

EFEITO OROGRÁFICO NAS CHUVAS DA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL

Daniel Secretti Vendruscolo¹; Elias Silveira Rizzi¹; Carolini Ilha Di Francani¹; & Francisco Rossarolla Forgiarini².

RESUMO – No Estado do Rio Grande do Sul (RS) o regime pluviométrico não é homogêneo, apresentando variabilidade espacial e temporal condicionadas às interações de diferentes mecanismos climáticos. Estas particularidades fazem surgir diferentes comportamentos da chuva, incluindo as chuvas orográficas, notadamente na Serra Gaúcha. O objetivo deste artigo é analisar a provável existência do efeito orográfico nas chuvas da região central do RS. O estudo foi realizado no município de Silveira Martins, pois sendo vizinho do município de Santa Maria, está no limite da Depressão Central e o Planalto Meridional Riograndense. Para atingir o objetivo foi realizado o monitoramento das chuvas com a instalação de dez postos pluviométricos. Foram instalados cinco postos a barlavento e cinco a sotavento de Silveira Martins, sendo comparados estatisticamente os totais médios precipitados em cada posição. O monitoramento compreendeu onze meses de coleta (30 eventos) totalizando 953,13 mm de chuva. Ao nível de significância de 5%, a análise estatística sugere a ocorrência de efeito orográfico em oito eventos. Nestes eventos os valores a barlavento são incrementados em 27,88% quando comparados com os valores encontrados a sotavento.

ABSTRACT– In the state of Rio Grande do Sul (RS) the rainfall is not homogeneous, showing spatial and temporal variability conditioned by interactions of different climatic mechanisms. Those features give rise to different behaviors of rain, including orographic rains, notably in mountain range of state. The aim of this paper is to analyze the probable existence of the orographic effect on rainfall in the central region of the RS. The study was conducted at Silveira Martins, for being the neighbor municipality of Santa Maria, is on the edge of the Central Depression and Southern Plateau Riograndense. To achieve the goal was performed the rainfall monitoring with the installation of ten rain gauge stations. Stations were installed five upwind and five downwind of Silveira Martins, and statistically compared the average total at each position. The monitoring consisted of collecting eleven months (30 events) totaling 953.13 mm of rainfall. At the significance level of 5%, the statistical analysis suggested the orographic effect in eight events. In these events upwind values are incremented by 27.88%.

Palavras-Chave – Chuva orográfica; Monitoramento hidrológico; Análise estatística.

1) Alunos do curso de Gestão Ambiental da Unidade Descentralizada de Educação Superior da UFSM em Silveira Martins – UDESSM, Av. Francisco Guerino, 407. Silveira Martins - RS - Brasil, CEP 97195-000, Telefone (55) 3224 4701, danivendruscolo@hotmail.com, eliasrizzi@hotmail.com; carolini_fr@hotmail.com.

2) Professor Adjunto da UDESSM, Av. Francisco Guerino, 407. Silveira Martins - RS - Brasil, CEP 97195-000, Telefone (55) 3224 4701, francisco.forgiarini@ufsm.br

INTRODUÇÃO

O estudo da variabilidade temporal e espacial das chuvas é base para diversos projetos e aproveitamentos da água pelo homem, tais como a construção de reservatórios, pontes e sistemas de drenagem, para a irrigação de culturas agrícolas e para o abastecimento doméstico (TUCCI, 2001). A chuva é formada por um conjunto de mecanismos, que possuem componentes locais e globais. Mendonça e Danni-Oliveira (2007) discutem que diversos fatores condicionam a sua ocorrência. Dentre os principais destacam-se as características geográficas diversificadoras da paisagem, como latitude, altitude, relevo, vegetação e atividades humanas.

Neste contexto, o conhecimento de onde e como ocorrem as chuvas assume grande importância. Reichardt *et al.* (1995) afirmam que as chuvas podem ter grande variabilidade em pequenas distâncias. Segundo Bruno (2006), para obter informações precisas sobre a quantidade de chuva em uma área relativamente pequena, é necessário a instalação de uma estação pluviométrica a cada 3 km de distância.

No Estado do Rio Grande do Sul o regime pluviométrico não é homogêneo, apresentando variabilidade espacial e temporal condicionadas às interações de diferentes mecanismos climáticos (Khan e Kim, 1998). Por um lado o clima do Estado é controlado pelo avanço das massas de ar polares (direção sul-norte), ao mesmo tempo, acontece a invasão de massas de ar subtropicais (direção norte-sul). Outro fator que é responsável pela não homogeneidade das chuvas no Estado é o relevo (Khan e Kim, 1998).

No centro do Estado está a Depressão Central que é formada de rochas sedimentares dando origem a um extenso corredor que liga o oeste ao leste, através de terrenos de baixa altitude (Figura 1 a seguir). Do centro ao norte do Estado situa-se o Planalto Meridional Riograndense, com terrenos de maior altitude, formado por rochas basálticas decorrentes de um grande derrame de lavas ocorrido na era Mesozóica (SCP/DEPLAN, 2004).

Estas particularidades fazem surgir diferentes comportamentos da chuva no Estado, com a possibilidade de ocorrer as chuvas orográficas (ou chuvas de relevo). As chuvas orográficas ocorrem devido à influência do relevo, sendo que o ar que vai em direção à montanha (portanto a barlavento da mesma) é forçado a subir e condensa-se, devido à redução adiabática da temperatura, podendo causar chuva de maior intensidade e volume na área de aumento de altitude. Após passar as montanhas, já desprovido de umidade, o ar desce e aquece adiabaticamente. Portanto, podem existir florestas ou poças a barlavento e áreas mais áridas, até charcos ou desertos, a sotavento.

Sendo assim, a região central do Estado e, especificamente, o município de Silveira Martins, apresenta condições favoráveis ao estudo das chuvas orográficas. Sendo vizinho ao município de Santa Maria, aquele município está no limite da Depressão Central e o Planalto Meridional,

apresentando uma variação de altitude superior a 400 metros em comparação à Santa Maria. Associado a isto, destaca-se o movimento das massas de ar que vão de encontro a esta barreira natural, tendo as condições para o aporte de umidade que provocariam as chuvas orográficas. No contexto discutido, o objetivo deste trabalho é avaliar a provável existência de efeito orográfico nas chuvas ocorridas no centro do Estado do Rio Grande do Sul, utilizando como estudo de caso o município de Silveira Martins.

METODOLOGIA

A área de estudo está localizado na região central do Rio Grande do Sul, no município de Silveira Martins ($29^{\circ}38'35,85''$ S; $53^{\circ}35'35,72''$ O) (Figura 1), distante 300km da capital do Estado, Porto Alegre. Sua população é de 2.449 habitantes e sua área é de 118,42 km² (IBGE, 2011). Segundo a classificação de KÖPPEN, enquadra-se na área de clima temperado chuvoso e quente.



Figura 1. Províncias Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul (SCP/DEPLAN, 2004).

Foi realizado o monitoramento das chuvas a barlavento e a sotavento de Silveira Martins. O relevo da região a ser monitorada caracteriza-se por uma elevação no sentido de Santa Maria a Silveira Martins (barlavento) e um decréscimo de altitude no sentido de Silveira Martins a Faxinal do Soturno (sotavento). A altitude em Santa Maria é de cerca de 80 metros acima do nível do mar, em Silveira Martins chega até 500 metros e em Faxinal do Soturno retorna a 80 metros (Figura 2). O monitoramento compreendeu a instalação de dez postos pluviométricos entre Santa Maria e Faxinal do Soturno, passando por Silveira Martins (Figura 3), ao longo de 21,5 quilômetros. Foram cinco pluviômetros a barlavento (PL1 a PL5) e cinco pluviômetros a sotavento (PL6 a PL10) (tabela 1) monitorados por onze meses a partir de julho de 2011. Este estudo é semelhante ao desenvolvido por Milanesi (2007), que instalou 13 pluviômetros ao longo de uma estrada de 22km com uma variação de 590m de altitude no Parque Estadual de Ilhabela, localizado no litoral norte do estado de São Paulo.

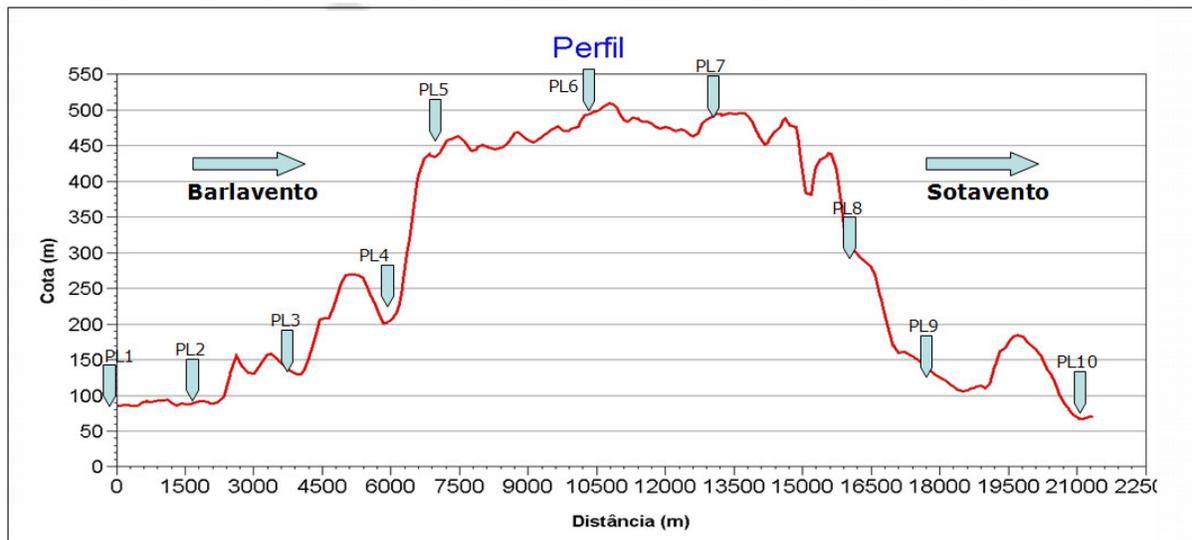


Figura 2. Perfil de elevação da região a ser monitorada e localização dos pluviômetros.

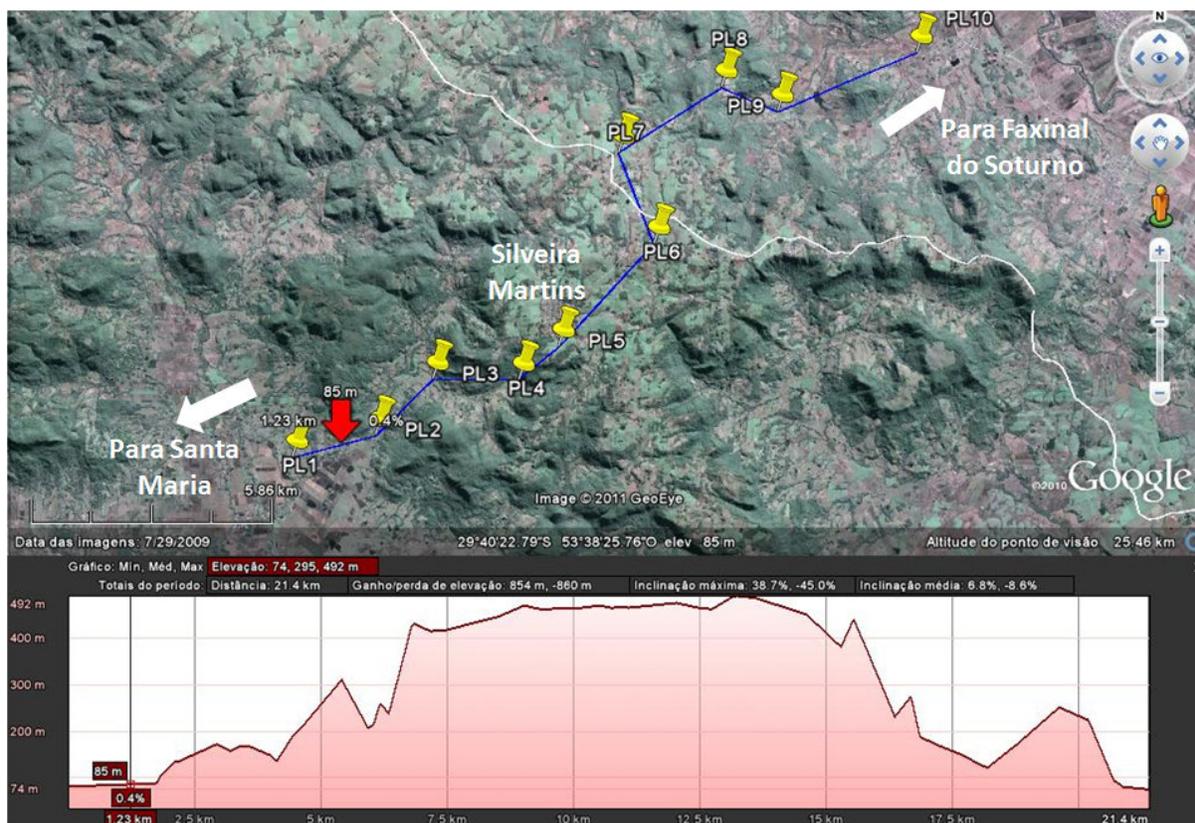


Figura 3. Localização dos pluviômetros a barlavento (PL1 a PL5) e a sotavento (PL6 a PL10) e respectivo relevo da região (Imagem editada no Google Earth).

Tabela 1. Informações quanto à localização dos Postos Pluviométricos.

Posto Pluviométrico	Posição	Cota (m)	Distância acumulada entre os pontos (Km)
PL1	Barlavento	84	0,00
PL2	Barlavento	90	2,11
PL3	Barlavento	131	4,12
PL 4	Barlavento	228	6,21
PL 5	Barlavento	430	8,07
PL 6	Sotavento	507	10,90
PL 7	Sotavento	494	13,25
PL 8	Sotavento	301	16,30
PL 9	Sotavento	140	17,87
PL 10	Sotavento	71	21,50

Os postos pluviométricos (Figura 4) são compostos por suporte de madeira para fixação do pluviômetro, cerca de proteção e pluviômetro com anel de 100 mm e capacidade de armazenamento de 200 mm.



Figura 4. Posto pluviométrico número 5 (PL5).

Após cada evento de chuva foram adquiridos os dados de cada pluviômetro e passados para um computador para constituir um banco de dados. Foram comparados os totais médios coletadas a barlavento com os totais médios a sotavento, também foram analisados alguns eventos isoladamente, verificando se ocorre variabilidade significativa entre os postos pluviométricos.

O método utilizado para avaliar se a variação de altitude ocasiona diferença significativa nas chuvas ocorridas em Silveira Martins foi um teste de hipóteses estatístico para os totais médios chovidos a barlavento e a sotavento do município. Foi utilizado o teste para a diferença de médias para pequenas amostras, de acordo com Spiegel *et al.* (2004). No teste, é analisado se as amostras vêm da mesma população, neste caso, se as chuvas são provocadas pelo mesmo processo, não existindo efeito orográfico. As comparações são as seguintes:

- D0: $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$, ou seja, não há diferença estatística significativa entre os totais de chuva observados a barlavento e a sotavento, o que sugere não haver efeito orográfico em Silveira Martins;

- D1: $\bar{X}_1 > \bar{X}_2$, isto é, os totais de chuva a barlavento são superiores aos totais de chuva a sotavento, ou seja, há diferença estatística significativa, o que sugere haver efeito orográfico em Silveira Martins.

A estatística do teste é dada pelas equações abaixo (Spiegel *et al.*, 2004):

$$T_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad \text{Sendo:} \quad \sigma = \sqrt{\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

A distribuição de T_c é a distribuição t de Student com $v = n_1 + n_2 - 2$ graus de liberdade. Será admitido o teste unilateral com nível de significância de 0,05.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O monitoramento indica uma pluviosidade 8,86% maior a barlavento (ventos na direção Santa Maria-Silveira Martins) do que a sotavento (ventos na direção Silveira Martins-Faxinal do Soturno) (Tabela 2, Figura 5 e Figura 6). Durante o período de coleta que foi de onze meses ocorreram 30 eventos (Tabela 2), totalizando uma média de 953,13 mm de chuva. A distribuição temporal dessa chuva nos remete uma media mensal de 85,78 mm, concentrando em julho (8%), agosto (15%), setembro (6%), outubro (17%), novembro (6%), dezembro (0%), janeiro (4%), fevereiro (4%), março (11%), abril (17%) e maio (14%). Os totais mensais mostraram que o mês de outubro foi o que mais choveu (Figura 7).

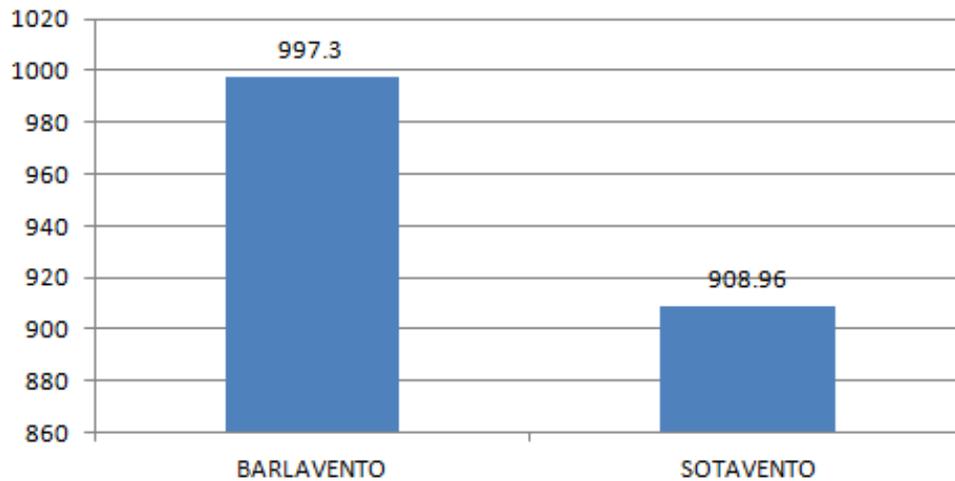


Figura 5. Chuva média (mm) a Barlavento (PL1 a PL5) e a Sotavento (PL6 a PL10).

Tabela 2. Chuva (mm) em cada posto pluviométrico.

	PL1	PL2	PL3	PL4	PL5	PL6	PL7	PL8	PL9	PL10
26/jul	21,5	23	25,5	28	23	14,5	16	14	14	12
28/jul	25	27	28,5	31,5	33	32	28	29	32	34
29/jul	30	28	28	26	27	35	37	34	35	32
4/ago	13	14,5	16,5	23,5	24	27	23	20	15,5	12,5
10/ago	61	66	53	54	46	53	49	56	50	65
15/ago	17	15	14	13	13	15	17	17,5	15,5	20
17/ago	2	1	0,5	3	0	0	0	0	0	0
20/ago	8,5	9,5	10	13	15	20	19	24	15,5	18
23/ago	7	8,5	9	10	11	10	11,5	10,5	10	10
25/ago	6,5	6	6,5	4	4	6	6	7	7	7
30/ago	18,5	17	16	18	20	18	15	10	8,5	10,5
5/set	15	19	28	33	28	27	24	20	20,5	20,5
9/set	4,5	5,5	2,5	4	4	5,5	5	1	0,8	0,5
20/set	51	54	68	64	46	30	32	26	26	29
1/out	56	60	64	62	56	56	59	57	53	50
11/out	24	26	26	28	25	32	30	38	34	34
14/out	3,5	3	5,5	7	5	4,5	5,5	6,5	5	5,5
25/out	65	80	89	101	88	68	67	56	56	46
11/Nov	26	23	28	32	20	25	26	26	25	24
23/Nov	17	20,5	25	32	35	40	37	36	31	25
2/jan	3	2	1	3	1	2	1	0	0	0
14/jan	15	15	22	24	30	62	54	50	50	42
27/fev	34	40	56	38	10,5	11,5	57	48	17,5	27
2/mar	112	108	93	94	92	93	97	77	75	54
14/mar	12	14,5	12	13	9	13	11	13	12	12,5
5/abr	40	43	52	56	50	47	46	47	48	43
14/abr	50	55	51,5	53	55	50	55	51,5	53	55
21/abr	17	18,5	20,5	20	17	18	25	19	17	17
28/abr	21,5	20	21	20	17	17	19	17,5	17,5	19
30/mai	157,5	165	170	170	140	132	134	100	108	86
TOTAL	934	987,5	1042,5	1078	944,5	964	1006	911,5	852,3	811

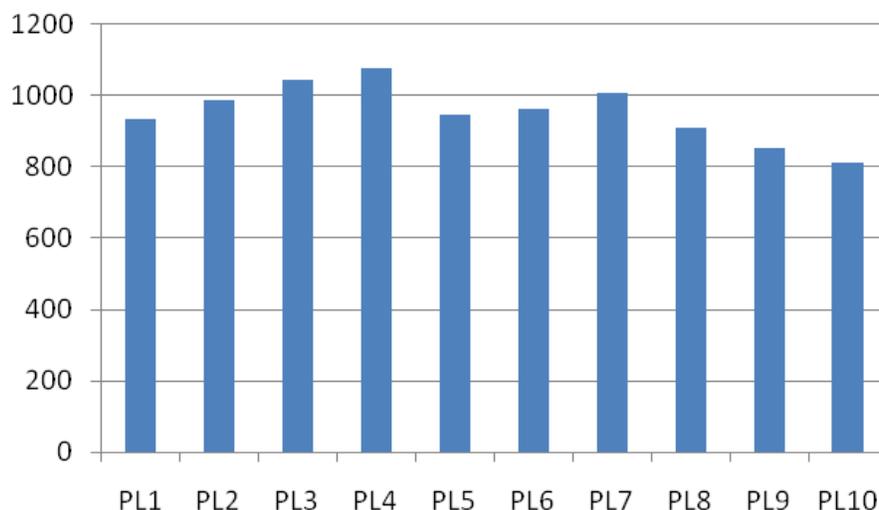


Figura 6. Chuva total média (mm) em cada pluviômetro.

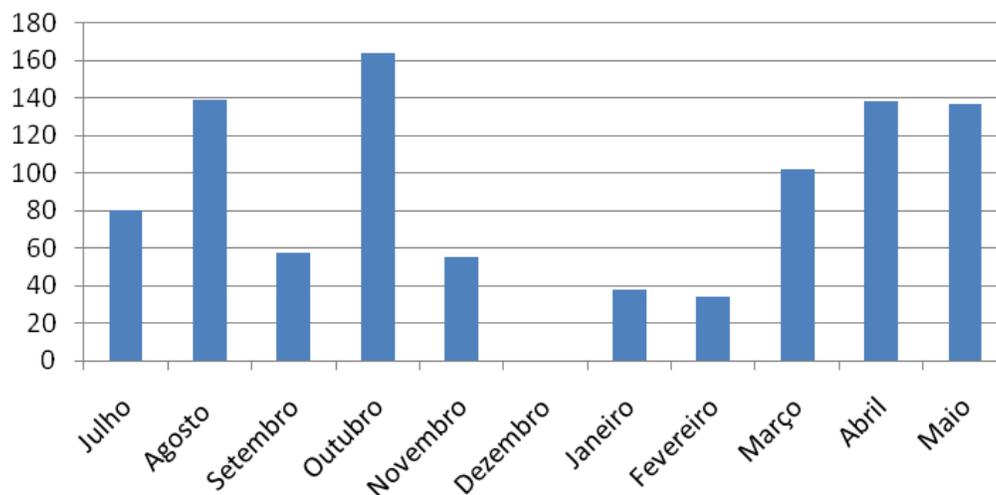


Figura 7. Chuvas médias mensais (mm) observadas em todos os pluviômetros.

Utilizando o teste de t para avaliar as diferenças para médias de dois grupos, demonstrou que a média a barlavento foi de 997,30 mm com desvio padrão de 62,14 e a média a sotavento foi de 908,96 mm com desvio padrão de 79,46. Ao nível de significância de 5% o t tabelado foi de 1,86 e o t calculado foi de 1,75. Assim, se o t tabelado for maior que 1,86 a média a barlavento é superior estatisticamente a de sotavento, ou seja, $\bar{X}_1 > \bar{X}_2$. Como o t calculado foi menor, os dados sugerem que $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$, não havendo efeito orográfico para os eventos observados.

Realizando uma análise mais detalhada dos eventos observados, podem-se destacar oito eventos de chuva (Tabela 3) que sugerem haver o efeito orográfico (Figura 8 e Figura 9), pois tiveram um acréscimo de chuva a barlavento (PL1 a PL5) e um decréscimo de chuva a sotavento (PL6 a PL10). Estes tiveram pluviosidade 27,88% maior a barlavento que a sotavento (Figura 10).

Estes eventos foram submetidos à análise estatística separadamente dos outros, para avaliar se existe diferença estatística significativa entre as chuvas totais médias a barlavento e a sotavento de Silveira Martins.

Tabela 3. Chuva (mm) nos eventos característicos de efeito orográfico.

	PL1	PL2	PL3	PL4	PL5	PL6	PL7	PL8	PL9	PL10
26/jul	21,5	23	25,5	28	23	14,5	16	14	14	12
17/ago	2	1	0,5	3	0	0	0	0	0	0
5/set	15	19	28	33	28	27	24	20	20,5	20,5
20/set	51	54	68	64	46	30	32	26	26	29
25/out	65	80	89	101	88	68	67	56	56	46
11/Nov	26	23	28	32	20	25	26	26	25	24
5/abr	40	43	52	56	50	47	46	47	48	43
30/mai	157,5	165	170	170	140	132	134	100	108	86
TOTAL	378	408	461	487	395	343,5	345	289	297,5	260,5

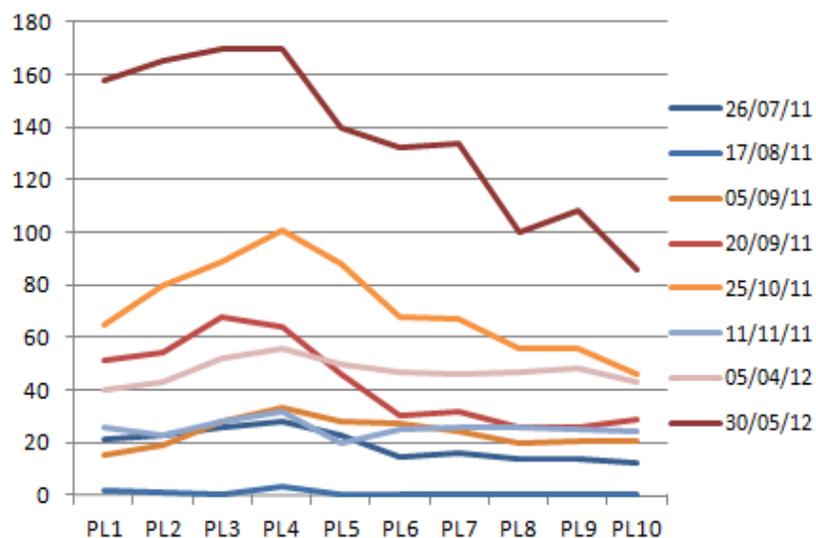


Figura 8. Chuva (mm) nos eventos característicos de efeito orográfico.

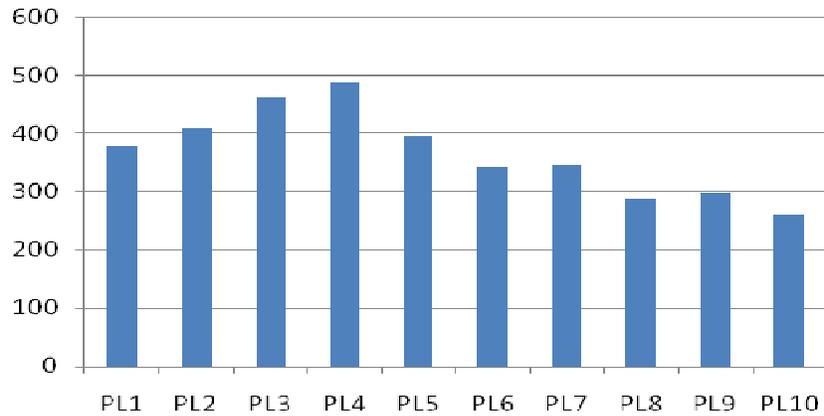


Figura 9. Chuva média (mm) em cada pluviômetros nos eventos característicos de efeito orográfico.

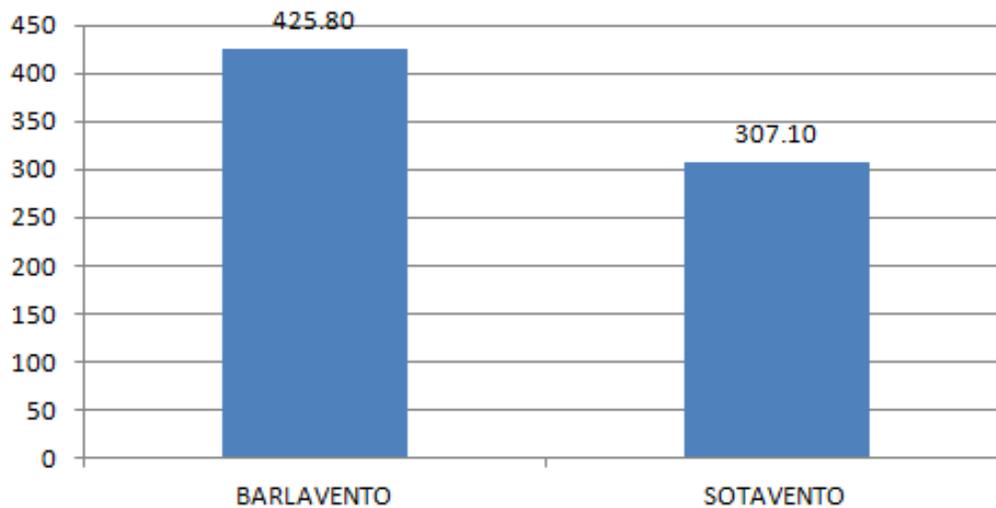


Figura 10. Chuva total média (mm) nos eventos característicos de efeito orográfico a Barlavento (PL1 a PL5) e a Sotavento (PL6 a PL10).

Utilizando o teste de t para avaliar as diferenças para médias coletadas a barlavento, com as médias coletadas a sotavento das chuvas destacadas, os resultados mostraram que a média coletada a barlavento foi de 425,8 mm com desvio padrão de 49,49 e a média a sotavento foi de 307,10 mm com desvio padrão de 48,56. Ao nível de significância de 5% o t tabelado foi de 1,86 e o t calculado foi de 3,42. Assim, como o t calculado foi maior que o t tabelado, o resultado sugere haver diferença significativa na análise destes eventos, caracterizando assim, o efeito orográfico.

Deve-se destacar que nestes casos foi comprovado visualmente que o efeito orográfico ocorreu devido à influência de massas de ar com direção sul-norte, concordando com Monteiro (1973). O autor argumenta que a situação geográfica sugere à sua dinâmica atmosférica um complexo jogo entre massas de ar, e não o predomínio de este ou aquele sistema. Isto é, observou-se

que quando o movimento da massa de ar é na direção sul-norte ocorre maior pluviosidade a barlavento devido ao choque da massa de ar com a formação montanhosa. Quanto o movimento da massa de ar é na direção norte-sul, invertendo as posições barlavento e sotavento, não há diferença significativa de pluviosidade. Nestes eventos a massa de ar não se eleva, pois vem da parte norte do Estado que apresenta maior altitude, não havendo influencia do relevo na formação da chuva. Estes resultados indicam a necessidade de monitorar o movimento das massas de ar.

CONCLUSÃO

Em alguns eventos de chuva observou-se uma influência do relevo nas chuvas ocorridas em Silveira Martins, centro do Estado do Rio Grande do Sul. Foi comprovado estatisticamente que os dados sugerem haver efeito orográfico, sendo que a barlavento os valores de chuva foram incrementados em 27,88% quando comparados com aqueles encontrados a sotavento.

Estes resultados foram encontrados quando o movimento das massas de ar é no sentido sul-norte. Contudo, não existe um predomínio neste movimento, ou seja, ocorre uma variação da direção do vento, o que condiciona a ocorrência do efeito orográfico. Assim como a maioria das regiões do país, os dados climatológicos históricos da região central do Rio Grande do Sul são escassos, sendo necessário avançar na instalação de postos de monitoramento.

O estudo da maior pluviosidade a barlavento pode contribuir para minimizar os impactos de eventos extremos de chuva na região, que resultam em prejuízos sócio-econômicos. A maioria destes eventos está associada às instabilidades severas do tempo que causam inundações, escorregamentos e vendavais.

REFERÊNCIAS

- BRUNO, I. P. Balanço Hídrico e Avaliação da Chuva na Cultura do Cafeeiro. 2006. 53f. Dissertação (mestrado em Fitotecnia) – Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2006
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Santa Maria, 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 25 de set. de 2011.
- KHAN, V.; KIM, I. A Análise de Agrupamento Pluviométrico nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. X Congresso Brasileiro de Meteorologia. Brasília, 1998.
- MENDONÇA, F., DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina dos Textos, 2007. 206 p.

- MILANESI, M.A., Avaliação do efeito orográfico na pluviometria de vertentes opostas da Ilha de São Sebastião (Ilhabela - SP). 2007. 150pgs. Dissertação (mestrado em Geografia Física). Universidade de São Paulo/Faculdade de Filosofia, Letras Ciências Humanas/DG, São Paulo.
- MONTEIRO, C.A.F A dinâmica climática e as chuvas do Estado de São Paulo: estudo geográfico em forma de atlas. São Paulo, USP, Instituto de Geografia, 1973. 129p.
- REICHARDT, K., ANGELOCCI L.R., BACCHI, O.O.S., PILOTTO, J.E. Daily Rainfall Variability At A Local Scale (1,000 Ha), In Piracicaba, SP, Brazil, And Its Implications On Soil Water Recharge. Departamento de Física e Meteorologia-ESALQ/USP, 1995.
- SCP/DEPLAN. Atlas socioeconômico do Rio Grande do Sul: índice de mapas. 2004. Disponível em. <http://www.scp.rs.gov.br/atlas/indice_mapas.asp?menu=331>. Acesso em 02/08/2011.
- SPIEGEL, M.R.,SCHILLER,J.J., SRINIVASAN, R.A. Teoria e problemas de probabilidade e estatística. Tradução de Sara Ianda Correa Carmona – 2 Ed. – Porto Alegre: Brookman, 2004. 398p.
- TUCCI, C.E.M. (Org). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2º Ed. Porto Alegre: ED. UFRGS: ABRH, 2001. 943p.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às entidades de fomento que disponibilizaram as seguintes bolsas de iniciação científica:

- Daniel Secretti Vendruscolo: Bolsista do “Programa de Auxílio à pesquisa de recém-doutores (“Enxoval”)” da UFSM;
- Elias Silveira Rizzi: bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PROBIC) da FAPERGS/UFSM.
- Carolini Ilha Di Francani: bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) do CNPq/UFSM.