

Revista  
**Ciência, Tecnologia & Ambiente**

---

## **Estudo de susceptibilidade à geada para a cultura da cana-de-açúcar**

Ailton Moisés Xavier Fiorentin<sup>1\*</sup>, Renato Billia de Miranda<sup>2</sup>, Gustavo D’Almeida Scarpinella<sup>3</sup>, João Humberto Camellini<sup>4</sup>, Frederico Fábio Mauad<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Mestre pela Universidade de São Paulo, São Carlos/SP. \*Corresponding author: e-mail: ailton.fiorentin@gmail.com

<sup>2</sup>Doutor pela Universidade de São Paulo, São Carlos/SP

<sup>3</sup>Pós-doutorando pela Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP

<sup>4</sup>Mestre pela Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP

<sup>5</sup>Professor Associado da Universidade de São Paulo, São Carlos/SP

---

### **RESUMO**

Os impactos do clima sobre as culturas agrícolas podem implicar em prejuízos econômicos de grandes proporções. A geada é um desses eventos climáticos que traz complicações, sobretudo no ambiente rural. Um conhecimento mais aprofundado da região, que traga informações de susceptibilidade à geada, pode orientar o produtor a selecionar corretamente a cultura, a variedade e o local a ser desenvolvido o seu cultivo. Neste artigo são correlacionados os dados topográficos e climáticos às regiões com histórico de maior severidade ou ocorrência da geada, com foco voltado à cultura da cana-de-açúcar em um estudo de caso nos municípios de Maracajú e Ponta Porã (MS). Foram criadas faixas de susceptibilidade, como resultado, para cada classe de intensidade. O mapeamento com SIG mostrou que na região leste dos municípios estudados há uma maior propensão de danos às culturas, sobretudo à cana, presente em 35% da região considerada altamente crítica à geada.

**Palavras-chave:** zoneamento agrícola, eventos climáticos extremos, geada.

---

### **ABSTRACT**

Climate impacts on agricultural crops may result in economic losses of major proportions. Frost is one of those weather events that brings complications, especially in the rural environment. A deeper knowledge of the region, which brings information on susceptibility to frost, can guide producer to select the correct culture, variety and location to be developed its cultivation. This article related topographic and climatic data to regions with a history of greater severity or occurrence of frost, focusing geared to the culture of sugarcane in a case study in the municipalities of Maracajú and Ponta Porã (MS). Susceptibility ranges have been created, as a result, for each intensity class. Mapping with GIS showed that in the eastern region of the municipalities studied there is a greater propensity for damage to crops, especially the cane, present in 35% of the region considered highly critical to frost.

**Keywords:** agricultural zoning, extreme weather events, frost.

---

### **INTRODUÇÃO**

Os eventos climáticos extremos, de forma geral, podem ameaçar a produção agrícola, aumentar a vulnerabilidade das pessoas que dependem da agricultura para a sua subsistência e comprometer o

mercado de alimentos (Bellingieri et al., 2012, Lipper et al., 2014, De’Donato and Michelozzi, 2014).

A geada caracteriza um desses eventos extremos. Considerada um fenômeno climático, pode impactar o plantio e a distribuição da produção,

incorrendo em prejuízos ao produtor e ao consumidor, e influenciando negativamente o sistema econômico (Wu, 2014 et al., Klein et al., 2014).

A agricultura constitui uma atividade de risco, principalmente durante o inverno, período com temperaturas mais baixas, parcialmente responsáveis pelo fenômeno climático das geadas (Lucena et al., 2014).

Os danos às culturas dependem do número de ocorrências e intensidade com que a geada incide sobre as plantas. Deste modo, quanto maior a intensidade e duração do evento climático, maiores poderão ser os prejuízos na produção agrícola, influenciando uma alta de preço dos alimentos (Oliveira et al., 2014, Ceccon and Ximenes, 2013).

O termo geada é empregado para descrever condições de temperatura abaixo de 0° Celsius, usado como medida de severidade do congelamento intercelular vegetal, na escala de temperatura (Rodrigues and Lima, 2011).

No Brasil, a geada pode ocorrer com frequência em regiões de latitude acima do paralelo 20°S, abrangendo os Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Ocorre também em alguns países sul-americanos (Uruguai, região centro-norte da Argentina), sudeste dos Estados Unidos e algumas regiões da Austrália e sudeste da China (Pereira et al., 2001, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2014, Zaro et al., 2014).

Há métodos comprobatórios para previsão e diagnósticos dos danos causados pela geada, sendo analisadas séries temporais e micro clima regional. Os estudos mais recentes descrevem modelos probabilísticos que mapeiam a distribuição espaço-temporal e antevêm tais eventos, com o objetivo da criação de planos contingenciais à produção agrícola, bem como aos demais danos (Giarolla et al., 2013, Louka et al., 2014, Crimp et al., 2014, Duman and Wisniewski, 2014, Hu et al., 2014, Brixner, 2014).

Além dos fatores climáticos, a topografia pode contribuir para o agravamento da geada. Este último fator pode contribuir na acumulação e escoamento do fluido (ar frio) e na área em que as

lavouras estão instaladas. Os terrenos menos susceptíveis à ocorrência de geadas são as encostas elevadas com mais de 10% de declive, os espigões e aqueles de configuração convexa com mais de 5% de declive. Por outro lado, devem ser evitadas baixadas e encostas baixas, espigões extensos e planos, terrenos de configuração côncava com baixo declive ou em bacias com gargantas estreitas a jusante (Correia, 2014, Ricce et al., 2014).

O conhecimento dos efeitos de eventos climáticos extremos, principalmente as geadas em diversas culturas, são de grande importância para o zoneamento climático, pois visam à otimização dos resultados de produção (Perissato et al., 2013).

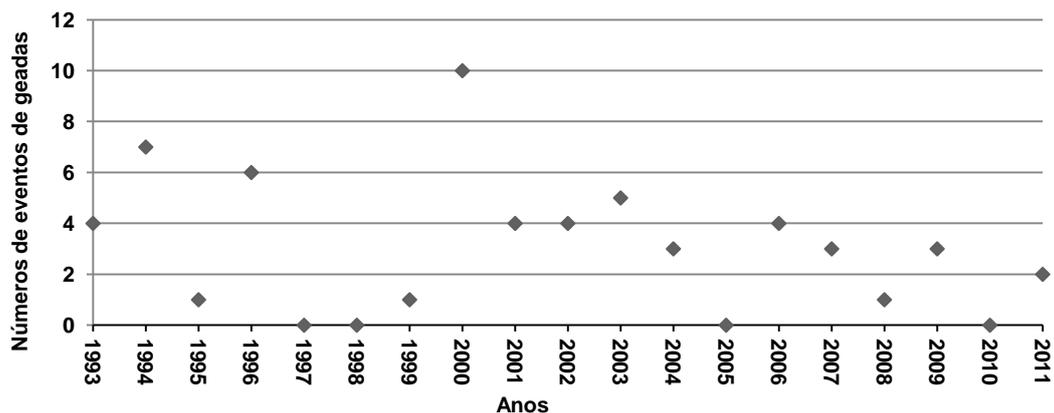
Para isso, se faz necessária a caracterização de regiões de potencial ocorrência da geada para determinadas culturas e para a adoção de variedades resistentes (Oliveira and João, 2012, Chau et al., 2013, Papagiannaki et. al., 2014).

Desse modo, a pesquisa desenvolvida neste artigo teve por objetivo principal identificar e qualificar os locais com susceptibilidade à ocorrência de geadas nos municípios de Ponta Porã e Maracajú (MS) com base nas condições topográficas locais através do uso de ferramentas computacionais disponíveis em Sistema de Informações Geográficas (SIG).

## MATERIAL E MÉTODOS

Para realização deste estudo foram selecionados os municípios de Ponta Porã e Maracajú (sudoeste do estado do Mato Grosso do Sul), que contam com registros de danos agrícolas causados pela geada. É importante destacar que a região escolhida apresenta características topográficas favoráveis à ocorrência da geada, pois a gênese deste fenômeno está relacionada à condição topográfica, além das climáticas.

Os municípios tomados como estudo de caso apresentam um histórico de geadas nos últimos anos. Representado na Figura 1, é possível tomar como base as ocorrências de geadas em Maracajú, entre 1993 e 2011 e pela condição espacial também relacionar ao município vizinho Ponta Porã.



**Figura 1.** Número de geadas ocorridas entre os anos de 1993 e 2011 em Maracajú (MS). Fonte: Adaptado de FUNDAÇÃO MS (2012).

O relevo local dos municípios de Maracajú e Ponta Porã é constituído por uma altimetria que varia de 250 a 750 metros em relação ao nível do mar. Sua topografia é de planícies elevadas, declividades de 0 a 4% (configuração côncava com baixo declive), espigões extensos e planos (divisas de bacias), além de exutório com garganta estreita a jusante e delimitado por um acidente geológico,

denominado serra de Maracajú. Portanto, com condições propensas à ocorrência de geadas, e de interesse para a presente investigação.

Nesta região há o cultivo predominante de grãos, como a soja e o milho, além da produção de cana-de-açúcar e áreas com pastagens. A Tabela 1 apresenta um comparativo dos dois municípios estudados.

**Tabela 1.** Uso e ocupação do solo para as atividades agropecuárias nos municípios de Maracajú e Ponta Porã.

Uso e ocupação	Maracajú	Ponta Porã
Área municipal (ha)	529.918	533.045
Bovinos (cabeças)*	222.742	201.865
Plantio de forrageiras (ha)	6.496	2.158
Lavouras temporárias (soja/milho) (ha)	191.279	121.935
Lavouras permanentes (ha)	226	3.298
Matas e/ou florestas naturais (ha)	74.436	60.248
Pastagens naturais e plantadas (ha)	193.265	216.468

Fonte: IBGE (2006). \*Nota: Dados do censo de 2012.

Embora as culturas de soja e milho sejam predominantes e a pecuária a atividade mais importante do Estado, a cana-de-açúcar vem apresentando uma crescente projeção, merecendo atenção quanto à sua condução, escolha de local para o plantio e seleção de variedades adequadas.

Além do alto potencial de crescimento de produção no estado de Mato Grosso do Sul, a cultura da cana-de-açúcar, normalmente é gerenciada em grandes blocos de área por um único grupo o que facilita a coleta de informações e análise de dados.

Os canais presentes nos municípios de Maracajú e Ponta Porã, em particular, são administrados por um único grupo canavieiro. Em função desta

condição, bem como suas características topográficas, se deu a escolha por esta área. Para o mapeamento da topografia desses municípios, recorreu-se à base de dados numéricos de relevo e da topografia do Brasil, obtidos durante a missão conhecida como SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponibilizada pela Embrapa Monitoramento por Satélite (Miranda, 2005).

Para as análises espaciais quantitativas e qualitativas dos danos causados às plantas da região, foram realizadas consultas a gestores agroindustriais da região (como usinas de açúcar e álcool), além de noticiários impressos locais, com o objetivo de elaborar um banco de dados do histórico da região.

Para aferição dos efeitos da geadas e com o emprego do *software* ARC GIS 10.1, foi realizada uma composição em falsa cor das bandas do satélite Landsat 5 (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS, 2014), que destacam por diferença de espectro a severidade do evento climático. O período posterior a um evento conhecido de geadas foi condicionante para a seleção específica da imagem. Assim, é possível identificar os danos causados à vegetação.

Em consulta à usina sucroalcooleira da região, foram indicados os locais com maiores incidências de danos à geadas, bem como aqueles isentos. Com isso, foi possível criar os pontos de controle para a caracterização das zonas de severidade da geadas. Também os meses de julho e agosto foram relacionados como períodos críticos à ocorrência de geadas, em particular, o evento ocorrido entre esses meses em 2013.

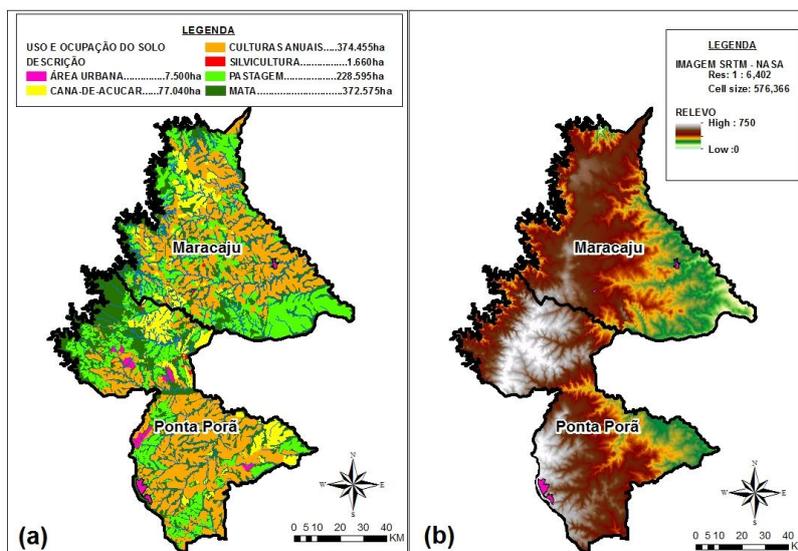
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estados de Mato Grosso do Sul e Paraná apresentaram uma perda de produção equivalente a cerca de 11 milhões de toneladas de cana, devido às geadas ocorridas entre os meses de junho e setembro de 2013 (UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2013). As geadas atingiram os canaviais da usina Vista Alegre, localizada em Maracajú (MS), reduzindo em 5,7% a sua produção de açúcar e etanol. A figura 2 ilustra as consequências de um dos eventos de geadas no local.

Os resultados referentes ao mapeamento do uso do solo, bem como relevo dos municípios de Maracajú e Ponta Porã são apresentados pela Figura 3. A figura 3(a) espacializa geograficamente os locais com predominância de plantio das principais culturas cultivadas nesta região, que têm tradição no cultivo de grãos, atividade pecuária, e mais recentemente da cana-de-açúcar, reforçando os dados do IBGE constantes na Tabela 1. A região tem sua ocupação com cerca de 35,3% da área cultivada por grãos (soja e milho), 21,5% pastagens, 7,3% cana-de-açúcar, 0,2% silvicultura, 35,1% florestas e 0,7% por áreas urbanas. Na figura 3(b), a região de estudo é discriminada quanto à sua altimetria, na qual se faz notório um decréscimo altimétrico no sentido oeste – leste.



**Figura 2.** Canavial atingido pela geadas em Maracajú (MS). (a) colmos com o seu interior apodrecido (gema apical morta). (b) gema apical morta e ao fundo plantas secas em consequência da geadas. (c) comprometimento de parte canavial (ao fundo) pela geadas. Fonte: Elaboração própria.

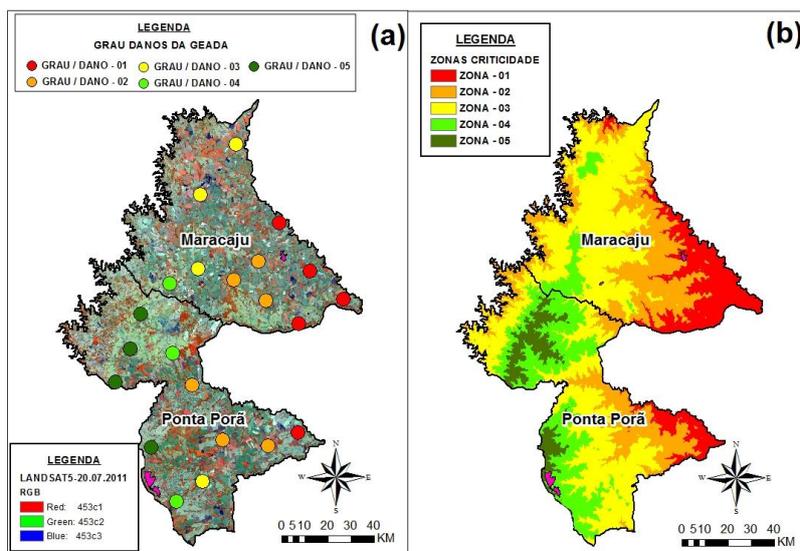


**Figura 3.** Mapeamento dos municípios de Maracajú e Ponta Porã (MS). (a) mapeamento do uso e ocupação do solo. (b) altimetria dos municípios. Fonte: (a) Autores; (b) Adaptado de MIRANDA (2005).

A imagem de satélite que identifica os pontos com grau de danos gerados pela geada é ilustrada pela figura 4(a). Através desta ela é possível verificar as áreas com vegetação de coloração “esbranquiçada” que sofreram com o efeito da geada e os pontos coloridos indicam a severidade dos danos descritos pelos produtores regionais, sendo que nos pontos de cor:

- Verde escuro: não houve evidência de danos da geada;

- Verde claro: houve pequenos danos às folhas das culturas locais;
- Amarelo: algumas folhas sofreram amarelecimento, mas se recuperaram com o passar dos dias;
- Laranja: houve morte parcial da gema apical das plantas;
- Vermelho: houve morte total da gema apical das plantas.



**Figura 4.** Mapeamento das regiões tomadas para o estudo de caso. (a) Pontos com danos à geada. (b) Zoneamento de susceptibilidade à geada dos municípios de Maracaju e Ponta Porã. Fonte: Elaboração própria.

Através da figura 4(a) é possível observar que o grau de danos acompanha a diferença altimétrica do relevo local. Assim, à medida que se caminha para o sentido leste, aonde as altitudes vão decrescendo, as ocorrências de geada são mais severas.

Por meio da espacialização e grau dos danos causados, foram geradas zonas de severidade à geada, ilustrado pela figura 4(b). Nesta figura são identificados, por zonas, os locais com susceptibilidade à geada, recebendo a classificação gradual de 01 a 05, referente à intensidade do dano causado. Assim, a zona 01 representa as regiões com maior severidade de ocorrência das geadas (ou maior criticidade) e a zona 05, regiões com danos menos aparentes, ou mesmo ausência.

Por serem os municípios estudados predominantemente agrícolas, foram confrontadas as informações sobre uso e ocupação do solo da região (Figura 3(a)) com as zonas de susceptibilidade à geada (Figura 4(b)). O resultado é apresentado na tabela 2.

Através da tabela 2 é possível constatar que mais de 1/3 do cultivo de cana-de-açúcar (35%) está locado em áreas com severidade aos danos da geada, consideradas altamente críticas. Somente 3% da produção das culturas anuais (soja e milho), ou seja, 11,30 ha estão localizados em ambientes com criticidade baixa. Já as pastagens ocorrem em mais de 92% nas zonas de 01 a 04, ou seja, áreas que apresentam algum tipo de dano potencial em função da geada.

Neste sentido, por meio do mapeamento das regiões mais suscetíveis à geadas para a região de estudo, Snyder and Melo-Abreu (2005) destacam que existem diversas formas de proteção às culturas agrícolas, as quais eles classificam como proteção: passiva e ativa. Dentre os métodos de proteção passiva recomendados pelos autores, cabe destacar: seleção do local (Figura 4), análise do tipo de

solo, escolha das culturas agrícolas a serem cultivadas no local, nutrição das plantas, poda adequada, arrefecimento para atraso da floração, evitar o cultivo do solo, técnicas para irrigação e tratamento de sementes com produtos químicos. Com relação à proteção ativa, os autores citam: a utilização de aquecedores e máquinas de vento, emprego de aspersores e vaporizadores e espumas de isolamento, dentre outros.

**Tabela 2.** Uso e ocupação do solo em função das zonas de susceptibilidade à geadas dos municípios de Maracajú e Ponta Porã (MS).

DESCRIÇÃO	CANA-DE-AÇÚCAR		CULTURAS ANUAIS		PASTAGEM	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
ZONA-01	26.713	35	31.104	8	43.622	19
ZONA-02	23.698	31	101.9172	27	48.032	21
ZONA-03	15.971	21	174.604	47	74.952	33
ZONA-04	8.9253	12	55.532	15	44.6253	20
ZONA-05	1.733	2	11.296	3	17.361	8
TOTAL	77.040	100	374.453	100	228.592	100

Fonte: Elaboração própria.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do zoneamento foram geradas condições de contorno e limitantes para a produção agrícola de culturas menos resistentes a esse tipo de evento climático. Pode ser considerada a recomendação de variedades mais tolerantes à geadas e, quando não houver essa possibilidade, a escolha por áreas em zonas com menor influência da severidade aos danos. Mecanismos para mitigação, já citados anteriormente podem auxiliar a cultura a se proteger de geadas em regiões de ocorrência de tal fenômeno.

Os municípios estudados apresentaram a predominância de áreas com maior susceptibilidade à geadas na região leste, ficando clara a necessidade de realocamento de culturas como a cana-de-açúcar, por exemplo, que representa 35% (ou sua maior parcela) na Zona 01, relativa àquela com maior potencial de danos e ocorrência de geadas.

Sobretudo o zoneamento teve sua eficiência na identificação dos locais com maior susceptibilidade à geadas contribuindo no âmbito

regional na produção e implementação das culturas, como forma de planejamento no desenvolvimento da agricultura.

## REFERÊNCIAS

- BELLINGIERI, J.C., BORGES, A.C.G. and SOUZA, J.G., 2012. Interpretações sobre fatores de exclusão de pequenos agricultores no setor citrícola. *Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia*, vol. 10, no. 1, pp. 27-42.
- BRIXNER, G.F. et al., 2014. Risco de geadas e duração dos subperíodos fenológicos da ‘Cabernet Sauvignon’ na região da Campanha. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 18, no. 2, pp. 217-224.
- CECCON, G.; XIMENES, A.C.A., 2009. Sistemas de produção de milho safrinha em Mato Grosso do Sul. *Seminário Nacional de Milho Safrinha*, v. 10, pp. 25-31.
- CHAU, V.N., HOLLAND, J., CASSELLS, S. and TUOHY, M., 2014. Using GIS to map impacts upon

- agriculture from extreme floods in Vietnam. *Applied Geography*, vol. 41, pp. 65-74.
- CORREIA, M.F., 2014. Clima e olivicultura. Potencialidades locais na região de Alvega. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, vol. 1, no. 5, pp. 117-142.
- CRIMP, S. et al., 2014. Bayesian space-time model to analyse frost risk for agriculture in Southeast Australia. *International Journal of Climatology*, vol. 35, no. 8, pp. 2092-2108.
- DE'DONATO, F. and MICHELOZZI, P., 2014. Climate change, extreme weather events and health effects. In: S. GOFFREDO AND Z. DUBINSKY, editors. *The Mediterranean Sea*. Springer Netherlands, pp. 617-624.
- DUMAN, J. G. and WISNIEWSKI, M. J., 2014. The use of antifreeze proteins for frost protection in sensitive crop plants. *Environmental and Experimental Botany*, vol. 106, pp. 60-69.
- FUNDAÇÃO MS., 2012 [viewed 23 September 2014]. *Ocorrência de geadas em Maracaju nos últimos 18 anos*. Available from: [http://www.fundacaoms.org.br/base/www/fundacaoms.org.br/media/attachments/64/64/539b0ad2cc9c3b4e921b7cc185287e3ba0c872d9ad411\\_06-ocorrencia-de-geadas-em-maracaju-nos-ultimos-dezoito-anos.pdf](http://www.fundacaoms.org.br/base/www/fundacaoms.org.br/media/attachments/64/64/539b0ad2cc9c3b4e921b7cc185287e3ba0c872d9ad411_06-ocorrencia-de-geadas-em-maracaju-nos-ultimos-dezoito-anos.pdf).
- GIAROLLA, A., CHOU, S.C. and FARIA, R.T., 2013. Evaluation of the occurrence of agricultural frost in state of Parana, Brazil, generated by a regional forecast model. In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 2013. pp. 1943.
- HU, Y., LI, P., WANG, X. and ZHANG, X., 2014. Control method and apparatus of wind machine for plant frost protection., U.S. Patent No. 8,701,341.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2006 [viewed 28 October 2014]. *Informações sobre os municípios de Maracaju e Ponta Porã – Ano base 2006*. Available from: <http://www.cidades.ibge.gov.br/>.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE, 2014 [viewed 22 September 2014]. Available from: <http://www.cptec.inpe.br>.
- KLEIN, A. et al., 2014. QTL analysis of frost damage in pea suggests different mechanisms involved in frost tolerance. *Theoretical and Applied Genetics*, vol. 127, no. 6, pp. 1319-1330.
- LIPPER, L. et al., 2014. Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change*, vol. 4, no. 12, pp. 1068-1072.
- LOUKA, P. et al. Development of a Frost Risk Assessment Tool in Agriculture for a Mediterranean ecosystem Utilizing MODIS satellite observations Geomatics and Surface Data. In: *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 2014. pp. 10044.
- LUCENA, J. A. et al., 2014. Produção agropecuária e correlação com a dinâmica climática em Caicó-RN. *Revista Brasileira de Geografia Física*, vol. 6, no. 6, pp. 1617-1634.
- MIRANDA, E. E., coord. 2005 [viewed 25 February]. *Brasil em Relevô*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. Available from: <http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br>.
- OLIVEIRA, R. P. and JOÃO, P. L., 2012. Manejo de pomares de citrus contra geadas. Embrapa Clima Temperado. Pelotas.
- OLIVEIRA, D. et al., 2014. Processo de Poisson aplicado à incidência de temperaturas extremas prejudiciais à cultura de café no município de Machado-MG. *Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto*, vol. 3, no. 3, pp. 679-683.
- PAPAGIANNAKI, K. et al., 2014. Agricultural losses related to frost events: use of the 850 hPa level temperature as an explanatory variable of the damage cost. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, vol. 2, no. 1, pp. 865-896.
- PEREIRA, A.R., ANGELOCCI, L.R. and SENTELHAS, P.C., 2001. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba-RS: Agropecuária Guaíba. 478 p.
- PERISSATO, S. M. et al., 2013. Efeito das geadas em culturas energéticas. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, vol. 2, no. 4, pp.49-58.
- RICCE, W.S. et al., 2014. Zoneamento agroclimático da cultura do abacaxizeiro no Estado do Paraná. *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 35, no. 4, pp. 2337-2346.
- RODRIGUES, C.C.B.; LIMA, E.P., 2011. Temperatura mínima absoluta em alguns municípios

- da região sul do estado de Mato Grosso do Sul. In *Simpósio Internacional de Climatologia*, 2011.
- SANTOS, A.P.P. et al., 2013. Previsão de geada para a região Sul do Brasil: uma avaliação do modelo ETA 15 km durante o outono de 2012. *Revista Brasileira de Geografia Física*, vol. 6, no. 1, pp. 100-109.
- SNYDER, R.L. and MELO-ABREU, J.P., 2005. *Frost Protection: fundamentals, practice and economics*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 112 p.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS., 2014 [viewed 15 August 2014]. *Imagens Landsat 8 do local de estudo*. Available from: <http://landsat.usgs.gov/>.
- UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR., 2013 [viewed 25 September 2014]. *Geadas em canaviais*. Available from: <http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1105599#nc>.
- WU, Y.F. et al. Frost affects grain yield components in winter wheat. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, vol. 42, no. 3, pp. 194-204, 2014.
- ZARO, G.C. et al., 2014. Agroclimatic zoning for avocado culture in the State of Parana. *Revista Brasileira de Fruticultura*, vol. 36, no. 2, pp. 363-372.