



Projeto: Tecnologias para a otimização da produção de uvas de alto potencial enológico na região da Serra do Sudeste-RS

Plano Ação: 30.21.90.081.00.02 - Zoneamento edáfico e climático, ajustes no manejo fitotécnico, elaboração e caracterização de vinhos e confecção de matrizes de potencialidade enológica com mapeamento de solos e vigor das plantas para o incremento do potencial enológico das uvas e da qualidade dos vinhos das parcelas vitícolas.

Responsável: Rosemary Hoff – Pesquisadora Sensoriamento remoto e Geoprocessamento

Instituição: Embrapa Uva e Vinho

Nota técnica: Investigação de índices de solos de vinhedos a partir de imagens ASTER em Encruzilhada do Sul, Brasil

Introdução

Estudos associados à viticultura, geomorfologia e solos têm sido feitos no Rio Grande do Sul desde o final da década de 1990, como na região vitivinícola Serra Gaúcha, para caracterizar as regiões de indicações geográficas (Falcade e Mandelli 1999; Hoff et al. 2012, 2014; Tonietto et al. 2008). Na região vitivinícola Serra do Sudeste, tanto em Encruzilhada do Sul como em Pinheiro Machado, os vinhedos se situam sobre rochas do Proterozóico Médio a Superior do Escudo Sul-Rio-Grandense (Bergmann et al. 2009, Hoff et al. 2010; 2017). Na região vitivinícola Campanha, há ampla distribuição dos vinhedos sobre uma diversidade unidades geomorfológicas (Hoff et al. 2018).

A maioria dos solos é uma mistura de argila, matéria orgânica, areia e silte, seus minerais possuem átomos e moléculas que determinam propriedades espectrais, mostrando características ao longo do espectro eletromagnético, sendo observado por sensores de campo e por imagem de satélite. A integração de diferentes métodos facilita o mapeamento dos minerais que podem caracterizar tipos de solo, auxiliando os mapeamentos, a classificação e atualização.

Na Serra do Sudeste, RS, tem-se levantamentos de solos escala 1:50.000 em Encruzilhada do Sul (Cunha et al. 2005, Flores et al. 2007) e estudos de solos por imagens de satélite poderiam atualizar estes mapeamentos. As imagens do ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and



Reflection Radiometer) foram utilizadas nos projetos da Embrapa Uva e Vinho em parceria com o CEPARM/UFRGS, por uma parceria com o JPL/NASA, desde as duas últimas décadas aplicados a estudos de pós-graduação e projetos de pesquisa relacionados às áreas de produção de *Vitis vinifera*. Por exemplo, o processamento do modelo digital de elevação da ASTER, bem como a integração dos dados espectrais e do campo foram feitas na região da área em estudo (Hoff et al. 2009). Além disso, Estudos espectrais de solos por imagem ASTER foram realizados no Brasil (Baptista et al. 2000, Vicente et al. 2011, Baptista et al 2016).

O mapeamento espectral mineral é baseado nas suas interações específicas com a radiação eletromagnética na faixa de comprimento de onda entre 400 e 14000 nanômetros, ocorrentes na superfície dos materiais, podendo ser medido em escala nanométrica em laboratório com espectrorradiômetros, bem como em escala métrica por sensores de satélites. A medida de reflectância contém feições espectrais relacionadas à composição mineral. Estudos de laboratório demonstraram que a maioria dos minerais mostram feições de absorção (Lyon e Burns, 1963; Lyon, 1965, Hunt e Salisbury, 1971; Clark, 1999), as quais podem diagnosticar a natureza físico-química do material (Duke, 1994). O sensor ASTER, embarcado na plataforma US TERRA (Abrams et al. 2000), fornece cobertura da superfície terrestre em 14 bandas espectrais como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Características do sensor ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (Fonte: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/characteristics.asp>).

Característica	Região do espectro eletromagnético (nm)		
	VNIR	SWIR	TIR
Banda espectral	B1 (520-600) - nadir	B4 (1600-1700)	B10 (81250- 84750)
	B2 (630-690) - nadir	B5 (2145-2185)	B11 (84750-88250)
	B3 (760-860) - nadir	B6 (2185-2225)	B12 (89250-95750)
	B3 (760-860) - backward	B7 (2235-2285)	B13 (10250-10950)
		B8 (2295-2365)	B14 (10950-11650)
	B9 (2360-2430)		
Resolução espacial (m)	15	30	90
Taxa de dados (Mbits/s)	62	23	4.2
Cross-track pointing (graus)	±24	±8,55	±8,55
Cross-track pointing (km)	±318	±116	±116
Largura da faixa (km)	60	60	60
Tipo de detector	Si	PtSi-Si	HgCdTe
Quantização (bits)	8	8	12

Função de resposta do sistema	VNIR chart VNIR data	SWIR chart SWIR data	TIR chart TIR data
-------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------

A maioria dos sensores multiespectrais e hiperespectrais abrangem parte destas faixas do espectro eletromagnético, denominadas janelas. Os materiais com feições de absorção diagnósticas de minerais nestas três regiões citadas do espectro eletromagnético são apresentados na Tabela 2, mostrando relação de cada banda espectral do sensor ASTER com os materiais.

Tabela 2 – Tipos de materiais nos espectros VNIR, SWIR e TIR (Cudahy et al, 2008).

Região do espectro eletromagnético	Assembleia de minerais
VNIR - visível e infravermelho próximo (400 a 1000 nm)	<ul style="list-style-type: none"> •Minerais contendo Fe, Mn, Cr (hematita, goetita, jarosita, crocoíta, pirolusita) •Minerais contendo elementos terras-raras •Vegetação (clorofila e água foliar)
SWIR - infravermelho de ondas curtas (1000 a 2500 nm)	<ul style="list-style-type: none"> •Minerais portadores de AlOH: mica branca (paragonita, muscovita, fengita, ilita, pirofilita); caolim (caolinita, haloisita, diquita e nacrita); esmectita (montmorilonita e beidelita). •Sulfato: alunite, jarosita e gipso. •Si (OH): sílica opala •Minerais de Fe (OH): nontronita e Fe-clorita •Minerais de MgOH: saponita, vermiculita, epidoto, clorita (Mg/Fe), biotita, flogopita, antigorita, tremolita, actinolita, talco, serpentinita, hornblenda. •Carbonato: calcita, dolomita, magnesita, anquerita, siderita. •Vegetação: celulose, lignina, ceras, óleos, proteínas, água foliar. •Hidrocarbonetos: plásticos, solos contaminados com óleo combustível.
TIR - infravermelho termal (7600 a 14000 nm)	<ul style="list-style-type: none"> •Sílica: quartzo, sílica opalina. •Feldspato: microclínio, albita, anortita. •Piroxênio: ortopiroxênio (enstatita), clinopiroxênio (diopsídio). •Granada: almandina, espessartita, piropo, andradita e grossulária. •Olivina: faialita e forsterita. •Carbonato: calcita, aragonita, dolomita, magnesita, anquerita, siderita, cerusita. •Sulfato: alunite, jarosita e gipso. •Vegetação: composição e estrutura.

A resolução multiespectral do sensor ASTER permite o mapeamento de grandes grupos minerais, como óxidos de ferro, AlOH, argilas, MgOH/carbonatos e SiO₂/sílica. Em comparação com a série de sensores Landsat TM, que têm resolução espectral menor em apenas sete bandas, o sensor

ASTER é mais adequado pela capacidade de mapear a mineralogia e também estar disponível para download gratuito (Figura 1).

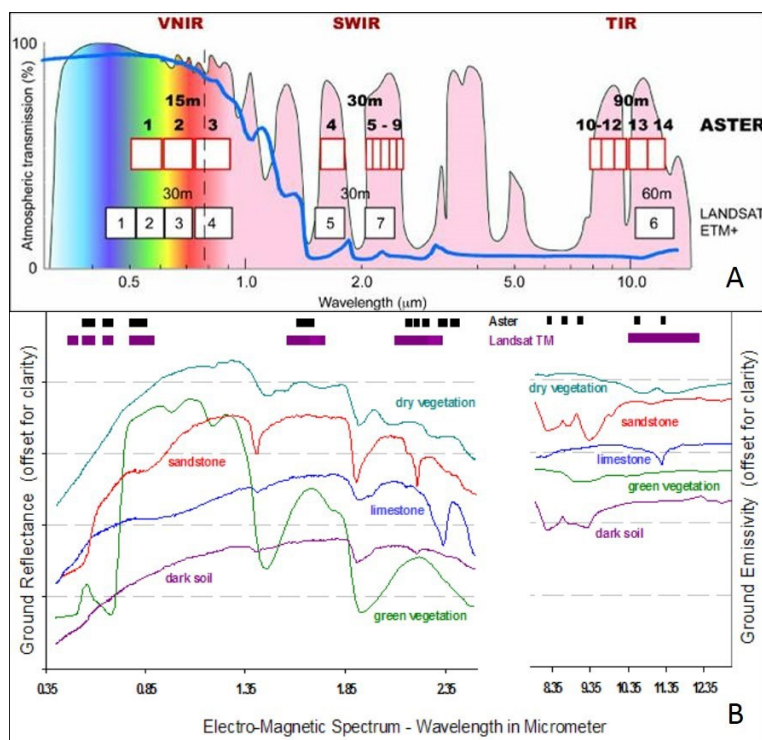


Figura 1 – Comparação entre sensor ASTER e LANDSAT: A) Resolução espectral (<https://asterweb.jpl.nasa.gov/images/spectrum.jpg>); B) Feições espectrais dos materiais rochosos e vegetação (Cudahy et al. 2008).

As argilas são filossilicatos, frequentemente encontrados em solo, como caulinita, illita, esmectitas e montmorilonita. São importantes minerais para disponibilizar nutrientes para plantas, tendo uma grande área superficial e carga negativa. Os nutrientes das plantas tendem a ser carregados positivamente, como Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} e Na^{+} . Quanto maior a quantidade de argila no solo, pode aumentar a capacidade de troca de cátions (CTC), mantendo e armazenando nutrientes para as plantas. As argilas também atuam como aglutinantes de partículas, ajudando o solo a manter a umidade e reduzindo a perda de nutrientes devido à lixiviação.

A análise do solo por espectroradiometria é feita em geral na faixa espectral de 350-2500 nm, sendo uma forma rápida e não destrutiva de medida, aliada com análise por software de identificação de minerais, baseando-se em bibliotecas espectrais. As bandas de absorção diagnósticas das caulinitas estão entre 1350-1450 nm e 2100-2250 nm, enquanto a esmectita



apresenta uma absorção em 1900 nm, devido à ligação da água em cátions hidratados (Clark 1999). As argilas illita, caulinita e montmorilonita mostram absorções próximas a 2200 nm devidas a vibrações combinadas de Al-OH, H₂O, OH e CO₃. Para a caulinita, uma absorção aos 1400 nm é devida à combinação de alongamento O-H e uma curva de Al-OH em 2200 nm.

A montmorilonita tem fortes absorções a 1400, 1900 e 2200 nm. A camada octaédrica causa uma primeira absorção de O-H estrutural que aparece em 1400 nm. A água encapsulada nas redes de esmectita mostra absorções nas bandas combinadas 1400 e 1900 nm, devido a vibrações. Esmectita e illita às vezes mostram absorções muito similares em 1400, 1900 e 2200 nm, mas illita pode ser distinguida de esmectita por absorções complementares em 2340 e 2445 nm (Clark 1999). Alguns minerais se destacam pelo comportamento espectral marcado nos espectros VNIR e SWIR (Figura 2), bem como no espectro TIR (Figura 3).

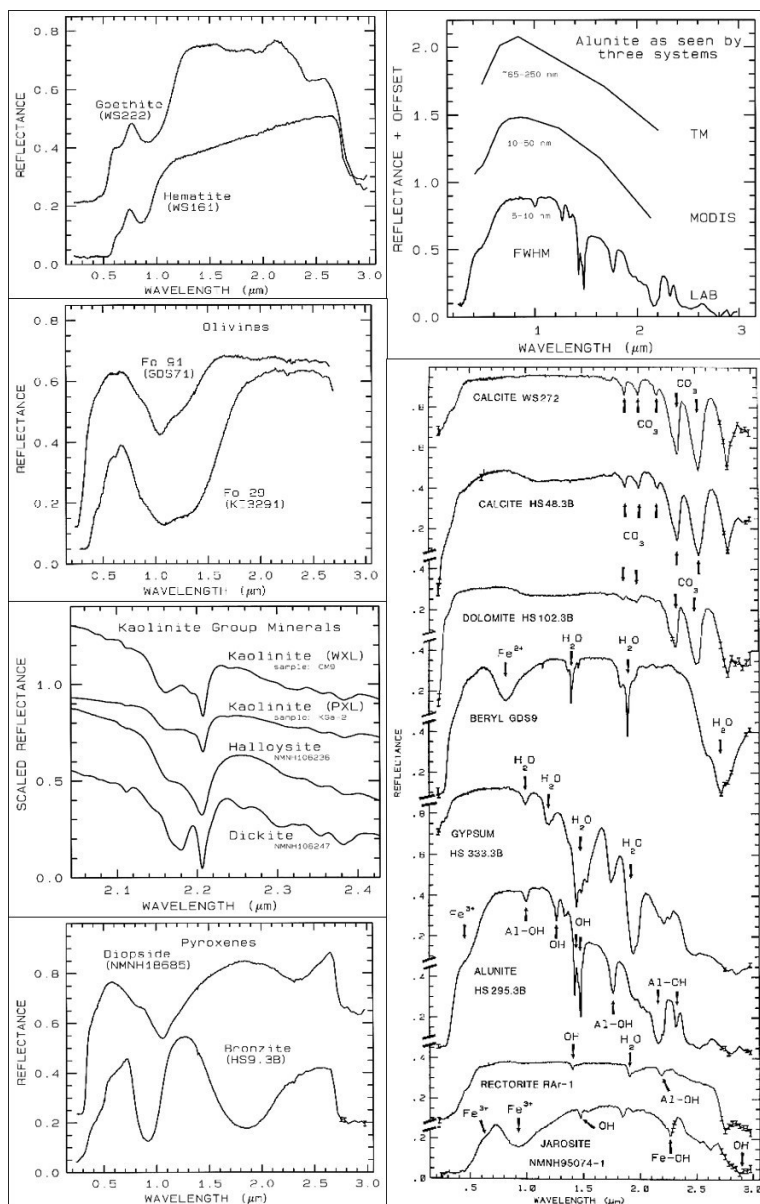


Figura 2 – Comportamento espectral de minerais no espectro visível e infravermelho próximo – VNIR (Clark 1999).

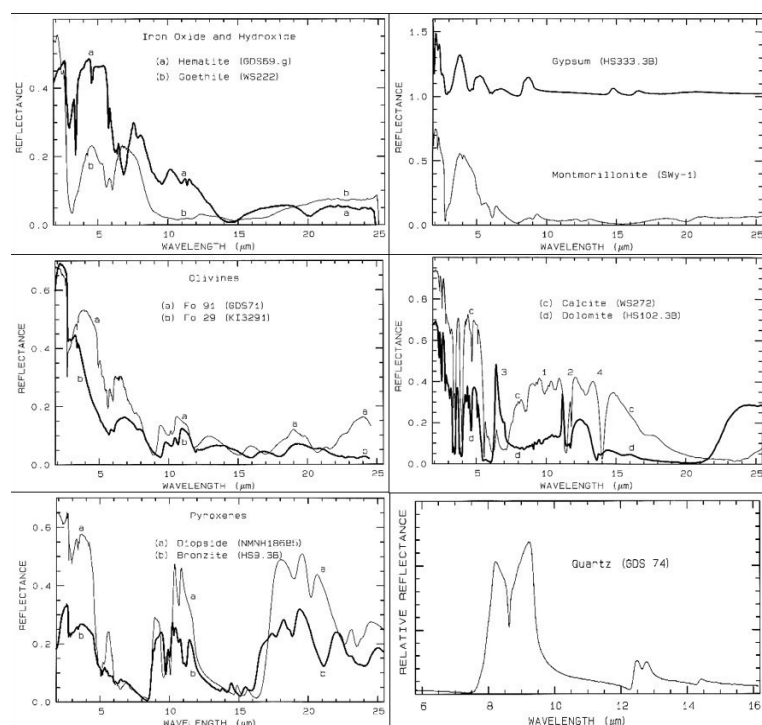


Figura 3 – Comportamento espectral de minerais no espectro termal – TIR (Clark 1999).

Quanto ao espectro termal, Rockwell e Hofstra (2008) investigaram o quartzo por imagem ASTER para diferenciar de outros minerais, com base na relação entre as feições de quartzo de baixa emissividade nas bandas 10 e 12 e as feições de alta emissividade nas bandas 11 e 13. Vicente et al. (2010) compararam índices espectrais aplicados às bandas ASTER TIR por meio de operações entre bandas para diferenciação mineral, tais como filossilicatos de argila. A alta concentração de filossilicatos em 8300 nm, caracterizada por altos valores de emissividade, sendo que as bandas 11 e 12 apresentaram bandas de absorção dos argilominerais. Vicente et al. (2017) investigaram a vegetação não fotossinteticamente ativa, focada nos comprimentos de onda 10700 nm e 11500 nm, explorando a relação de alta emissividade na banda 11 e a soma de ambas características de absorção diagnóstica nas bandas 13 e 14, localizadas na região de baixa emissividade.

Material e método

Para o mapeamento espectral dos minerais do solo na área vitícola principal das duas regiões, serão utilizadas todas as 14 bandas espectrais do sensor ASTER, do intervalo 0,53 a 11,65 μm , relativos ao espectro eletromagnético do visível ao infravermelho termal. O pré-processamento foi feito para a correção atmosférica das imagens quanto ao efeito cross-talk das bandas do SWIR. Este



efeito é causado pela dispersão da energia eletromagnética que incide na banda 4 do sensor (ERSDAC, 2003), também para diminuição dos efeitos de absorção e espalhamento da radiação devido à interação de partículas e gases da atmosfera. A correção atmosférica utilizou o módulo FLAASH (Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes), do software ENVI 5.4, no qual foram configurados parâmetros como o tipo do sensor, a data e hora de varredura do sensor sobre a superfície analisada. Também foram configurados os parâmetros para o modelo de atmosfera, como o tipo de ambiente, presença de nuvens, altura média da área e o tipo de clima.

O processamento digital de imagem consistiu fundamentalmente de operações aritméticas para a extração de índices espectrais. Segundo Menezes e Almeida (2012), a aritmética de bandas é uma das mais simples formas de processamento de imagens e que pode mostrar resultados expressivos. A facilidade para executar as operações aritméticas de soma, subtração, multiplicação e divisão é uma notável vantagem do uso de processamento de imagens multiespectrais, visando obter realces de alvos específicos. As operações aritméticas consistem no processamento de dados a partir da combinação de imagens, gerando como resultado uma nova matriz de dados, ou seja, novas imagens. O processo é executado pixel a pixel por meio operações matemáticas envolvendo no mínimo duas bandas do mesmo sensor ou bandas de datas de aquisição diferentes. No caso, buscou-se o contraste espectral de feições de absorção diagnósticas de minerais.

Existem pesquisas de índices aplicados ao mapeamento espectral de unidades litológicas que incluem as bandas TIR do ASTER, as quais correspondem ao comportamento espectral de minerais como quartzo e feldspato, entre outros. Nesse estudo serão testados índices conforme a Tabela 3. O Índice de Sultan (Sultan et al. 1987) utiliza razão de bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR) para identificar e diferenciar litologias. O Índice de Abrams (Abrams e Hook, 1995) se aplica a aritmética de bandas para determinar extensão de correlação existente entre duas ou mais bandas. O foco deste índice é remover a redundância dos dados multiespectrais para mapeamento de zonas de alteração hidrotermal, podendo ser empregado na pesquisa de argilo-minerais de solos.

Alguns destes processamentos por operações aritméticas de imagens visaram, além da discriminação litológica, gerar curvas espectrais e identificar bandas de absorção diagnósticas de minerais. Foi testado o índice de absorção da argila por Bierwith (2002), pois oferecia melhor discriminação de áreas ricas em argilominerais. Para realizar o índice de sílica/carbonato poderia ser utilizado o infravermelho termal pelas bandas 10 a 14 do ASTER, pois esses minerais têm características de absorção nesta região.

Tabela 3. Razões e combinações de bandas para sensor ASTER (adaptado de Kalinowski e Oliver, 2004).

Material	Canal/bandas			Referência
	R	G	B	
Vegetação e bandas do visível **	3, 3/2, NDVI	2	1	
Minerais de AlOH/alteração argilosa avançada ***	5/6 (fengita)	7/6 (muscovita)	7/5 (caolinita)	Hewson (CSIRO)
Argila, anfibólio, laterita	(5*7)/(6*2) (argila)	6/8 (anfibólio)	4/5 (laterita)	Bierwith
Gossan, alteração, rocha hospedeira	4/2 (gossan)	4/5 (alteração)	5/6 (rocha hospedeira)	Volesky
Gossan, alteração, rocha hospedeira	6 (gossan)	2 (alteração)	1 (rocha hospedeira)	
Decorrelação(Envi)	13	12	10	Bierwith
Sílica, carbonato, rocha básica	(11*11)/10/12 (sílica)	13/14 (carbonato)	12/13 (rocha básica)	Bierwith
Sílica, carbonato	(11*11)/(10*12) (sílica)	13/14	12/13	Nimoyma
Sílica	11/10	11/12	13/10	CSIRO
Discriminação por mapeamento	4/1	3/1	13/14	Abdelsalam
Discriminação de áreas ricas em sulfetos	12	5	3	
Discriminação	4/7	4/1	(2/3)*(4/3)	Sultan
Discriminação	4/7	4/3	2/1	Abrams (USGS)
Sílica, Fe ²⁺	14/12	(1/2)+(5/3)	MNF B1	Rowan (USGS)
Realce de feições estruturais	7	4	2	Rowan (USGS)

** Equivalente Landsat RGB 432 *** Alunita/pirofilita, mica, caolinita/diquita

O conjunto de 14 bandas do ASTER foi reamostrado para a resolução 15 metros conforme a faixa VNIR, a fim de calcular os índices propostos para diagnóstico mineral. Posteriormente, os resultados foram reamostrada para 1 metro no âmbito dos vinhedos, a fim de proporcionar uma melhor visualização da variabilidade dos índices calculados (Hoff et al. 2017).

Resultados

Foi escolhida imagem de época de seca na região, na fase de poucas folhas nas videiras. Os dados dos mapas sugerem a variabilidade dos materiais avaliados espectralmente. Sugere-se que sejam comparados com dados de análises de solos do projeto, bem como com espectrorradiometria de campo e de laboratório.

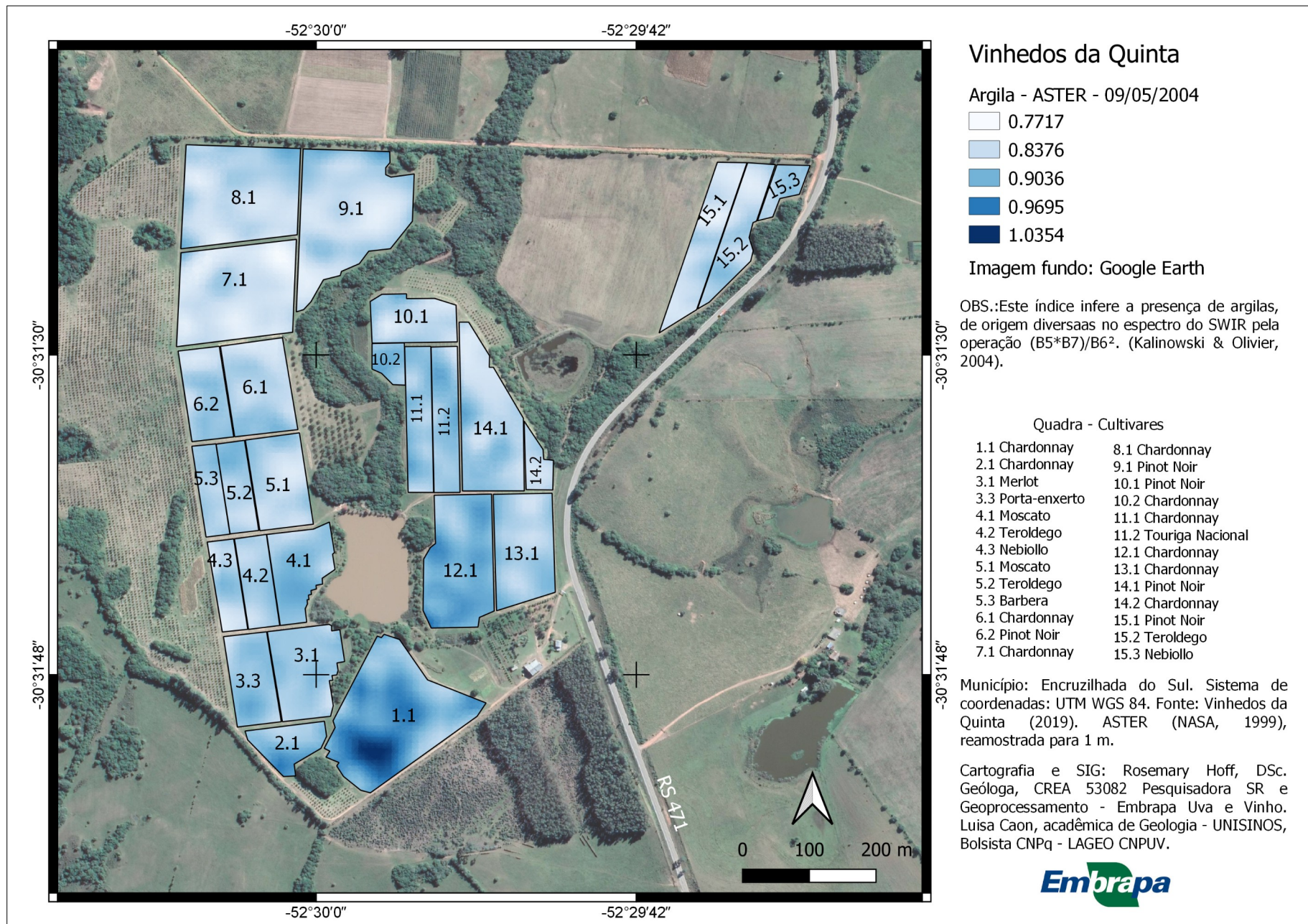


Figura 4. Índice de argilas a partir do espectro SWIR do sensor ASTER, pela operação das bandas $[(B5*B7)/B6^2]$ (Kalinowski & Olivier, 2004).

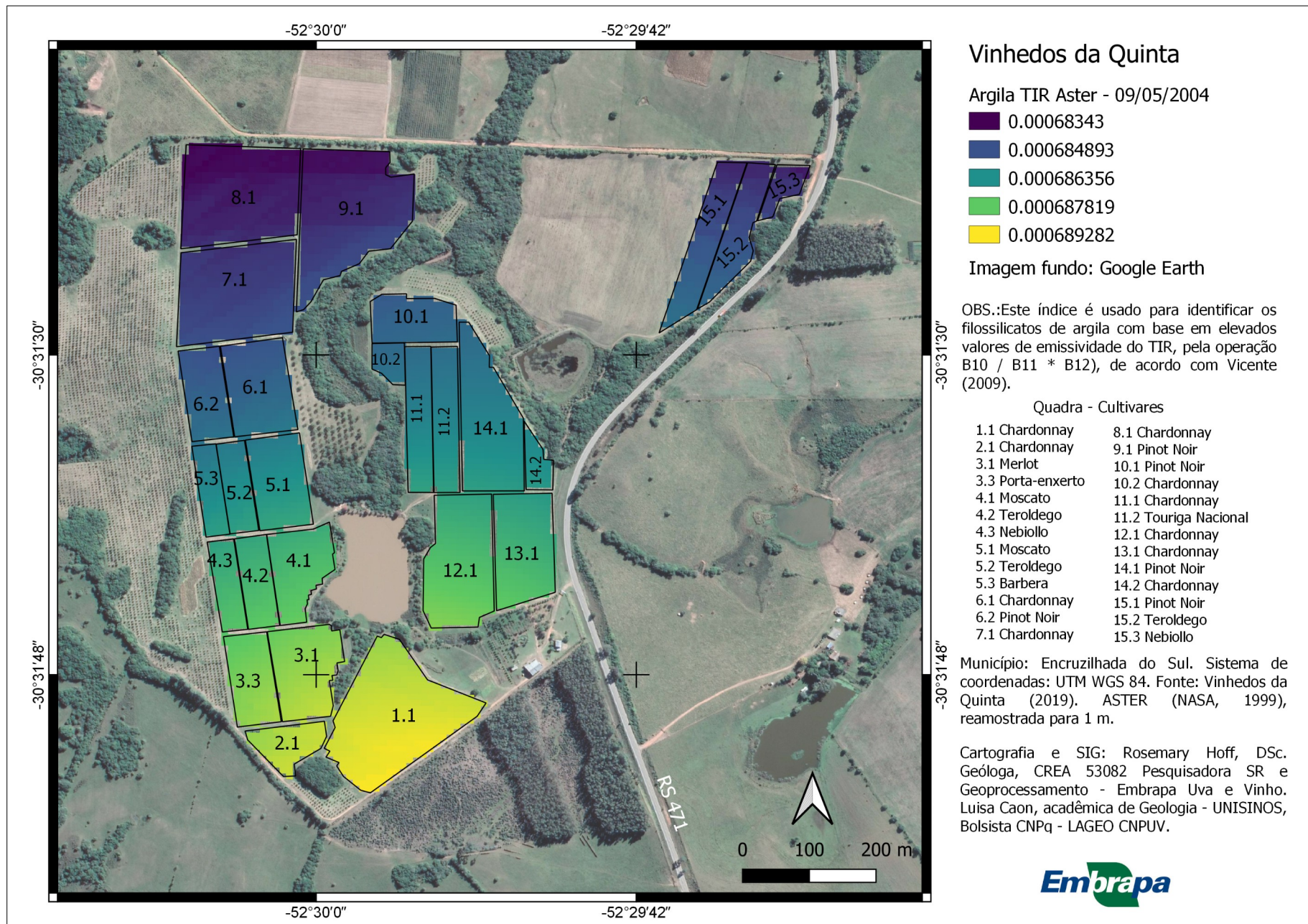


Figura 5. Índice de argilas a partir do espectro TIR do sensor ASTER, pela operação $[B10 / B11 * B12]$, de acordo com Vicente (2010).

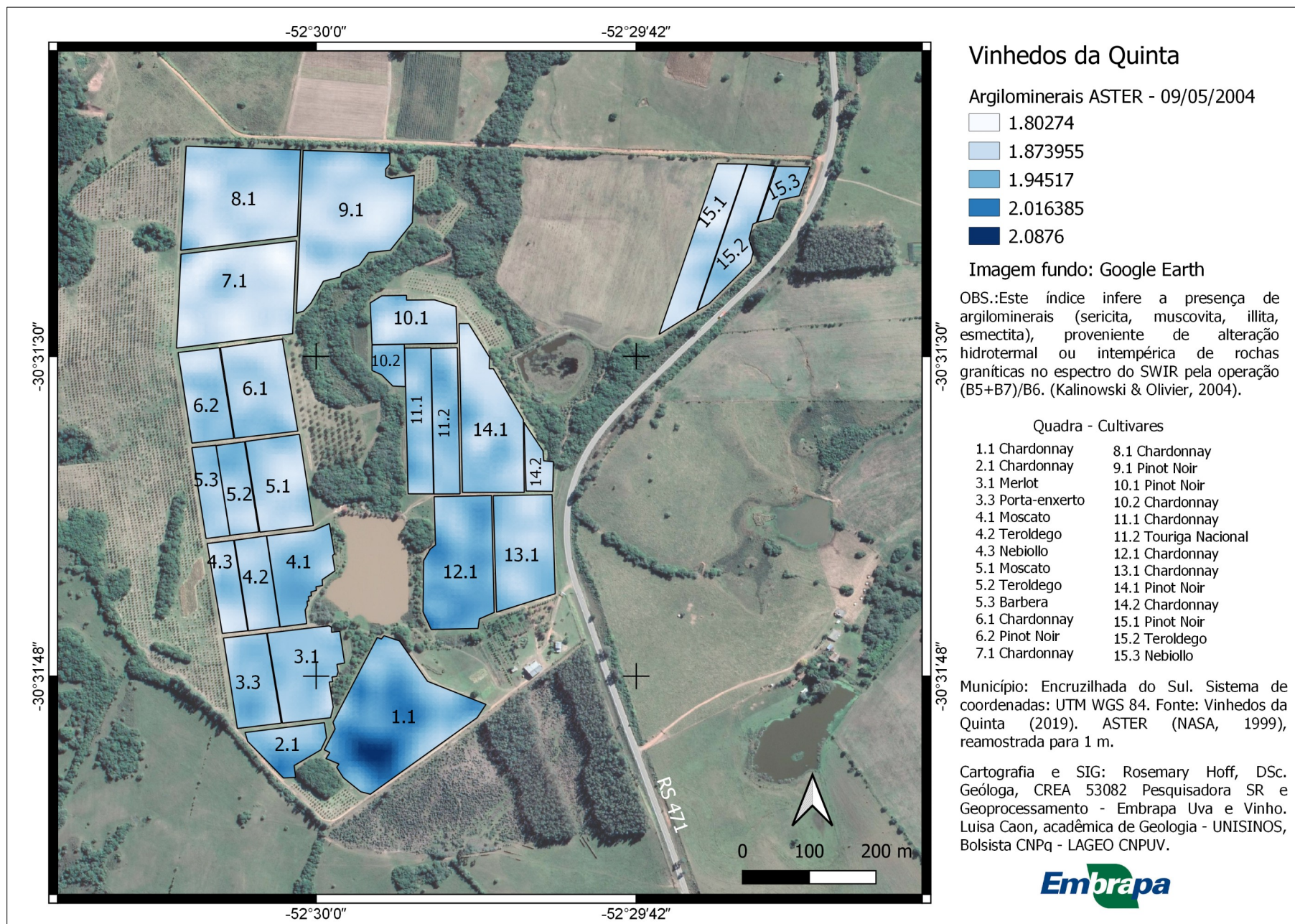


Figura 6. Índice de argilominerais a partir do espectro do SWIR (ASTER) pela operação $[(B5+B7)/B6]$ (Kalinowski & Olivier, 2004).

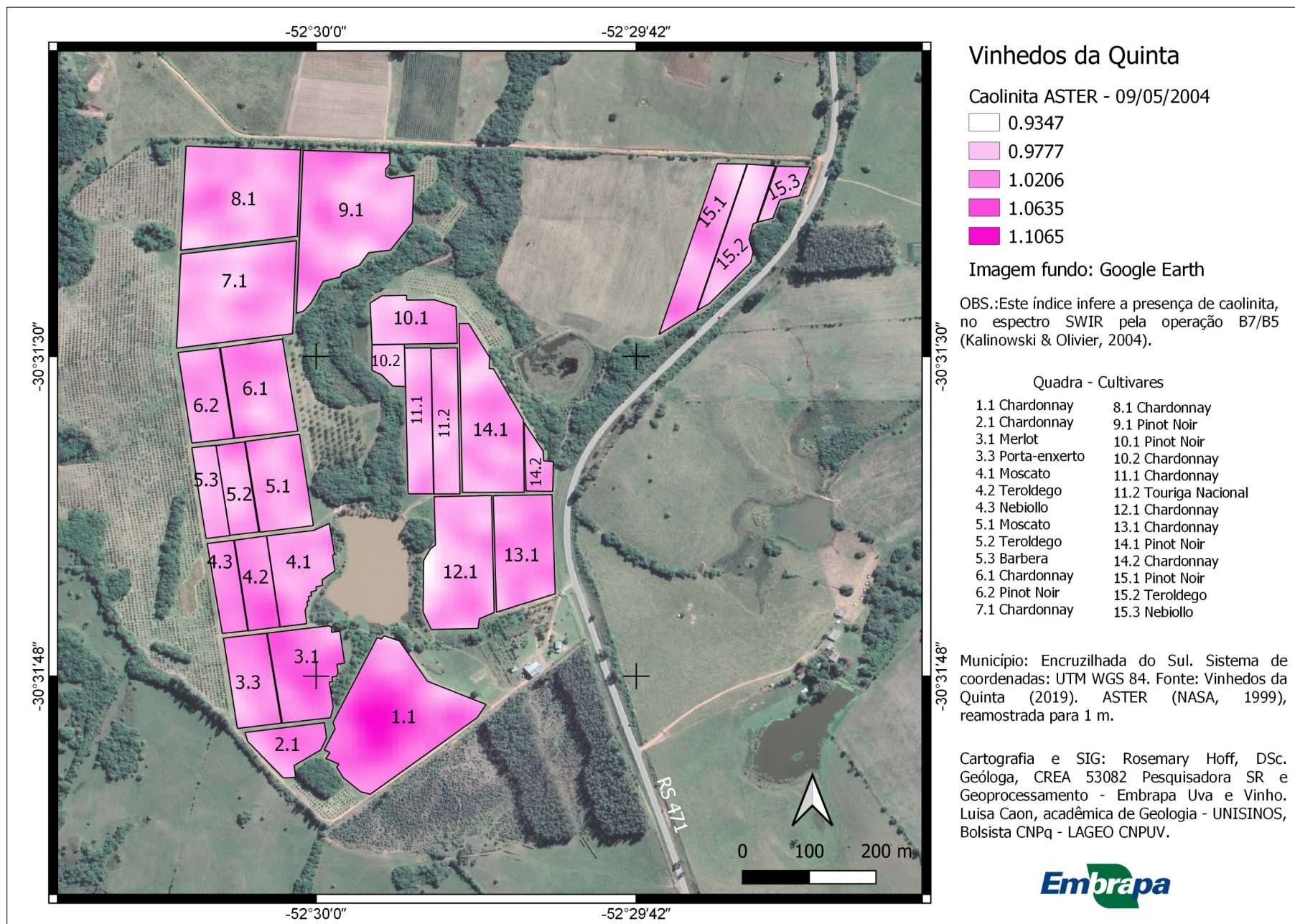


Figura 7. Índice de caolinita, a partir do espectro SWIR (ASTER) pela operação [B7/B5] (Kalinowski & Olivier, 2004).

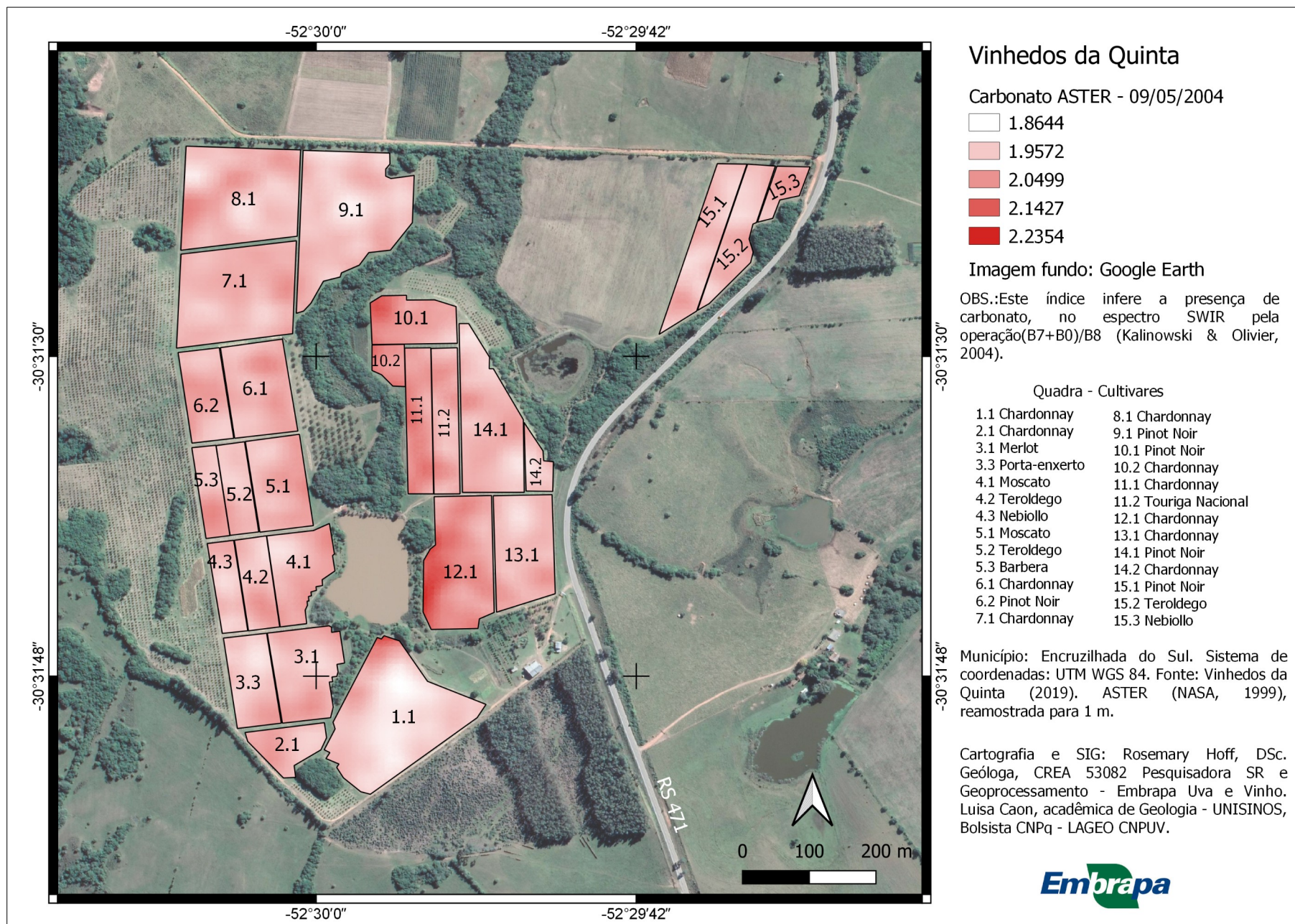


Figura 8. índice de carbonato, a partir do espectro SWIR (ASTER) pela operação [(B7+B0)/B8] (Kalinowski & Olivier, 2004).

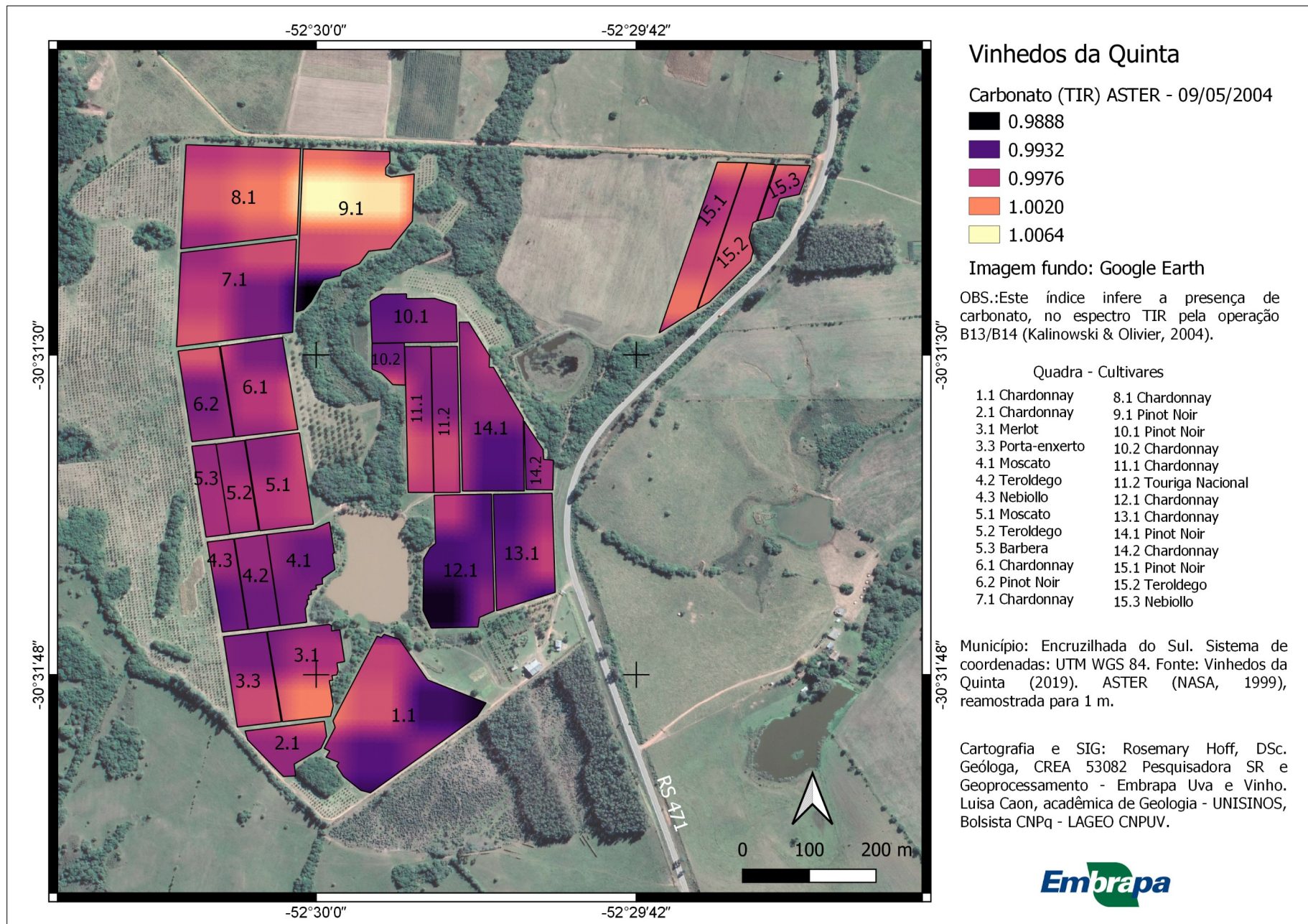


Figura 9. :índice de carbonato, a partir do espectro TIR (ASTER) pela operação [B13/B14] (Kalinowski & Olivier, 2004).

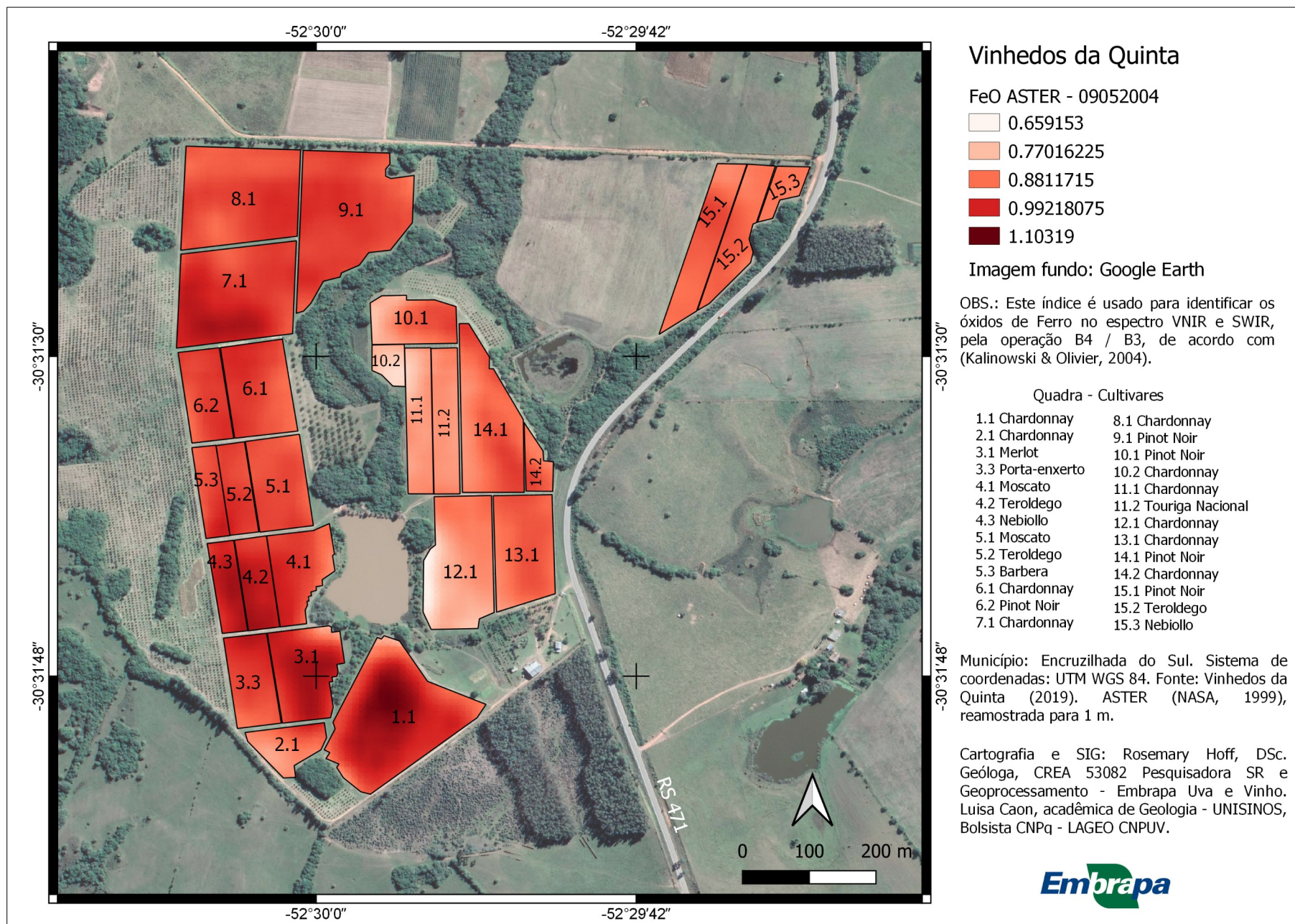


Figura 10. índice de óxidos de Ferro a partir dos espectros VNIR e SWIR (ASTER), pela operação [B4 / B3] (Kalinowski & Olivier, 2004).

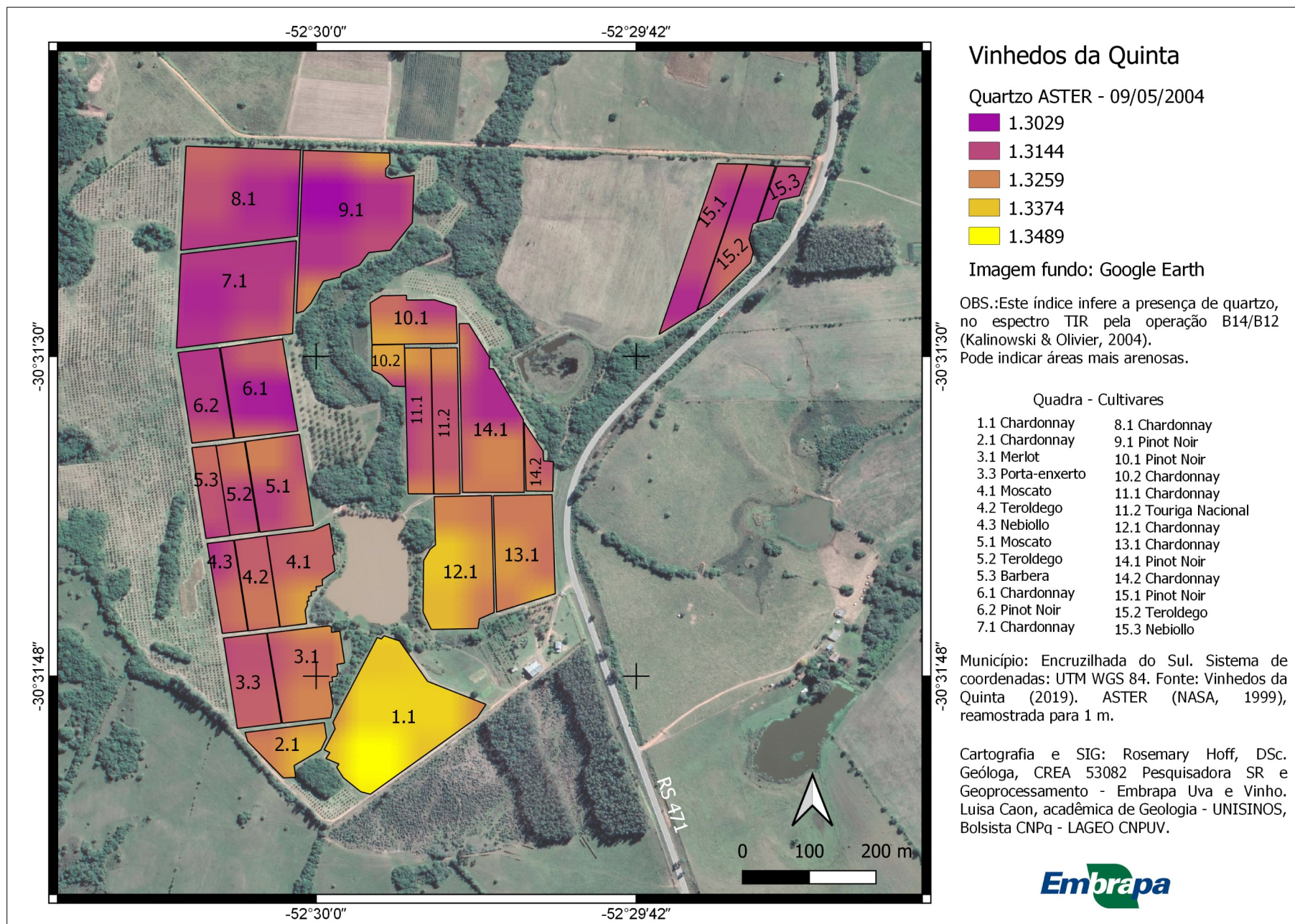


Figura 11. Índice de quartzo, a partir do espectro TIR (ASTER) pela operação [B14/B12] (Kalinowski & Olivier, 2004).

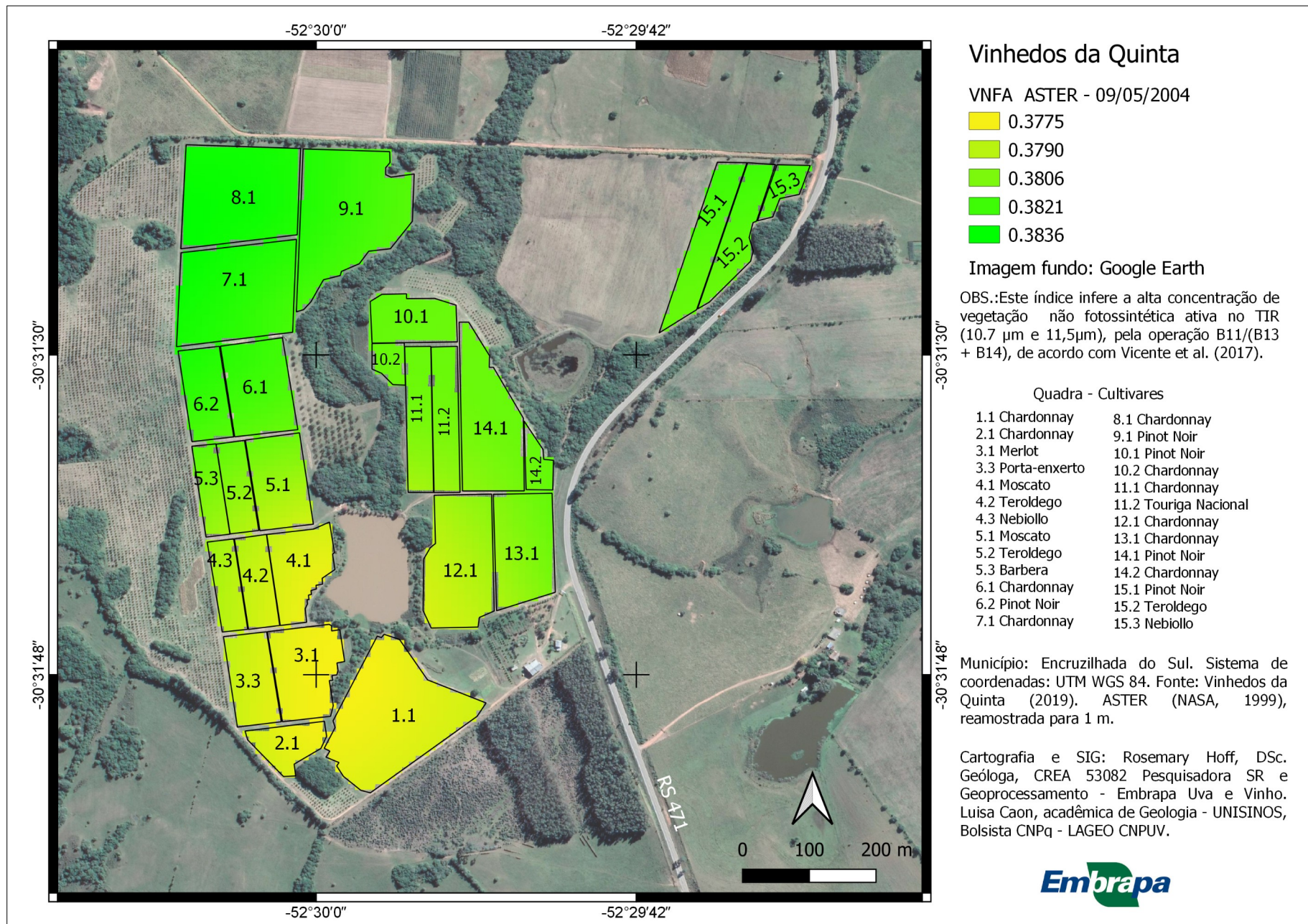


Figura 12. :Índice de vegetação não fotossintética a partir do espectro TIR (ASTER), pela operação [B11/(B13 + B14)] (Vicente et al. (2017).



Conclusão e recomendações

Os dados podem de dar suporte às outras áreas de estudo do projeto e foram inclusos no banco de dados geográfico da Embrapa (GeoInfo). Podem também ser referência metodológica para estudos de indicação geográfica na região vitivinícola Serra do Sudeste.

Referências

- Abrams M, Hook SJ (1995). Simulated ASTER data for geologic studies. IEEE Tran. Geol. Rem. Sens., 33(3). P 692-699. Disponível: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=387584>
- Abrams M., Hook S.J., Ramachandran, B. (2000). ASTER User Handbook Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. Version 2 Disponível: http://ftp.glcf.umd.edu/library/pdf/aster_user_guide_v2.pdf
- Baldrige, A.M., Hook, S.J., Grove, C.I., Rivera, G., 2009. The ASTER spectral library version 2.0. Remote Sens. Environ. 113, 711–715. Disponível: <https://doi.org/10.1016/J.RSE>.
- Baptista, G.M. De M.; Madeira Netto, J. Da S.; Meneses, P.R. Mapeamento dos teores de argila de solos tropicais, por meio de dados de sensoriamento remoto multiespectral (ASTER) e Hiperespectral (AVIRIS). Sociedade & Natureza, Uberlandia, v.12, n.23, p.133-146, 2000.
- Baptista, G. M. De M.; Vivaldi, D. D.; Meneses, P. R. Correção atmosférica e de "crosstalk" em dados Aster para mapeamento da relação mineralógica de solos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1272-1282, set. 2016. Título em inglês: Atmospheric and crosstalk corrections in Aster data for the mapping of soil mineralogical relationship.
- Bergmann, M.; Hoff, R.; Ducati, J. R. Implantação da biblioteca espectral de rochas e solos da CPRM: um resgate da memória espectral da litoteca e apoio a projetos Projetos de Levantamentos Geológicos Básicos (PLGB). In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. P. 3159-3166. il., color. Disponível: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.01.34.40/doc/3159-3166.pdf>



Bierwith P., 2002, Evaluation of ASTER satellite data for geological applications: Consultancy report to Geoscience Australia, 50pp. Disponível: http://grapevine.com.au/~pbierwirth/aster_eval.pdf

Clark, R. N., Chapter 1: Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy, in Manual of Remote Sensing, Volume 3, Remote Sensing for the Earth Sciences, (A.N. Rencz, ed.) John Wiley and Sons, New York, p 3- 58, 1999. Disponível: <https://speclab.cr.usgs.gov/PAPERS.refl-mrs/refl4.html>

Cudahy, T.; Jones, M.; Thomas, M.; Laukamp, C.; Caccetta, M.; Hewson, R.; Rodger, A.; Verrall, M. (2008). Next Generation Mineral Mapping: Queensland airborne HyMap and satellite ASTER surveys 2006-2008. 10.13140/RG.2.1.2828.1844. Disponível: <http://c3dmm.csiro.au/NGMM/QueenslandHyperspectralMineralMappingFinalReport.pdf>

Cunha, N. G.; Silveira, R. J. C.; Severo, C. R. S.; Pinto, L. F. S.; Mendes, R. G.; Silva, J. B.; Duarte, L. R.; Schumacher, R. Estudo de solos do município de Encruzilhada do Sul - RS. Série Embrapa: Circular Técnica 45, 82 p., Ilustr. Brasília, 2005. Disponível: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/30598/1/Circular-45.pdf>

Duke, E.F., 1994. Near infrared spectra of muscovite. Tschermak substitution and metamorphic reaction process. Implications for remote sensing. *Geology*, Vol. 22, 201-219.

Drucker D. P. et al. 2017. GeoInfo - Infraestrutura de Dados Espaciais Abertos para a Pesquisa Agropecuária / GeoInfo - Open Spatial Data Infrastructure for Agricultural Research / GeoInfo - Infraestructura de Datos Espaciales Abiertos para la Investigación Agropecuaria. Disponível: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/169566/1/GeoInfo.pdf>

ERSDAC. ASTER Reference Guide. Version 1.0. In (p. 61): Earth Remote Sensing Data Analysis Center, 2003. 61 p. Disponível: http://www.science.aster.ersdac.or.jp/en/documnts/pdf/ASTER_Ref_V1.pdf

Falcade, I.; Mandelli, F. (Org.). 1999. Vale dos Vinhedos: caracterização geográfica da região. 144 p. EDUCS/Embrapa. Disponível: <https://www.embrapa.br/uva-e-vinho/busca-de-publicacoes/-/publicacao/538724/vale-dos-vinhedos-caracterizacao-geografica-da-regiao>



Flores, C. A. ; Potter, R. O. ; Hasenack, H. ; Weber, E. ; Sarmiento, E. C. Levantamento semidetalhado dos solos na Serra do Sudeste, RS como subsídio ao zoneamento vitivinícola: folha Encruzilhada do Sul. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2009, Fortaleza. Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. Disponível: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/747333/1/digitalizar0020.pdf>

Grego, C. R.; Long, R. M.; Vicente, L. E.; Loebmann, D. G. S. W.; Vedovato, L. B.; Oliveira, B. P.; Leivas, J. F.; Victoria, D. C. Otimização de modelo digital de elevação - ASTER utilizando análise geoestatística. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p. 1237-1243. Disponível em: <http://urlib.net/rep/3ERPFQRTRW34M/3E7GM4S>.

Hoff, R.; Ducati, J. R.; Bergmann, M. (2010). Geologic and geomorphologic features applied for identification of wine terroir unit by digital image processing, spectroradiometric and GIS techniques in Encruzilhada do Sul, RS, Brazil. In: International Terroir Congress, 8. Soave, 2010. Proceedings... CRA-VIT, Conegliano, 44-49. Disponível: <http://terroir2010.entecra.it/atti/pdf/session4.pdf>.

Hoff, R.; Falcade, I.; Bergmann, M.; Modena, R. C. C.; Alberti, R.; Dalcin, M. Geologia, Geomorfologia e Paisagem Vitícola: Uma Abordagem da Identidade Regional da Viticultura. Rev. Bras. Geomorfol. (Online), São Paulo, v.19, n.4, (Out-Dez) p.757-776, 2018.

Hoff, R.; Ducati, J. R.; Bergmann, M. Comparação de dados de modelo digital de elevação - MDE: ASTER e SRTM por processamento digital de imagem para identificação de terroir vitivinícola na Folha Encruzilhada do Sul. RS. Brasil. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto. 14. (SBSR). 2009. Santos. Anais... São José dos Campos: INPE. 2009. Natal. Anais... São José dos Campos: INPE. 2009. p. 215-222. Disponível: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.02.00.46>.

Hoff, R.; Falcade, I.; Tonietto, J. (2012). The geology in the context of geographical indications of fine wines in Serra Gaúcha region (Brazil). In: IXe Congrès International dès Terroirs Vitivinicoles, 2012, Dijon e Reims. Actes.... Université de Bourgogne, Dijon, 1041-1047.

Hoff, R., Ducati, J.R. and Farias, A.R. 2017. GIS and remote sensing to support precision viticulture for analysis of vineyards in the Campanha Wine Region, Brazil. Journal of Environmental &



Agricultural Sciences. 10: 20-32. Disponível:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/161041/1/GIS-RemoteSensing-Precision-Viticulture-2016-1.pdf>

Hunt, G.R. and Salisbury, J.W., 1971. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: III. Silicates, *Modern Geology*, 1: 283-300.

IBGE. 2003a. Folha Porto Alegre (SH.22): geomorfologia. Escala 1:1.000.000. IBGE, Rio de Janeiro. Disponível <http://www.ibge.gov.br/>.

Kalinowski A.; Oliver S. (Org.). ASTER Mineral Index Processing Manual. Remote Sensing Applications, Geoscience Australia, 37 p. Disponível:
http://www.ga.gov.au/webtemp/image_cache/GA7833.pdf

Lyon, R. J. P. and Burns, E A.; Analysis of rocks and minerals by reflected infrared radiation. *Economic Geology*; 58 (2): 274–284. Disponível:
<https://pubs.geoscienceworld.org/segweb/economicgeology/article-pdf/58/2/274/3481821/274.pdf>

Lyon R. J. P.; Analysis of rocks by spectral infrared emission (8 to 25 microns). *Economic Geology*; 60 (4): 715–736. Disponível:
<https://pubs.geoscienceworld.org/segweb/economicgeology/article-pdf/60/4/715/3482491/715.pdf>

Menezes, P. R.; Almeida, T. D. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Universidade de Brasília, Brasília, 2012, 266 p. Disponível:
<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>

Sultan, M., Arvidson, R.E., Sturchio, N.C. & Guinness, E.A., 1987. Lithologic Mapping in Arid Region With Landsat Thematic Mapper Data: Meatiq Dome, Egypt. *Geological Society American Bulletin*. V 9. p 748 - 762. Disponível: <https://courses.eas.ualberta.ca/eas451/Sultan%20et%20al.%201987.pdf>

Tonietto, J. et al. (2008). Monte Belo: características da identidade regional para uma indicação geográfica de vinhos. Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, Circular Técnica 76. Disponível:
<https://www.embrapa.br/uva-e-vinho/busca-de-publicacoes/-/publicacao/542747/monte-belo-caracteristicas-da-identidade-regional-para-uma-indicacao-geografica-de-vinhos>

Vicente, L.E.; Souza Filho, C.R. Detecção de quartzo e argilominerais para o monitoramento de degradação de terras a partir de dados do infravermelho termal do sensor ASTER. *Revista*



Brasileira de Geofísica, v. 28, p. 229-247, 2010. Disponível:
<https://www.scielo.br/j/rbg/a/qTNbwP4wKFHPTmMpLzLB6mB/?format=html>

Wildner et al. 2008. Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000. Disponível em:
www.cprm.gov.br

VICENTE, L. E.; STOLF, M. T.; LOEBMANN, D. G. S. W.; MANZATTO, C.; KOGA-VICENTE, A. Mapping landscape features related to soil Carbon using ASTER Thermal Infrared images. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18. (SBSR), 2017, Santos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2017. p. 7605-7612. Internet. ISBN 978-85-17-00088-1. IBI: <8JMKD3MGP6W34M/3PSMG45>. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP6W34M/3PSMG45>>.