

CORRELAÇÃO DAS ONDAS DE FRIO INVERNAIS E AS OCORRÊNCIAS DE GEADA NO ESTADO DE SANTA CATARINA – BRASIL**MAIKON PASSOS AMILTON ALVES¹**
RAFAEL BRITO SILVEIRA²
ALBERTO ELVINO FRANKE³

RESUMO: O objetivo principal da pesquisa foi verificar a correlação entre as ondas de frio no inverno austral (junho, julho e agosto) e as ocorrências de geada no estado de Santa Catarina, entre os anos de 1983 a 2013. Considerou-se onda de frio o evento em que a temperatura média diária do ar na superfície estava pelo menos duas vezes o desvio padrão abaixo do valor médio da série, naquele dia, durante dois dias consecutivos ou mais. Os dados de temperatura média do ar e das ocorrências de geada foram fornecidos pela EPAGRI/CIRAM. Constatou-se através do teste *t* (Student) com nível de significância de 5%, que há correlação entre as ondas de frio e as ocorrências de geada durante o período de inverno em Santa Catarina, exceção feita à estação costeira de São José. Nas onze estações meteorológicas estudadas a ocorrência média de ondas de frio foi de 62,8.

Palavras-chave: ondas de frio; geadas; correlações estatísticas; fatores geográficos.

ABSTRACT: The main objective was to verify the correlation between the cold waves in the austral winter (june, july and august) and frost events in the state of Santa Catarina, between the years 1983 to 2013. It was considered the cold wave event in which the average daily air temperature on the surface was at least two standard deviations below the mean value of the series on that day for two consecutive days or more. The data average air temperature and frost events were provided by EPAGRI/CIRAM. It was found by the *t* (Student) test with degree of freedom of the 5% that there is a correlation between the cold waves and frost events during the winter period in Santa Catarina, except for the coastal station of São José. The average occurrence was 62,8 cold waves in the eleven weather stations analyzed.

Keywords: cold waves; frosts; statistical correlations; geographical factors.

¹ Doutorando em Geografia, LabClima – PPGG/UFSC, maiconpassos@gmail.com.

² Doutorando em Geografia, LabClima - PPGG/UFSC, rafaelbsilveirageo@gmail.com.

³ Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Professor Titular GCN/UFSC, alberto.franke@ufsc.br.

1 – Introdução

O Estado de Santa Catarina (figura 1) situado na região sul do Brasil, entre as latitudes 26°00'S a 30°00'S, e longitudes 48°30'W a 54°00'W, possui uma área oficial de 95.483 km², com mais 502 km² de águas territoriais, totalizando 95.985 km², correspondente a 1,12 % da área brasileira e 16,61% da região sul. Conta com 295 municípios, população de 6.248.436 hab., densidade demográfica de 65,29 hab./km² e crescimento de 1,9% ao ano (IBGE, 2010).

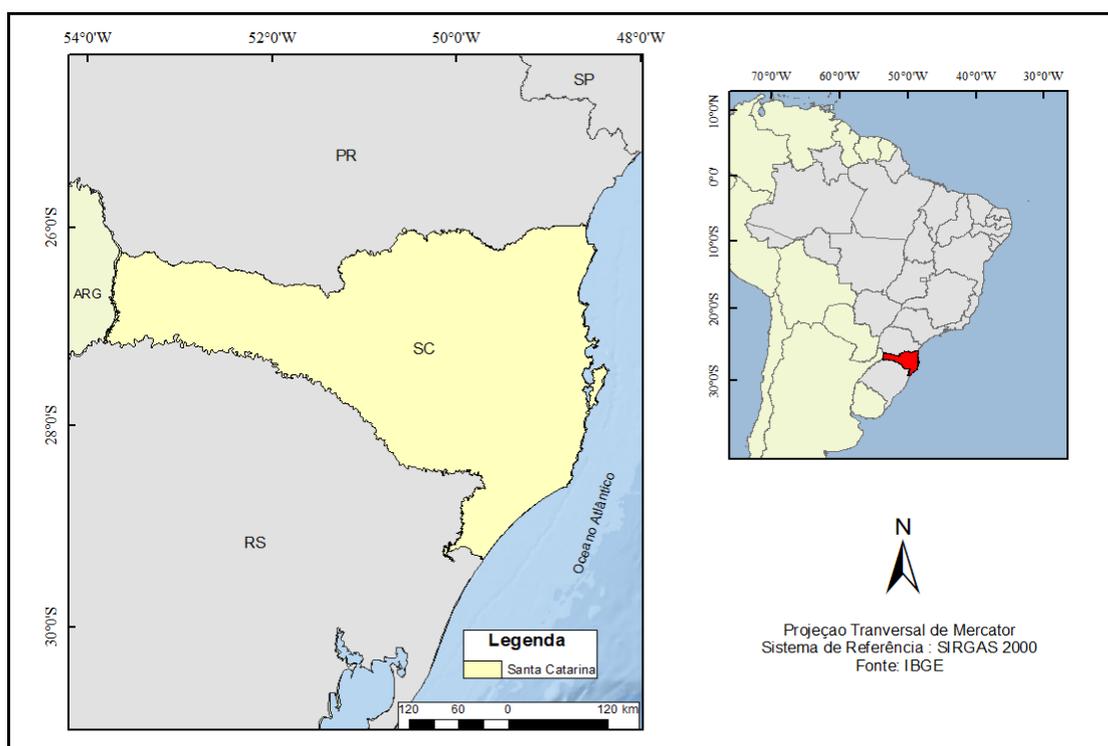


Figura 1 – Mapa de localização do estado de Santa Catarina – Brasil.
Elaborado por Maikon P. A. Alves.

Por sua posição subtropical, apresenta características climáticas controladas pela penetração, atuação e choque das massas Polar Marítima (mPm) e Tropical Marítima do Atlântico (mTa), com verões quentes e invernos frescos (MONTEIRO, 2001). As temperaturas sofrem forte influência da altitude, com os menores valores registrados nos pontos de cota mais elevada. Segundo Thomé *et al.* (1999), na região Sul a temperatura média anual varia de 17,0 a 19,3°C. A temperatura média das máximas varia de 23,4 a 25,9°C, e das mínimas de 12,0 a 15,1°C.

Em Santa Catarina, é comum no início do outono ocorrer às primeiras incursões de massas de ar polares, as quais provocam o declínio das temperaturas, além de favorecer a

formação de geadas, principalmente nas regiões do Planalto e Oeste do estado. Mas, é no período invernal que o anticiclone polar se desloca mais sobre a Argentina em direção ao sul do Brasil, invadindo o território catarinense e provocando acentuada queda de temperatura e ventos fortes do quadrante sul (MONTEIRO, 2001).

A atuação dos anticiclones migratórios pode causar acentuado declínio de temperatura em grandes porções da atmosfera, caracterizando as ondas de frio. As ondas de frios diferem das geadas ou esfriamentos locais, pois abrangem grandes porções da atmosfera (MONTEIRO, 2001; MENDONÇA; ROMERO, 2012).

Para Vavrus *et al.* (2006) um extremo de frio é definido como uma ocorrência de dois dias ou mais consecutivos, durante o qual a temperatura média diária do ar na superfície, é pelo menos duas vezes o desvio padrão abaixo da temperatura média do local de inverno.

O domínio do anticiclone polar acaba contribuindo para a perda de calor noturno por resfriamento radiativo, associado à baixa umidade e céu claro, fazendo com que as temperaturas caiam a seus níveis mais baixos devido à intensa perda de radiação noturna (NIMER, 1979; ESCOBAR, 2007). É nestas circunstâncias que ocorrem as condições favoráveis às geadas, que derivam por dois processos, advectivos e radiativos. As geadas advectivas são provocadas pelo avanço da massa de ar polar, muitas vezes associada ao deslocamento de uma frente fria. Já as geadas de irradiação ocorrem quando as condições meteorológicas proporcionam perda de calor do solo durante a noite, atingindo valores negativos. Essas condições ocorrem geralmente em situações de vento calmo e ausência ou pouca nebulosidade (SELUCHI, 2009).

As geadas afetam diretamente e de maneira negativa o setor agrícola, que representa uma importante parcela da economia catarinense. Os danos às mais variadas culturas, dependem da intensidade, da geada, da duração e da época de ocorrência em função do estágio fenológico dos cultivos. Quanto mais intenso e prolongado o fenômeno, maior o dano à produção agrícola. O impacto social e econômico torna-se maior, se os danos à produção repercutirem no preço dos alimentos (AGUIAR; MENDONÇA, 2004).

Dentro desse contexto este trabalho verificou a correlação entre as ondas de frio no inverno austral (junho, julho e agosto) e as ocorrências de geada no estado catarinense, entre os anos de 1983 a 2013.

2 – Material e métodos

2.1. – Contabilização das ondas de frio e ocorrência de geada

Foram utilizados dados de temperatura média do ar diária de 11 estações meteorológicas convencionais (figura 2) pertencentes à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina/Centro de Informações Ambientais e de Hidrometeorologia (Epagri/Ciram) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A série temporal de dados de temperatura média do ar diária, medida em graus Celsius (C°), compreende os anos de 1983 a 2013, no período invernal, totalizando 31 anos de dados. Os registros de geada também foram cedidos pela Epagri/Ciram. Para efeito de regionalização utilizou-se a divisão delimitada pelas Zonas Agroecológicas de Santa Catarina, que entre outros fatores considera as regiões climaticamente homogêneas do estado de acordo com Thomé *et al.* (1999).

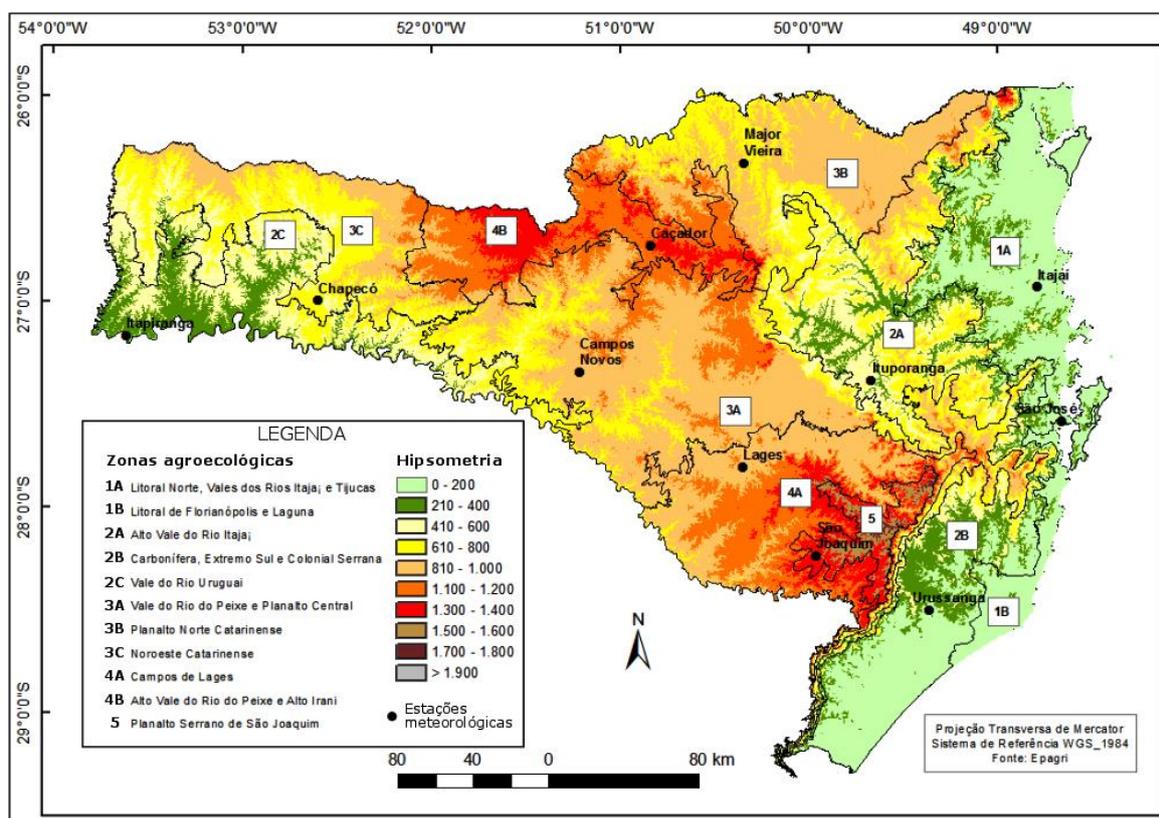


Figura 2 – Mapa hipsométrico do estado de Santa Catarina com a localização das estações meteorológicas e suas respectivas zonas agroecológicas. Elaborado por Maikon P. A. Alves e Rafael Brito Silveira.

Os dados de temperatura média do ar compensada foram tabulados via programa Excel 2007 e então o método para classificação das ondas de frio de Vavrus *et al.* (2006) foi aplicado. Este método considera como onda de frio o evento no qual a temperatura média

diária do ar na superfície esta pelo menos duas vezes o desvio padrão abaixo do valor da média durante dois dias consecutivos ou mais, no período invernal. O desvio padrão (S) é o valor médio dos 365 desvios padrões diário de temperatura do ar. Todavia, este trabalho trata apenas dos 92 dias do período de inverno (1º de junho a 31 de agosto).

Sendo assim, é classificado como dia frio, aquele dia que registrar a temperatura média do ar abaixo ou igual ao limiar identificado para sua data e; para ser classificada como onda de frio é necessário que isso ocorra por dois dias consecutivos ou mais. É possível afirmar que esta análise pode ser identificada como uma climatologia para classificação dos dias frios em Santa Catarina e também para identificação das ondas de frio, em virtude da série analisada.

2.2. - Análises estatísticas entre as ondas de frio e ocorrência de geada

Foi verificada a correlação entre as geadas e as ondas de frio que ocorreram concomitantemente, através do cálculo do coeficiente de correlação Pearson que de acordo com Spiegel (1985), é dado por:

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Onde:

r é o coeficiente de correlação linear;

σ_X e o desvio padrão da variável X;

σ_Y e o desvio padrão da variável Y;

σ_{XY} e a covariância de X e Y.

Além do cálculo do coeficiente de correlação, realizou-se a verificação do grau de significância das correlações através do teste *t* de Student, considerando um nível de significância de $\alpha = 5\%$.

3 – Resultados e Discussão

Considerando as ocorrências de geadas durante as ondas de frio, é possível averiguar que entre 1983 a 2013, São Joaquim registrou 124 geadas; seguida por Caçador 123; Lages e Major Vieira 108 e 106, respectivamente (gráfico 1). As estações costeiras,

São José (18) e Itajaí (20) apresentaram os menores registros. As ocorrências de geadas em Santa Catarina possuem maior frequência nas regiões do Planalto e nos municípios mais ao norte das regiões Oeste e Meio Oeste, e que na faixa litorânea as possibilidades são menores, mas aumentam nas proximidades das encostas das Serras Geral e do Mar (MONTEIRO, 2001; AGUIAR; MENDONÇA, 2004 e SPINELLI; ALVES, 2014). Ressalta-se que algumas estações possuem período de dados distintos: Itapiranga (1987 a 2013); Major Vieira (1988 a 2013) e as estações de São Joaquim e Ituporanga (1984 a 2013).

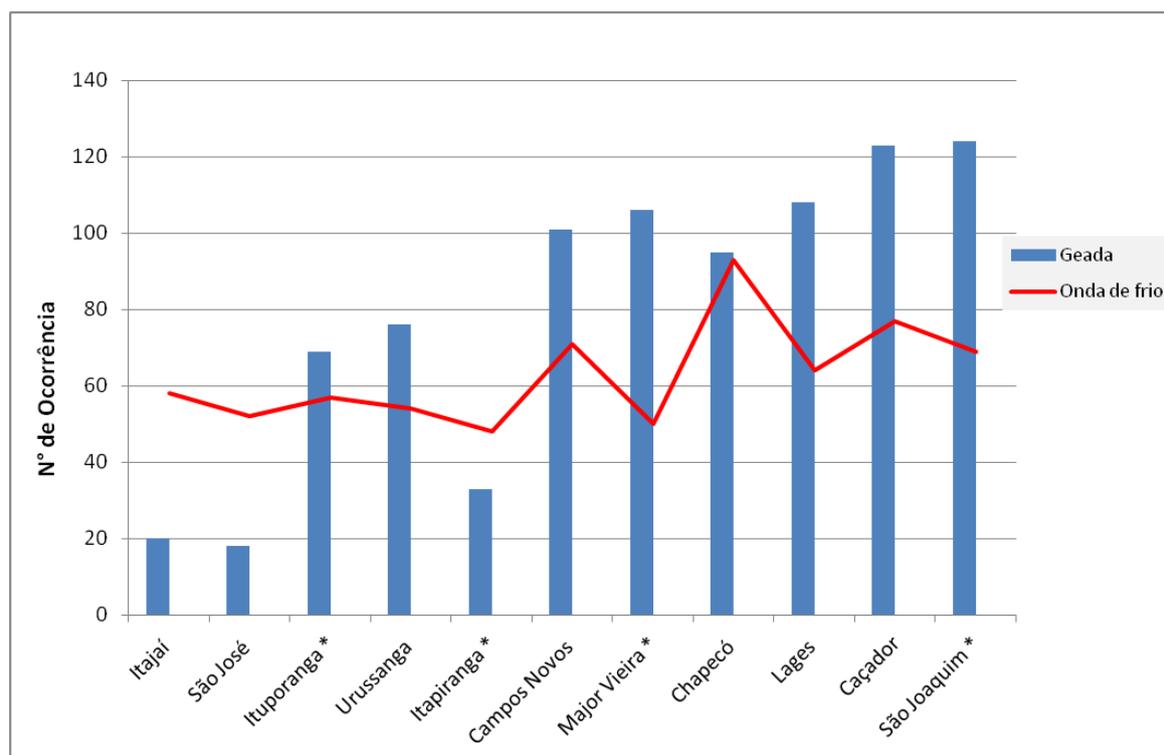


Gráfico 1 - Número de ocorrência de geadas durante as ondas de frio inverniais em Santa Catarina entre 1983 - 2013.

Nota: (*) Estações com menores séries de dados.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Durante os 31 invernos analisados observa-se que as ocorrências das ondas de frio se distribuíram de forma desigual nas regiões agroecológicas catarinenses (gráfico 1). As estações de Chapecó e Caçador apresentaram maior número de ocorrência, 93 e 77, respectivamente. Seguidas por Campos Novos (71); São Joaquim (69); Lages (64); Itajaí (58); Ituporanga (56); Urussanga (54); São José (52); Major Vieira (50) e Itapiranga (48). A média de ocorrência foi de (62,8) ondas de frio nas onze estações de Santa Catarina, no período de 1983 a 2013.

De modo geral, as regiões com altitudes elevadas apresentaram maior número de ocorrência de onda de frio, salientando a influência do relevo e altitude no comportamento da temperatura no estado. Outro fato importante que pode justificar essa distribuição espacial das ondas de frio são as trajetórias sazonais dos sistemas polares, que em seu deslocamento mais continental, acabam por penetrarem pela região mais a oeste/sudoeste do estado. Em Santa Catarina, a continentalidade, o relevo, a altitude e a maritimidade são os fatores que possuem maior interação com os sistemas atmosféricos, portanto, são os mais influentes (MONTEIRO; MENDONÇA, 2014, p.5).

Condições geográficas por si só não explicam o tempo e o clima de uma determinada região. O clima é formado pela interação entre os fatores estáticos (relevo, maritimidade, continentalidade, latitude, altitude, vegetação, entre outros) e fatores dinâmicos, que são os sistemas meteorológicos e a sucessão dos tipos de tempo. Mostrando assim a necessidade de uma análise baseada na multiescalaridade para explicar eventos locais e regionais.

3.1. - Análise do inverno

Na Tabela 1, têm-se os valores dos coeficientes de correlação Pearson (r) entre as ondas de frio e as ocorrências de geada no período de inverno, para os anos 1983 a 2013 em Santa Catarina, considerando um nível de significância de 5%.

Segundo Callegari-Jacques (2003, p.90) o coeficiente de correlação pode ser avaliado qualitativamente da seguinte forma:

- se $0,00 < \hat{\rho} < 0,30$, existe fraca correlação linear;
- se $0,30 \leq \hat{\rho} < 0,60$, existe moderada correlação linear;
- se $0,60 \leq \hat{\rho} < 0,90$, existe forte correlação linear;
- se $0,90 \leq \hat{\rho} < 1,00$, existe correlação linear muito forte.

Verificou-se através de regressão linear que o coeficiente de correlação (r) para as estações de Caçador, Lages, Major Vieira, São Joaquim, Ituporanga e Urussanga é de forte correlação linear. Já São José ($r=0,347$) e Itajaí ($r = 0,424$) apresentaram correlação linear moderada. Na região sul, as geadas ocorrem devido à combinação de dois fatores principais: a incidência de sistemas frontais frios e anticlones migratórios, e a presença de uma topografia complexa (SELUCHI, 2009). Entre os fatores geográficos que favorecem a ocorrência de geadas destacam-se as maiores altitudes, o relevo e a continentalidade. A estação de Urussanga foi à exceção, pois se encontra a 48 m de altitude e sujeita a

influência da maritimidade, podendo a alta correlação das ondas de frio e geada neste município estarem associadas à exposição de suas vertentes. A baixa ocorrência de geadas nas estações de São José e Itajaí tem como fator preponderante a maritimidade, ou seja, a ação termorreguladora do oceano.

Um exemplo da importância da topografia no estado catarinense é o estudo de Massignam e Dittrich (1998) que utilizaram modelos probabilísticos e método de regressão para estimar o número médio mensal e a probabilidade mensal de ocorrência de geada para Santa Catarina com base na altitude.

Através do teste *t* (Student) é possível afirmar que esses valores de (*r*) são significativos a 5% para a maioria das estações, com exceção de São José (Tabela 1), podendo a localização em área urbana da estação, ser um fator preponderante para a não significância estatística.

Com base nos resultados encontrados na tabela 1, constatou-se correlação entre as ondas de frio e as ocorrências de geada em 10 das 11 estações analisadas, no período invernal.

Tabela 1 – Correlação das ocorrências de onda de frio e número de geadas em Santa Catarina, no período invernal de 1983 a 2013.

INVERNO		
Estação	n° de observações	r
Itajaí	31	0,424*
São José	31	0,347 ^{ns}
Ituporanga	29	0,742*
Urussanga	31	0,795*
Itapiranga	27	0,453*
Campos Novos	29	0,624*
Major Vieira	26	0,851*
Chapecó	31	0,684*
Lages	31	0,878*
Caçador	31	0,891*
São Joaquim	30	0,815*

Nota: (*) Valores significativos a 5% de probabilidade; (^{ns}) valores não significativos a 5%.
Fonte: Elaborado pelos autores.

3.1. - Análise mensal

Numa análise mensal, julho é o mês que apresenta as mais altas correlações, com destaque para São Joaquim ($r=0,900$) e Major Vieira ($r=0,915$) que representam uma correlação muito forte. Para as estações de Urussanga, Itapiranga e Chapecó, o mês de junho é o de maior correlação. Já o mês de agosto apresenta valores de correlação mais baixos em relação a junho e julho em todas as estações. São José possui fraca correlação linear no mês de agosto, $r=0,173$. Estes resultados podem ser explicados pela trajetória das frentes frias e dos anticiclones, mais continentais em junho e julho e marítimas a partir de agosto. As frentes frias são mais frequentes de junho a setembro entre as coordenadas de 25-30S e 50-55W, porém julho é o mês invernal com maior frequência, três em média (CAVALCANTI; KOUSKY, 2009).

O que vem a reforçar o trabalho de Aguiar e Mendonça (2004) que encontraram os meses de junho e julho como os de maiores registros de geadas em quase todos os anos, no período de 1980 a 2003 em Santa Catarina. Do mesmo modo Minuzzi (2010) investigou as ocorrências de geadas em Santa Catarina e concluiu que julho é mês com as maiores ocorrências; assim como Spinelli e Alves (2014) que obtiveram resultados semelhantes a esta pesquisa.

Houve correlação significativa em todas as regiões catarinenses entre as ondas de frio e as ocorrências de geada para os meses de junho e julho. Isso se deve, nesta época do ano, a maior frequência de invasões de frentes frias e fluxo polares mais intensos no estado catarinense. Já em agosto para estação de São José o valor de r não é significativo a 5% (Tabela 2).

Tabela 2 - Correlação das ocorrências de onda de frio e número de geadas em Santa Catarina mensal (junho, julho e agosto) no período de 1983 a 2013.

Estação	n° de observações	r		
		Junho	Julho	Agosto
Itajaí	31	0,357*	0,364*	0,354*
São José	31	0,432*	0,596*	0,173 ^{ns}
Ituporanga	29	0,635*	0,874*	0,652*
Urussanga	31	0,821*	0,821*	0,693*
Itapiranga	27	0,615*	0,562*	0,444*
Campos Novos	29	0,727*	0,696*	0,479*
Major Vieira	26	0,783*	0,915*	0,800*
Chapecó	31	0,669*	0,765*	0,560*
Lages	31	0,840*	0,903*	0,676*
Caçador	31	0,727*	0,844*	0,691*

São Joaquim 30 0,724* 0,900* 0,821*

Nota: (*) Valores significativos a 5% de probabilidade; (ns) valores não significativos a 5%. Fonte: Elaborado pelos autores.

4 – Considerações Finais

Durante as ondas de frio em Santa Catarina, os maiores registros de geada encontram-se aquelas regiões que apresentam as maiores altitudes: Planalto (São Joaquim e Lages); Meio-Oeste (Caçador) e parte norte do estado (Major Vieira). A baixa ocorrência de geadas nas estações mais costeiras tem como fator preponderante a maritimidade, ou seja, a ação termorreguladora do oceano. Do mesmo modo as regiões com altitudes elevadas apresentaram maior número de ocorrência de onda de frio.

Baseando-se no teste *t* (Student) com grau de liberdade em 5%, é possível afirmar que há alta correlação entre as ondas de frio inverniais e as ocorrências de geadas em Santa Catarina, principalmente no mês de julho. As ondas de frio explicam as ocorrências de geada durante o período de inverno em Santa Catarina, exceção à estação de São José (junho e julho), podendo a localização em área urbana da estação, ser fator preponderante para a não significância estatística.

5 – Referências

AGUIAR, D. MENDONÇA, M. Climatologia das geadas em Santa Catarina. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS**, 1., 2004, Florianópolis: GEDN/UFSC, p. 762-773 (CD-ROM), 2004.

CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística**: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artemed, 255p., 2003.

CAVALCANTI, I. F.A. ; KOUSKY, V.E. Frentes frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, J.F.; JUSTI DA SILVA, M.G.A; SILVA DIAS, M.A.F. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, cap.9, p. 135-147, 2009.

Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010. 2 ed. Florianópolis: IHGSC, GCN/UFSC, 217 p. 2014.

ESCOBAR. G. Padrões sinóticos associados a ondas de frio na cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, 241-254, 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010>> Acesso em: 10 abr. 2013.

MASSIGNAM, A.M.; DITTRICH, R.C. Estimativa do número médio e da probabilidade mensal de ocorrência de geadas para o estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, p.213-220. 1998.

MENDONÇA, M.; ROMERO, H. Ondas de frio, índices de oscilação e impactos socioambientais das variabilidades climáticas de baixa frequência na América do Sul. Edição Especial – “Climatologia Geográfica”, **Revista Acta Geográfica** (UFRR), v.2, p.185 – 185, 2012.

MINUZZI, B.M. Ocorrências de geada no estado de Santa Catarina. *In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTAVÉL*, Universidade Federal de Viçosa – Viçosa/MG, 23 a 25 de set., 2010.

MONTEIRO, M. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul**. Revista do Departamento de Geociências da UFSC, Florianópolis, v. 16, nº 31, p 69-78. 2001.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 422 p., 1979.

SELUCHI, M.E. Geadas e Friagens. *In: CAVALCANTI, I.F.A. et al. (org). Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de texto, 2009.

SPIEGEL, M.R. **Estatística**. 2 ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil (Coleção Schaum), 454p., 1985.

SPINELLI, K.; ALVES.D.B. Geada. *In: HERMANN, M. L. P. (org). Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010*. 2 ed. Florianópolis: IHGSC, GCN/UFSC, 217 p. 2014.

THOMÉ, V.M.R.; ZAMPIERI, S.; BRAGA, H.J.; PANDOLFO, C.; SILVA JÚNIOR, V. P.; BACIC, I.; LAUS NETO, J.; SOLDATELI, D.; GEBLER, E.; ORE, J.D.; ECHEVERRIA, L.; MATTOS, M.; SUSKI, P.P. **Zoneamento agroecológico e socioeconômico de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, v.1000. p.1000. CD-ROOM, 1999.

VAVRUS, S.; WALSH, J.E.; CHAPMAN, W.L.; PORTIS, D. The behavior of extreme cold air outbreaks under greenhouse warming. **Int. J. Climatol.**, n. 26, p. 1133–1147, 2006.