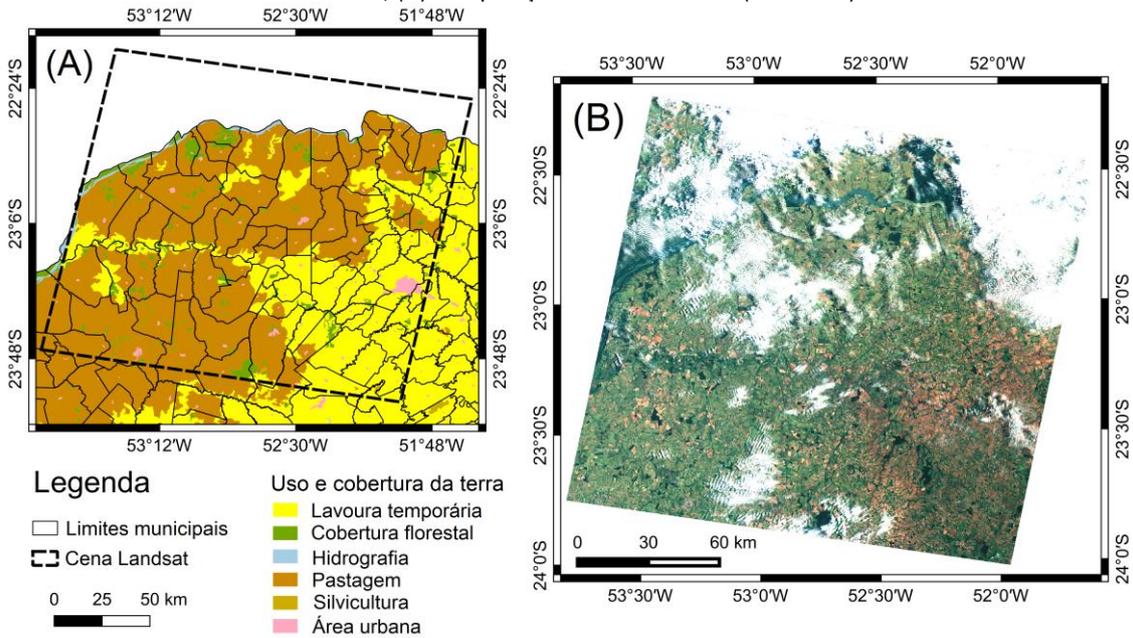
Em estudos de caráter regional sobre a temperatura de superfície dos solos, a medição *in situ* desse parâmetro é logisticamente dificultada. Uma alternativa para obtenção simultânea de dados em grandes áreas é a partir do sensoriamento remoto em nível orbital. Portanto, para uma aquisição de dados com grande representatividade espacial, este trabalho partiu de uma abordagem de sensoriamento remoto. Foi utilizada uma imagem TM do satélite Landsat 5, referente à região de interesse (Figura 2), disponibilizada gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2016). A imagem orbital é da órbita/ponto 223/076, de data 18/11/2008.

A pastagem tem sido o uso do solo predominante nos solos de textura arenosa que ocorrem sobre a formação Caiuá nas últimas décadas (Figura 2). No entanto, o mapa de uso do solo apresentado na Figura 2 não é atual (2002), não apresentando o avanço da cultura da cana-de-açúcar que ocorreu na região (MONTANHER et al., 2010). Já o uso do solo em solos de textura argilosa (formação Serra Geral) é consistido por lavouras temporárias, principalmente de soja e milho. Tanto as áreas de cana-de-açúcar quanto as áreas de soja e milho possuem ciclos anuais que fazem com que o solo esteja exposto ao menos uma vez ao ano.

**Figura 1.** (A) Divisão estadual do Brasil com destaque para o Estado do Paraná. (B) Destaque para os municípios que compõem a região Noroeste do Estado.



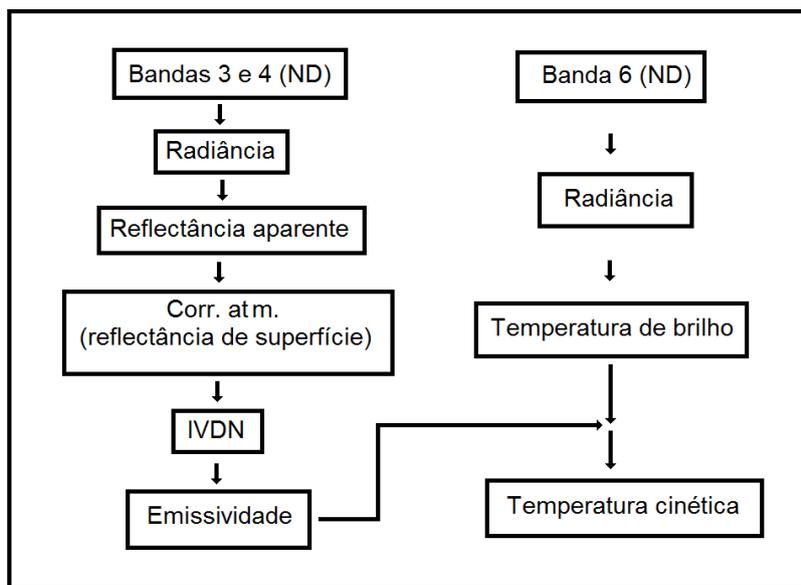
**Figura 2.** (A) Uso do solo na região noroeste do Paraná (IPARDES, 2002) e localização da imagem Landsat 5; (B) composição colorida natural (RGB 321).



**PRIMEIRA ETAPA: PROCESSAMENTO E CONVERSÕES FÍSICAS**

A sequência dos dados e procedimentos utilizados para obtenção de estimativas da temperatura de superfície (ou cinética) está resumida na Figura 3.

Figura 3. Fluxograma dos procedimentos aplicados para estimativa da temperatura de superfície.



A estimativa da temperatura de superfície demanda de duas grandezas, a temperatura de radiação e a emissividade do material:

$$(1) \quad T_{cin} = \frac{T_{rad}}{\varepsilon_0^{1/4}}$$

Em que:

$T_{cin}$  = temperatura de superfície;

$T_{rad}$  = temperatura de radiação;

$\varepsilon_0$  = emissividade de superfície.

De acordo com Lorenzetti (2015), a temperatura de brilho (ou de radiação) corresponde a uma estimativa que considera o alvo como um corpo, sendo necessária a correção por sua emissividade. Para obtenção da temperatura de brilho foi necessária a transformação do ND (número digital) da banda termal (banda 6) em radiação:

$$(2) \quad L_\lambda = 0,055376 \cdot Q_{cal} + 1,18$$

Em que:

$L_\lambda$  = radiação espectral na abertura do sensor [ $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ ];

$Q_{cal}$  = valor de pixel calibrado (ND);

Por sua vez, a temperatura de radiação foi obtida por:

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

Em que:

$T_{rad}$  = temperatura de radiação na abertura do sensor (K);

$K_1$  = constante de calibração: 607,76 [ $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ ];

$K_2$  = constante de calibração: 1260,56 (K).

Os coeficientes de ganho das equações 2, 6 e 7 e as constantes  $K_1$  e  $K_2$  da equação 3 e foram obtidos em Chander et al. (2009). A emissividade foi estimada a partir de uma relação com o IVDN - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – (OWE e VAN DE GRIEND, 1993):

$$(4) \quad \varepsilon_0 = 1,009 + 0,047 \cdot \ln(\text{IVDN})$$

Em que:

$$(5) \quad \text{IVDN} = \frac{\rho_{\text{IVP}} - \rho_v}{\rho_{\text{IVP}} + \rho_v}$$

Em que:

$\rho_{\text{IVP}}$  = refletância na faixa espectral do infravermelho próximo;  
 $\rho_v$  = refletância na faixa espectral do vermelho.

Para o cálculo do IVDN a partir da equação 5, é necessário que as bandas do vermelho e do infravermelho próximo estejam convertidas para a grandeza de reflectância de superfície ( $\rho_{\text{sup}}$ ). Para tal, é necessária a conversão do ND das bandas 3 e 4 do sensor TM para radiância:

$$(6) \quad L_v = 1,043976 \cdot Q_{\text{cal } b3} - 2,21$$

$$(7) \quad L_{\text{ivp}} = 0,876024 \cdot Q_{\text{cal } b4} - 2,39$$

Posteriormente, as imagens-radiância foram convertidas para reflectância aparente (CHANDER et al., 2009):

$$(8) \quad \rho_{\text{apa}} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{E_{s\lambda} \cdot \cos \theta_z}$$

Em que:

d = distância terra-sol;  
 $E_s$  = irradiância solar no topo da atmosfera;  
 $\theta_z$  = ângulo zenital solar.

A conversão de  $\rho_{\text{apa}}$  para  $\rho_{\text{sup}}$  depende do procedimento de correção atmosférica. Foi utilizado o modelo 6S (VERMOTE et al., 1997), e o aplicativo X6SCorr (MONTANHER e PAULO, 2014). Esse método de correção atmosférica por transferência radiativa exige a entrada de alguns parâmetros, os quais foram utilizados:

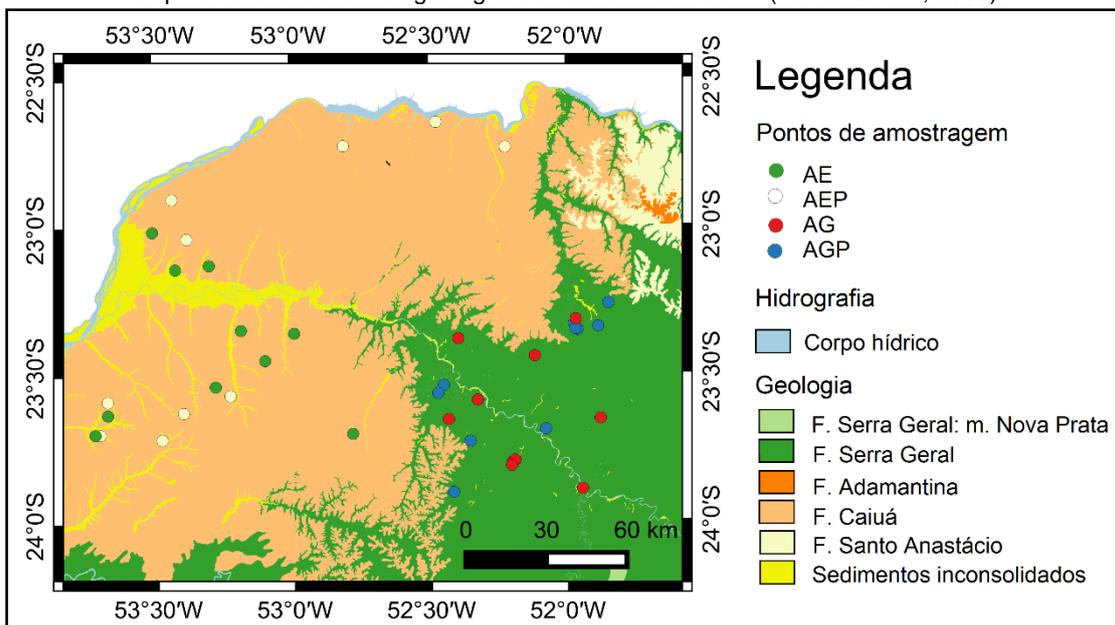
Modelo de atmosfera: tropical; modelo de aerossol: continental; Visibilidade: 55 km (por se tratar de condições de baixa turbidez atmosférica) e altitude: 300 m (variações altimétricas de até poucas centenas de metros entre os pontos não levam a grandes erros de estimativa da reflectância).

Ainda, anteriormente à estimativa da emissividade por meio do IVDN (equação 4), a imagem IVND foi reamostrada de 30m (resolução original das bandas 3 e 4) para 120m (resolução da banda 6), para que fosse possível o cálculo posterior da temperatura de superfície. Maiores detalhes sobre a teoria e o uso da radiação termal em sensoriamento remoto podem ser consultados em Lorenzetti (2015).

#### **SEGUNDA ETAPA: INTERPRETAÇÃO DOS ALVOS E AMOSTRAGEM**

Foram definidos quatro alvos para amostragem: solo arenoso exposto (AE), solo arenoso com cobertura de palha (AEP), solo argiloso exposto (AG) e solo argiloso com cobertura de palha (AGP). Foram identificados dez locais de amostragem para cada alvo, de forma distribuída em toda a região de estudo (Figura 4), de modo que o número de pixels amostrados de cada alvo fosse 100.

**Figura 4.** Localização dos pontos de amostragem dos quatro alvos definidos. Alguns pontos de amostragem estão próximos, por isso encontram-se sobrepostos no mapa. A base é composta pelo arquivo vetorial de limites geológicos do Estado do Paraná (MINEROPAR, 2006).



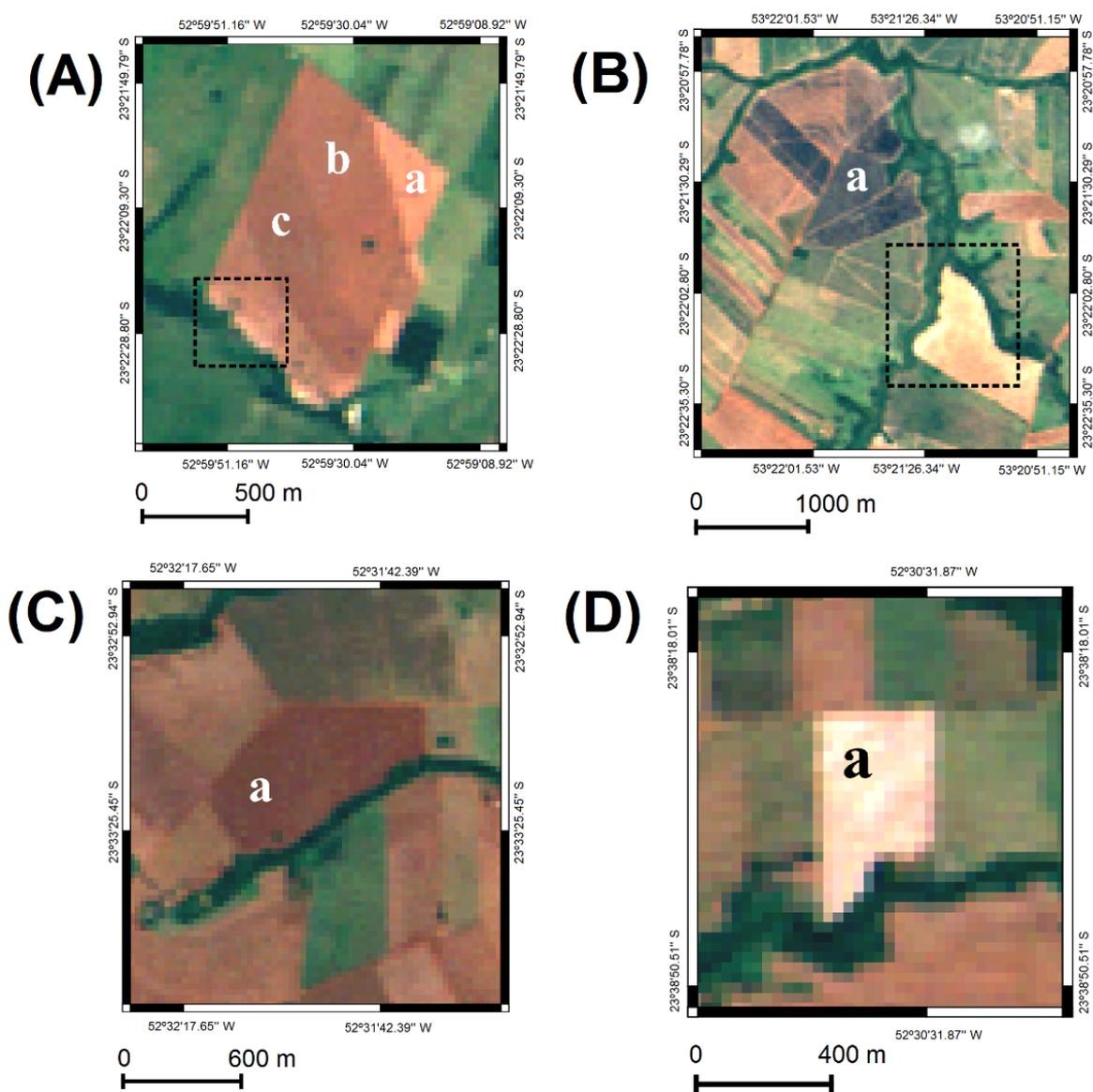
A identificação dos alvos foi feita com uso de uma composição colorida RGB 321. Para identificação, foram adotados os seguintes elementos de interpretação visual de imagens (JENSEN, 2009): **Cor/tonalidade:** a cor e a tonalidade foram os principais elementos de interpretação utilizados na amostragem. Os solos arenosos e argilosos sem cobertura de palha possuem uma coloração marrom, no entanto, o solo arenoso possui uma tonalidade mais clara do que o argiloso (Figura 5). A cobertura de palha em ambos os tipos de solo também foi identificada com base na cor, de modo que esta possui cor amarela em tonalidade bem clara - próxima do branco. **Forma:** os alvos amostrados possuem as características geométricas das propriedades rurais, com linhas retas e ângulos agudos, formando assim quadriláteros (Figura 5). **Tamanho:** os lotes rurais dos quais as amostras foram retiradas possuem comprimento e largura que geralmente variam de 0,3 a 1,8 km, o que permite a amostragem de pixels da banda termal sem mistura espectral com as bordas; **Padrão:** os lotes rurais estão dispostos, de maneira geral, de forma paralela uns em relação aos outros (Figura 5). **Situação:** os lotes estão posicionados de acordo com as estradas rurais e os corpos hídricos que contornam parte do seu perímetro (Figura 5). **Informação colateral:** foi utilizado o Mapa Geológico do Paraná para orientação em relação aos limites das formações geológicas (formações Caiuá e Serra Geral) e, em consequência, dos solos arenosos e argilosos (MINEROPAR, 2006).

A composição colorida usada para identificação dos alvos possui 30 m de resolução espacial, enquanto que a imagem-produto temperatura de superfície possui 120 m, a mesma resolução espacial da banda 6. Portanto, para cada identificação dos alvos na composição colorida, também foi necessário conferir se no mesmo local haveria mistura espectral entre os alvos de interesse e outros alvos na imagem-produto.

Ainda, outros problemas foram previstos durante a amostragem. Os solos arenosos possuem variações de tonalidades (Figura 5), em que no topo das vertentes ocorrem solos com cores mais avermelhadas e na base das vertentes ocorrem colorações claras. Essa variação deve-se às mudanças laterais na estrutura pedológica, em que ocorre a seguinte sequência, do topo para a base: latossolos, argissolos e neossolos quartzarênicos (NAKASHIMA, 1999). Para que a comparação fosse feita sempre a partir dos mesmos solos, e devido ao fato de que as faixas de solos mais claros são muito estreitas para amostragem na banda termal, as amostragens foram limitadas às áreas de latossolos, nos setores altos das vertentes.

É comum a ocorrência de queimadas da cana-de-açúcar na região de estudo. As áreas que passam por esse processo possuem suas características de superfície alteradas. Por isso, a amostragem nessas áreas foi evitada (Figura 5). Por último, ainda foi observado o grau de cobertura por palha que o solo poderia ter, sendo comum a condição em que o solo esteja apenas parcialmente coberto por palha, portanto a resposta espectral do pixel é mista entre o solo exposto e a palha. A amostragem foi evitada nessas condições, de modo que selecionaram-se os pixels que apresentassem uma resposta espectral típica, de solos totalmente expostos, ou totalmente cobertos.

**Figura 5.** Exemplos de diferentes tipos de solos expostos. Em (A) e (B) ocorrem solos arenosos; em (C) e (D) ocorrem solos argilosos. Note a diferença de cor entre os solos expostos, sem cobertura de palha em (A) e (C). Em (A) e (B) os quadrados pontilhados mostram setores que os solos arenosos possuem variações de cor. Em (B), a letra (a) indica uma área de queimada de cana-de-açúcar. Em (A) as letras (a), (b) e (c) indicam solos arenosos com diferentes níveis de cobertura por palha, em que a maior é em (a); Em (D) a letra (a) indica um solo argiloso coberto por palha. Os quadros foram gerados por uma composição colorida natural (RGB 321).



**TERCEIRA ETAPA: TESTES ESTATÍSTICOS**

Estabelecidas as amostras, foram planejados os procedimentos estatísticos para o teste de hipóteses. Foram estabelecidas quatro questões: Há diferença significativa entre as médias de temperatura do solo AE e do AEP devido à cobertura de palha? A mesma questão para os solos AG e AGP. Há diferença significativa entre as médias de temperatura dos solos AE e AG, devido às suas mineralogias e texturas? Por último, há diferença significativa entre as médias de temperatura desses dois solos quando estão cobertos por palha?

Todas essas questões envolvem o teste de hipóteses de igualdade entre médias de populações distintas (teste não-pareado). Como as variâncias populacionais das quatro variáveis não são conhecidas, foi necessário aplicar o teste F de igualdade entre variâncias. Conforme apresentado posteriormente nos resultados, houve variâncias iguais e diferentes. Para os casos em que as variâncias são consideradas iguais, o teste t foi aplicado considerando  $n_1 + n_2 - 2$  graus de liberdade. Para os casos em que as variâncias são diferentes, o teste t foi aplicado considerando  $v$  graus de liberdade:

$$(9) \quad v = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1-1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2-1}}$$

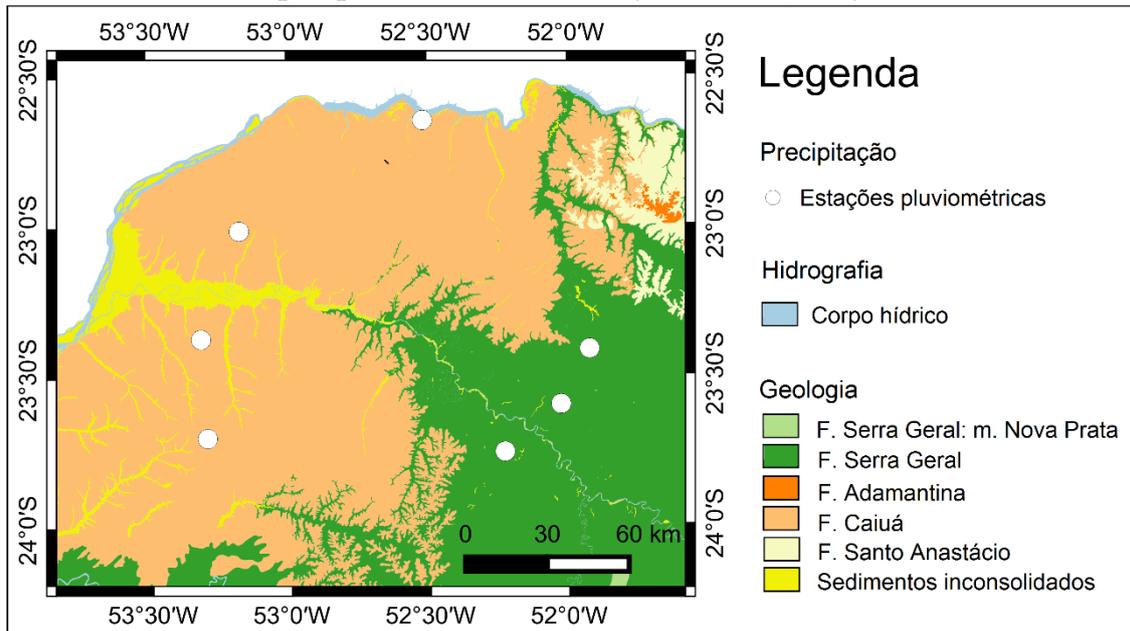
O nível de significância  $\alpha = 0,05$  foi adotado para os testes de hipótese de médias e variâncias.

**QUARTA ETAPA: DADOS DE PRECIPITAÇÃO**

A umidade do solo possui o potencial de amenizar sua temperatura devido ao processo de evaporação, em que o calor sensível é convertido em calor latente. A água também possui outras propriedades térmicas que a diferem dos solos, como a capacidade térmica. Por isso, uma questão que gerou dúvida durante a análise das estimativas de temperatura de superfície é se as diferenças nos valores seriam respectivas apenas ao tipo de solo e à sua cobertura, ou se haveriam diferenças de umidade entre os pontos, que poderiam alterar os valores de temperatura e impossibilitar uma comparação adequada.

Portanto, foram avaliadas séries temporais de precipitação diária de sete estações meteorológicas situadas na região de interesse (Figura 6). Os dados foram obtidos através do Sistema de Informações Hidrológicas (SIH) do Instituto das Águas do Paraná, de modo que foram utilizados dados de sete estações meteorológicas: Umuarama, Santa Isabel do Ivaí, Fazenda Santo (Paranavaí) e Douradina – (estações em áreas de Arenito); Porto Bananeira (Engenheiro Beltrão), Sítio Floresta (Ivatuba) e Maringá – (estações em áreas de Basalto).

**Figura 6.** Localização das estações pluviométricas. A base é composta pelo arquivo vetorial de limites geológicos do Estado do Paraná (MINEROPAR, 2006).



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

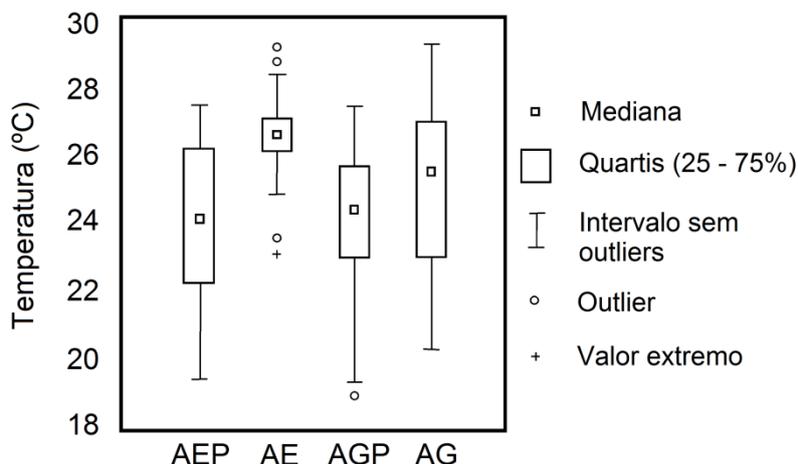
As estatísticas descritivas dos 100 valores (obtidos por meio de 10 locais de amostragem) estão apresentadas na Tabela 1. A distribuição de cada conjunto de dados pode ser avaliada com maior detalhe em diagramas de caixa (Figura 7). Observou-se que os solos AE e AEP possuem variâncias distintas, assim como os solos AE e AG (Tabela 2). Já os solos AG e AGP possuem variâncias iguais, da mesma forma que os solos AEP e AGP.

**Tabela 1.** Estatísticas descritivas das estimativas de temperatura de superfície.

SOLO	N	$\sigma$	$\bar{T}$ (°C)	T MÁX. (°C)	T MÍN. (°C)	$\Delta T$ (°C)
AEP	100	2,05	24,14	27,46	19,48	7,98
AE	100	1,02	26,58	29,14	23,10	6,04
AGP	100	1,86	24,10	27,43	18,99	8,43
AG	100	2,16	25,04	29,23	20,34	8,89

**Tabela 2.** Resultados do teste de igualdade de variâncias.

ALVO 1	ALVO 2	$F_{obs}$	$F_c$	VALOR-p	RESULTADO
AE	AEP	3,99		< 0,001	≠
AE	AG	4,44	1,39	< 0,001	≠
AG	AGP	1,35		0,13	=
AEP	AGP	1,21		0,33	=

**Figura 7.** Diagrama de caixa (*box plot*) dos 100 valores obtidos para cada alvo.

A partir da análise da igualdade de variâncias, o teste de hipótese de médias foi, então, aplicado (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resultados do teste de igualdade de médias.

ALVO 1	ALVO 2	GRAUS DE LIBERDADE	$t_{obs}$	$t_c$	VALOR-p	RESULTADO
AE	AEP	145,99	10,63		< 0,001	≠
AE	AG	141,45	6,45	±1,97	< 0,001	≠
AG	AGP	198	-3,27		0,001	≠
AEP	AGP	198	0,15		0,879	=

A análise desses resultados segue, em conformidade com as questões colocadas:

a) Há diferença significativa entre as médias de temperatura dos solos AE e AG, devido às suas mineralogias e texturas? Foram observadas evidências estatísticas para se concluir que os solos arenosos possuem temperaturas maiores do que os solos argilosos quando ambos estão sem cobertura por palha.

Os basaltos da formação Serra Geral possuem grandes quantidades de ferro, em minerais dos grupos das olivinas e piroxênios, característica que o manto intempérico guarda, devido à resistência geoquímica do ferro. Como os minerais que possuem este elemento em sua composição possuem uma maior capacidade de absorção da radiação solar (comparado com a matéria orgânica e outros minerais comuns), esperava-se que estes solos possuíssem maiores temperaturas.

No entanto, não é apenas a composição química dos solos que influenciam suas propriedades térmicas. Solos de textura arenosa normalmente possuem temperaturas mais elevadas do que os solos de textura argilosa, em que a capacidade de reter água é um importante fator que relaciona a textura com as propriedades térmicas dos solos (SINCLAIR e WEISS, 2010).

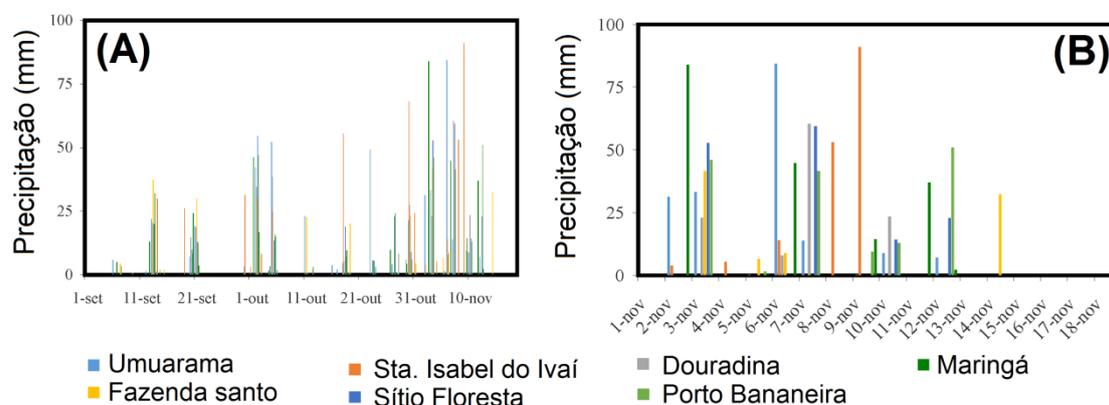
Solos argilosos possuem maiores potenciais matriciais do que os solos arenosos, fazendo com que, mesmo após longos períodos secos, tais solos ainda retenham maiores quantidades de água quando comparados com solos arenosos. Como a água age como um condutor de calor mais eficiente do que o ar, essa energia é conduzida rapidamente para as camadas inferiores do solo, fazendo com que a temperatura de superfície desse tipo de solo seja inferior à do solo arenoso (SINCLAIR e WEISS, 2010). Adicionalmente, segundo FOODY et al. (2009), quanto mais fina a textura do solo, maior sua condutividade térmica.

Ainda com relação ao conteúdo de água no solo, além de uma maior condutividade térmica, a água possui um calor específico cerca de cinco vezes maior do que o calor específico dos

solos. Por isso, é necessária uma maior quantidade de energia para aquecer a superfície dos solos argilosos. Por tais motivos, entende-se que os solos arenosos possuam temperaturas de superfície mais elevadas do que os solos argilosos, mesmo que os últimos possuam maiores quantidades de óxidos de ferro.

Como a umidade é um fator importante para a análise dos valores de temperatura de superfície dos solos, buscou-se avaliar se houveram diferentes eventos de precipitação no interior da área de estudo. A análise das séries históricas de precipitação em sete estações (Figura 6) mostra que nos dois meses anteriores à data de imageamento (18/11/2008) as chuvas ocorreram em todas as estações (Figura 8), mas houve variações importantes na última quinzena de outubro e primeira quinzena de novembro. No entanto, nos últimos 4 dias anteriores à data de imageamento não houve precipitação em nenhuma das estações. Como as chuvas foram aproximadamente regulares ao longo da região, e como houve um curto período sem precipitação anteriormente à data de interesse, entende-se que não deve haver grandes diferenças de umidade entre os locais de amostragem.

**Figura 8.** Séries históricas de precipitação na região de estudo. (A) série compreendendo o período entre 01/09/2008 e 18/11/2008. (B) série mais detalhada, entre 01/11/2008 e 18/11/2008.



b) Há diferença significativa entre as médias de temperatura do solo AE e do AEP devido à cobertura de palha? E em relação aos solos argilosos? Pode-se notar que os solos arenosos, quando estão cobertos por palha, possuem uma temperatura significativamente menor do que quando estão totalmente expostos (considerando  $\alpha = 0,05$ ). Embora a diferença seja menor, também é significativa entre os solos AG e AGP (Tabela 3).

Portanto, é possível afirmar que, quando os solos estão cobertos com palha, eles possuem temperaturas menores do que quando não estão cobertos. Para as condições avaliadas nesta base de dados, a diferença foi próxima a 1°C para os solos argilosos e próxima a 2,5°C para os solos arenosos. A palha impede que a radiação solar seja diretamente absorvida pelo solo, e ela é um objeto de coloração mais clara do que o solo (possui maior albedo), isso implica em uma menor absorção e maior reflexão da radiação. Adicionalmente, a palha é uma cobertura com muitos espaços internos, e isso significa que sua condutividade térmica é baixa, o que leva a uma diminuição da transferência de energia térmica para o solo.

c) Há diferença significativa entre as médias de temperatura desses dois solos quando estão cobertos por palha? Os resultados mostraram que quando há a cobertura por palha, aparentemente as diferenças de composição dos solos subjacentes à cobertura vegetal morta não influenciam nas temperaturas de superfície, pois não há diferenças significativas entre as duas médias (Tabela 3). Isso mostra a capacidade da palha para atenuação da radiação solar com relação à camada superior dos solos. A análise dos diagramas de caixa dessas duas variáveis (AEP e AGP) mostra que, embora a distância interquartil dos solos argilosos seja um pouco menor, a distribuição dos dois alvos é muito semelhante (Figura 7).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados permitiram verificar que:

- a) Diferentes solos originam-se sobre os dois principais substratos geológicos do terceiro planalto paranaense, os quais possuem diferenças em suas propriedades térmicas. Quando esses solos, arenosos e argilosos, estão totalmente expostos, os solos arenosos possuem maiores valores de temperatura de superfície;
- b) A presença de cobertura vegetal morta provoca uma diminuição na temperatura, tanto dos solos arenosos quanto dos argilosos. Essa diminuição foi significativa para ambos os casos, mas foi maior no caso dos solos arenosos;
- c) Quando os dois tipos de solos avaliados estão cobertos com palha, não há diferenças significativas entre suas temperaturas. Isso mostra que o efeito dessas coberturas sobrepõe-se ao solo subjacente.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as contribuições do revisor anônimo ao artigo.

## REFERÊNCIAS

- ANNIBALLE, R.; BONAFONI, S.; PICHIERRI, M. Spatial and temporal trends of the surface and air heat island over Milan using MODIS data. **Remote sensing of Environment**, v. 150, p. 163-171, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.05.005>
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. Tradução: Olga Cruz. **RA'E GA**, v. 8, p. 141-152, 2004. Tradução de: *Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, v. 39, n. 3, p. 249-272, 1968. <https://doi.org/10.3406/rgpso.1968.4553>
- BORTOLUZZI, E. C.; ELTZ, F. L. F. Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia preta sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 449-457, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000200021>
- 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**, v. 113, n. 5, p. 893–903, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. O grupo Caiuá (Ks): Revisão Estratigráfica e contexto deposicional. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 24, n. 3, p.164-176, 1994.
- FOODY, G. M.; NELLIS, M. D.; WARNER, T. A. **The SAGE handbook of remote sensing**. Londres: SAGE Publications Ltd. 2009.
- HULLEY, G.; VERAVERBEKE, S.; HOOK, S. Thermal-based techniques for land cover change detection using a new dynamic MODIS multispectral emissivity product (MOD21). **Remote Sensing of Environment**, v. 140, p. 755–765, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.10.014>
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Divisão de Geração de Imagens**. 2016. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br>>. Acesso em: 14 de janeiro de 2016.
- IPARDES. **Uso do solo 2001/2001 – Estado do Paraná**. Paraná, 2002. Escala 1:50.000.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos Terrestres**. Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo et al. (coordenador). São José dos Campos: Parêntese. 2009.
- LAL, R.; SHUKLA, M. K. Soil Temperature and Heat Flow in Soil. In: **Principles of Soil Physics**. Nova York: Marcel Dekker. 2004.
- LORENZZETTI, J. A. A radiação termal. In: **Princípios físicos de sensoriamento remoto**. São Paulo: Edgard Blucher. 2015.
- MINEROPAR. **Mapa Geológico do Paraná**. Paraná, 2006. 1 mapa. Escala 1:650.000.

MONTANHER, O. C.; CREMON, E. H.; SOUZA FILHO, E. E. A relação entre o meio físico e o avanço da cana-de-açúcar no noroeste do Paraná. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 4, n.1, p. 20-31, 2010.

MONTANHER, O. C.; PAULO, M. C. M. X-6Scorr: conversão semi-automática de ND de imagens orbitais para FRB baseada em metadados XML e código 6S. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 2, p. 223-231, 2014.

NAKASHIMA, P. **Cartografia dos Sistemas Pedológicos do Noroeste do Paraná**: distribuição e subsídios para o controle da erosão. Tese (Doutorado em Geografia Física) - São Paulo: USP. 1999.

OWE, M.; VAN DE GRIEND, A. A. On the Relationship Between Thermal Emissivity and the Normalized Difference Vegetation Index for Natural Surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, p. 1119-1131, 1993. <https://doi.org/10.1080/01431169308904400>

QUAN, J.; CHEN, Y.; ZHAN, W.; WANG, J.; VOOGT, J.; WANG, M. Multi-temporal trajectory of the urban heat island centroid in Beijing, China based on a Gaussian volume model. **Remote Sensing of Environment**, v. 149, p. 33-46, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.03.037>

REVISTA PLANTIO DIRETO. **A palha como patrimônio**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora. p. 149-150, dez. 2015.

SINCLAIR, T. R.; WEISS, A. **Principles of Ecology in Plant Production**. 2 ed. Cambridge, MA: CABI, 2010.

VERMOTE, E. F.; TANRE, D.; DEUZE, J. L.; HERMAN, M.; MORCRETTE, J. J. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens.**, v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997. <https://doi.org/10.1109/36.581987>

WENG, Q.; FU, P.; GAO, F. Generating daily land surface temperature at Landsat resolution by fusing Landsat and MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 145, p. 55-67, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.003>

WWF – World Wildlife Fund. **Plantio Direto**. Disponível em: [www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/reducao\\_de\\_impactos2/agricultura/agr\\_acoes\\_resultados/agr\\_solucoes\\_cases\\_plantio2](http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/agricultura/agr_acoes_resultados/agr_solucoes_cases_plantio2). Acesso em: 29 de junho de 2016.