

Representação cartográfica das ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos em Santa Maria/RS*

¹Elisângela Rosemeri Curti Martins, ²Mauro Kumpfer Werlang

¹*Mestranda da USP/FFLCH/Dpt^o de Geografia - São Paulo, SP*

²*Professor Adjunto do Depto de Geociências/CCNE/UFSM - Santa Maria, RS
e-mail: mkwerlang@smail.ufsm.br*

Resumo

Santa Maria possui várias áreas onde ocorrem conflitos de uso da terra e problemas de infra-estrutura. Em algumas áreas há o registro de ocorrência de eventos de inundações, alagamentos e deslizamentos. O objetivo do trabalho foi (1) a determinação da erosividade da chuva e a correlação com o registro das ocorrências desses eventos na cidade de Santa Maria, (2) determinar um índice crítico para o desencadeamento desses eventos, (3) mostrar a espacialização dessas ocorrências através de um mapa expressando as áreas com maior ocorrência desses eventos. O resultado obtido revelou que a maior concentração desse tipo de ocorrência encontra-se na parte central da cidade. Concluiu-se que a ocorrência desses eventos está fortemente relacionada a problemas de infra-estrutura.

Abstract

Santa Maria has some areas where happen conflicts of land use and infrastructure problems. In some areas there is the register of events occurrence of floodings, overflows and landslides. In this way, this work deals with three main objectives: (1) the determination of the rain erosivity and the relation with the registration of the occurrences in Santa Maria city; (2) determining a critical index for the setting off of these events, (3) showing the space of these occurrences through a map that expresses the areas with bigger occurrence of these events. The gotten result disclosed that the biggest concentration of this type of occurrence meets in the central part of the city. It was concluded that the occurrence of these events is strongly related to the infrastructure problems.

*Trabalho desenvolvido com apoio da FAPERGS

1. Introdução

O processo de urbanização, historicamente, é resultante da divisão social do trabalho a partir do momento em que o excedente agrícola acumulado fez com que uma parcela da população, pudesse deixar a obtenção direta dos meios de subsistência e buscar outras atividades tais como a política e trocas de produtos e/ou comércio (Costa apud Zillmer, 1991).

Ao longo das últimas décadas o Brasil apresentou um crescimento significativo da população urbana, evidenciado pelo êxodo rural, modernização da agricultura, atração às cidades em busca de melhores condições de vida e trabalho na indústria e no comércio.

O efeito do processo de ocupação acelerado sobre a área urbana se faz sentir, principalmente em relação aos recursos hídricos, no abastecimento de água, tratamento de esgotos cloacais e drenagem pluvial. Tucci (1995) destaca que quando da constatação desse processo, e suas conseqüências, se faz necessário planejar esse espaço urbano com infraestrutura adequada e condições que possibilitem a mitigação dos impactos econômico-sociais negativos.

Entretanto, as conseqüências da falta de preocupação com o planejar, são sentidas em quase todas as cidades de médio e grande porte do Brasil. Na cidade de Santa Maria, região central do Estado do Rio Grande do Sul, essa realidade também é presente, pois junto com a urbanização não planejada, seguem-se problemas ambientais e de infra-estrutura. Resulta disso, um dos problemas urbanos freqüentes: o desencadeamento de eventos de inundações, alagamentos e deslizamentos.

O objetivo do trabalho propõe determinar um índice crítico relativo a erosividade da chuva (EI_{30}) para as ocorrências de inundações, alagamentos, deslizamentos na cidade de Santa Maria no período de 1980 a 2002; correlacionar o índice crítico da erosividade da chuva (EI_{30}) e as ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos, seguindo seus respectivos endereços, espacializando os dados em zonas e representar cartograficamente a freqüência das ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos; identificar as áreas (bairros) com maior índice de ocorrência desses eventos na cidade de Santa Maria.

2. Metodologia

2.1. Localização e caracterização geral da área

A cidade de Santa Maria, situada no centro do Estado do Rio Grande do Sul, está inserida na região denominada Depressão Periférica Sul-riograndense. Localiza-se aproximadamente entre as coordenadas geográ-

ficas 53°45'00" e 53°52'30" de longitude oeste e 29°40'00" e 29°45'00" de latitude sul. Apresenta relevo com topografia suave, com baixas cotas altimétricas onde se destacam planícies aluviais e terraços fluviais. Entretanto, no setor norte junto ao rebordo do Planalto da Bacia Sedimentar do Paraná, aparecem cotas altimétricas mais elevadas, conseqüentemente, áreas com características mais íngremes. Nas áreas em que o relevo se apresenta plano, ocorrem topos modelados em rochas mais resistentes, que funcionam como camada mantenedora. Além destes, aparecem, em alguns pontos, relevos residuais. No que se refere à vegetação original corresponde a área da floresta estacional decidual e aos campos com capões e matas galerias da depressão periférica (FIBGE/RADAMBRASIL,1986). Em relação aos cursos d'água os mais importantes são o arroio Cadena, arroio Arenal e o rio Vacacaí-Mirim. Em relação à geologia, o sítio urbano de Santa Maria, abrange uma zona de rochas sedimentares e outra com rochas vulcânicas. A área sedimentar está compreendida pela formação Caturrita e pela formação Santa Maria. Ao norte ocorrem rochas da formação Botucatu intercaladas com rochas vulcânicas da formação Serra Geral junto ao rebordo do planalto (Bortoluzzi,1974; Silva,1997). O clima, com base na classificação de Köppen, enquadra-se como sendo mesotérmico brando Cfa. As precipitações são regulares durante todo o ano, não apresentando estação seca (Ayoade,1986).

2.2. Procedimentos metodológicos

Na coleta dos dados para a determinação da erosividade da chuva, utilizou-se os gráficos de registro diário relativo aos eventos de precipitações considerando-se as chuvas individuais no período de 1980 e 2002. Para tanto, tomaram-se os dados junto ao setor de meteorologia do 8º distrito, sediado no Departamento de Fitotecnia na Universidade Federal de Santa Maria. A erosividade da chuva foi determinada a partir da proposta metodológica de Wischmeier & Smith (1956). A erosividade da chuva é expressa através do índice EI_{30} que resulta da energia cinética total da chuva pela intensidade máxima em mm/h numa duração de 30 minutos. O fator "R" está expresso em Mj/ha.mm./h. Posteriormente, fez-se a tabulação dos dados com o auxílio da planilha Excel. Determinou-se o índice EI_{30} mensal e anual, determinando o fator "R" através das médias da série trabalhada.

Para a coleta dos dados referentes às ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos foram consultadas as fichas de ocorrências de bombeiros (FOBs), junto à Brigada Militar, 4º CRB - Comando Regional de Bombeiro, no 1º SGCI - Sub-grupamento de Combate a Incêndio. Estas trazem o código da natureza da ocorrência, data, endereço e relatório da

provável causa do evento. Foram consideradas ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos àquelas que, pelo relatório, foram motivadas em cujas condições de tempo instável ou que havia mais de uma ocorrência registrada no mesmo dia.

Na correlação entre os dados de erosividade da chuva e os eventos registrados, considerou-se a chuva acumulada e respectivo EI30 relativo a quatro dias antecedentes ao evento. A definição de chuva acumulada esteve apoiada em Tatizana et al (1987) que definiram este número de dias de chuva antecedentes quando analisaram ocorrências de escorregamentos na Serra do Mar em Cubatão-SP. A relação fez-se considerando o número de ocorrências e o índice EI30, ajustando-se uma equação aos dados.

Para a confecção do mapa observou-se o número de ocorrências por bairro, definindo-se um índice de concentração. Dividiu-se o número de ocorrências pela área de cada bairro definindo-se um índice de concentração de ocorrências (ICO). Esse índice serviu para auxiliar a definição das classes relativas à concentração das ocorrências dos eventos considerados. Após determinou-se o número de classes, conforme Sturges (Gerardi & Silva, 1981), e procedeu-se a determinação do intervalo de classe seguindo uma legenda de cores representando o maior ou menor índice de ocorrência. A legenda de cores adotada baseou-se na concepção metodológica proposta por Martinelli (1991).

3. Resultado e discussão

A determinação da erosividade da chuva, cujos resultados constam no Quadro 1, mostra a média do índice EI_{30} e o fator “R” para a cidade de Santa Maria. Esses valores correspondem a erosividade da chuva, determinada conforme as características locais de precipitações, ou seja, mostra a capacidade erosiva dos eventos de precipitação em Santa Maria. Observa-se que os meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril e maio, respectivamente, são os meses em que a erosividade da chuva se apresenta maior. No verão, os eventos de precipitações individuais, são mais torrenciais conseqüentemente as chuvas são mais erosivas, uma vez que representam precipitações mais volumosas num intervalo de tempo menor, comparativamente aos eventos de precipitações individuais do inverno.

O número de dias com chuva e registros de ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos foi de 156 dias durante o período da pesquisa. Com base nesses dados, através de um gráfico de dispersão, plotou-se a erosividade da chuva e as ocorrências.

Obteve-se a equação de regressão e respectivo coeficiente de determinação (r^2) a partir do ajuste da equação da reta. A Figura 1 mostra o gráfico de dispersão obtido, onde se pode visualizar que na medida em que

aumenta a precipitação aumenta a erosividade da chuva e, ambos aumentam o risco de ocorrências dos eventos de inundações, alagamentos e deslizamentos. Observa-se que a partir de determinados valores (valores elevados) para o EI_{30} , não mais se estabelece correlação. Tem-se uma tendência definida até os valores próximos aos 829,42 $Mj.ha/mm.h$. A equação de ajuste obtida foi $y = 0,0777x + 27,441$, com um coeficiente de determinação $r^2 = 0,9511$.

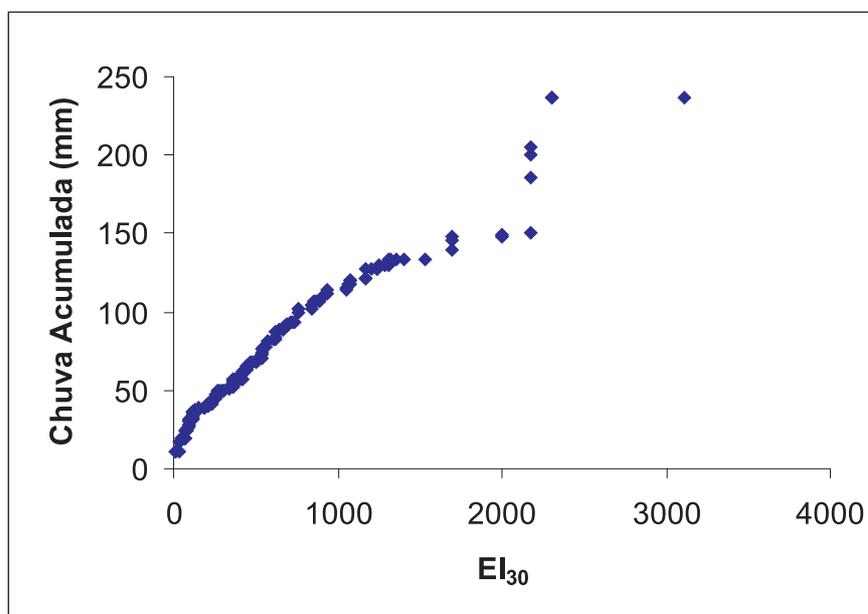


Figura 1. Gráfico de dispersão plotando-se chuva acumulada (quatro dias) e o EI_{30} correspondente aos eventos registrados

Quadro 1. Médias mensais do EI₃₀ dos eventos de precipitação em Santa Maria e erosividade da chuva do período de 1980-2002 em Mj.ha/mm.h

Ano	1980	1981	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Jan	568,93	806,1	116,5	330	726	92,57	93,62	119	58,42	150	67,24	212,6
Fev	130,5	69,4	135,6	409,7	205	77	431,04	119	-	315,9	-	214,2
Mar	190,22	33,08	157,8	193,9	287,2	100,5	213,29	135,9	364,5	178,2	231,4	143,1
Abr	29,03	45,87	147,9	424,5	198,6	89,26	40,69	376,1	380,9	220,7	789,6	393
Mai	38,26	35,17	135,8	518,9	159,2	652,8	188,35	17,56	58,31	49,99	73,22	63,09
Jun	38,98	181,5	24,07	160,9	197,9	75,91	137,48	346,6	20,71	20,9	52,19	106,1
Jul	107,77	41,14	-	212,5	206,5	119,3	186,25	-	40,84	259	63,8	32,76
Ago	11,53	-	67,59	101,1	44,45	208,7	210,6	-	133,6	7,56	11,92	242,5
Set	100,01	82,52	-	107,8	100,9	208,7	84,84	311	149,6	112,8	151,8	75,99
Out	107,31	161,3	123,7	56,19	92,45	40,6	291,15	292,5	177,2	116,4	78,34	90,27
Nov	19,52	166,5	-	155,5	43,46	143,4	258,04	399,6	218	235,3	32,31	101,2
Dez	235,62	478	-	65,64	-	211	734,23	186	183,9	112,3	350,1	209
Ano	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	MÉDIA	
Jan	128,8	270,6	63,57	511,8	149,6	254	352,1	415	355,6	136,2	271,74	
Fev	248	411,8	70,02	250,5	178,6	239,1	193,3	48	223,3	384,3	229,17	
Mar	190,4	79,06	328,4	319,7	-	126,9	239,8	228,8	439,5	260,8	233,80	
Abr	212,1	241	78,43	159,5	104,1	275,8	127,2	32,4	182,7	345,1	222,48	
Mai	258,7	873,9	68,57	-	373,6	53,8	252,7	124,7	129,4	300,8	221,34	
Jun	81,83	152,9	84,85	162,3	199,4	41,3	167,9	250,6	120	302	133,02	
Jul	208,7	389,6	64,63	41,9	129,2	129	51,4	89,6	278,8	72,2	143,42	
Ago	-	212,7	116	72,3	181,5	290,4	22	113,4	109,2	198	130,83	
Set	195,2	160,5	-	45,1	34,6	295,6	117	287,1	150,6	353,5	164,48	
Out	173,5	316,3	47,74	95,5	220,3	47,8	160,6	143,6	79,1	152,7	139,30	
Nov	280,1	362,6	-	28,4	157,3	72,3	90,1	131,7	125,4	-	167,81	
Dez	246,6	378,9	59,49	344,1	312,2	152,4	542,2	452,9	67,7	-	295,68	
Média	202,2	320,8	98,16	184,6	185,5	164,8	193	193,1	188,4	250,5		
											Fator "R"	
											2.353,07	

- Dados não disponíveis
 Fonte: Martins, E. R. C. (2003)

A determinação de um valor crítico deu-se através da média menos uma vez o desvio padrão das chuvas e do índice EI30 (Tabela 1). Chuvas acumuladas com EI30 igual ou superior a 48, 55 Mj.ha/mm.h e 30,05 mm em eventos de precipitação acumulado em quatro dias, tendem, conforme a equação definida para o índice EI30, desencadear eventos como deslizamentos, alagamentos e inundações em Santa Maria.

Tabela 1. Média e desvio padrão da chuva acumulada e do índice EI₃₀ para a área urbana de Santa Maria

Chuva Acumulada		EI ₃₀	
Média	77,21	Média	640,83
Desvio Padrão (S)	47,16	Desvio Padrão (S)	592,28
Média + 1S	124,37	Média + 1 S	1.233,11
Média - 1S	30,05	Média - 1 S	48,55
Média + 2 S	171,53	Média + 2 S	1.825,39
Média - 2 S	17,11	Média - 2 S	543,73

Fonte: Martins, E. R. C. (2003)

Através dos dados obtidos no batalhão do corpo de bombeiros, 1º SGCI, foram registrados vinte e uma ocorrências com valores de precipitação acumulada durante quatro dias, inferiores aos definidos como sendo o valor crítico. Para tanto, determinou-se a probabilidade de ocorrência desses eventos dentro do período de um ano. Obteve-se uma probabilidade de 5%. No levantamento de todas as ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos registrados verificaram-se um total de 287 ocorrências no período de 1983 a 2002. Dessas, obteve-se o ICO expresso na Tabela 2. O mapa do índice de concentração de ocorrências (ICO) desses eventos por bairro expressa em diferentes classes, segundo sua maior ou menor frequência, conforme uma legenda de cores, quais são os bairros potencialmente mais problemáticos (Quadro 2 e Figura 2). Analisando o mapa (Tabela 2 e Figura 2) que representam o índice de concentração de ocorrências (ICO) de inundações, alagamentos e deslizamentos na área urbana de Santa Maria, observa-se como a área de maior concentração os bairros Centro e Nossa Senhora do Rosário. Na classe de concentração

moderada, o bairro Salgado Filho e Patronato. As demais classes representam menor frequência no registro do fenômeno, mas não menos importante ao se analisar a organização do espaço urbano de Santa Maria.

Tabela 2. Relação do número e índice de concentração de ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos por bairro, na cidade de Santa Maria

Bairro	Nº de ocorrências	ICO
Centro	72	15,463
Nossa Senhora de Lourdes	23	5,357
Salgado Filho	19	5,980
Patronato	19	4,376
Camobi	16	0,946
Presidente João Goulart	15	5,462
Urlândia	13	2,713
Nossa Senhora Medianeira	13	3,354
Passo D'Areia	12	3,432
Itararé	12	1,915
Nossa Senhora do Perpétuo Socorro	10	1,871
Nossa Senhora do Rosário	10	9,015
Km 3	10	2,985
Tomazzeti	9	1,835
Parque Pinheiro Machado	8	1,167
Juscelino Kubitschek	7	2,175
Cohab Passo da Ferreira	5	2,135
Nossa Senhora das Dores	5	4,003
Chácara das Flores	5	1,727
Caturrita	2	0,625
São José	1	0,280
Pé de Plátano	1	0,196
Cerrito	0	0,000
Total	287	-

Organização dos autores

Quadro 2. Legenda de cores e concentração de ocorrências por bairro dos eventos de inundação, alagamento e deslizamento na cidade de Santa Maria

Cores	Intensidade do evento	Bairros
Amarelo claro	Inexistência de Ocorrência	Cerrito
Amarelo	Concentração Fraca	Cohab Passo da Ferreira, Juscelino Kubitschek, Caturrita, Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, São José, Pé de Plátano, Chácara das Flores, Tomazzeti, Urlândia, Camobi e Itararé, Parque Pinheiro Machado.
Amarelo Forte	Concentração Média	Passo D'Areia, Nossa Senhora das Dores, Presidente João Goulart, Nossa Senhora Medianeira e Nossa Senhora de Lourdes, KM 3.
Laranja	Concentração Moderada	Salgado Filho, Patronato
Vermelho	Concentração Forte	Nossa Senhora do Rosário e Centro

Organização dos autores

A análise dos dados e os resultados obtidos levam a inferência da relação entre a ocorrência desses eventos com a infra-estrutura dos bairros. Os maiores índices de concentração de ocorrências (ICO) não correspondem à área periférica da cidade. Cabe ressaltar, entretanto, que quando da ocorrência desses tipos de eventos, são estas as áreas em que o impacto é maior, dado às condições sociais e econômicas da população dessas áreas periféricas.

A cidade de Santa Maria pela morfologia do terreno que abriga seu sítio urbano, propicia o desencadeamento de ocorrências dessa natureza. Isso pode facilmente ser constatado ao confrontarem-se os dados com os endereços, onde nas ruas situadas em terrenos baixos, foram identificados um maior número e frequência de ocorrências. Além disso, o efeito da impermeabilização do solo urbano em Santa Maria vem facilitar cada vez mais eventos dessa natureza, face de a cidade carecer muito de áreas verdes e espaços livres permeáveis. Outros problemas também se associam a isso, como o entupimento da rede de esgoto em função do acúmulo de lixo e folhas de árvores. Reforçando o que expressa o mapa (Figura 2), os relatórios das FOBs, reportam a questões ligadas a problemas de infra-estrutura.

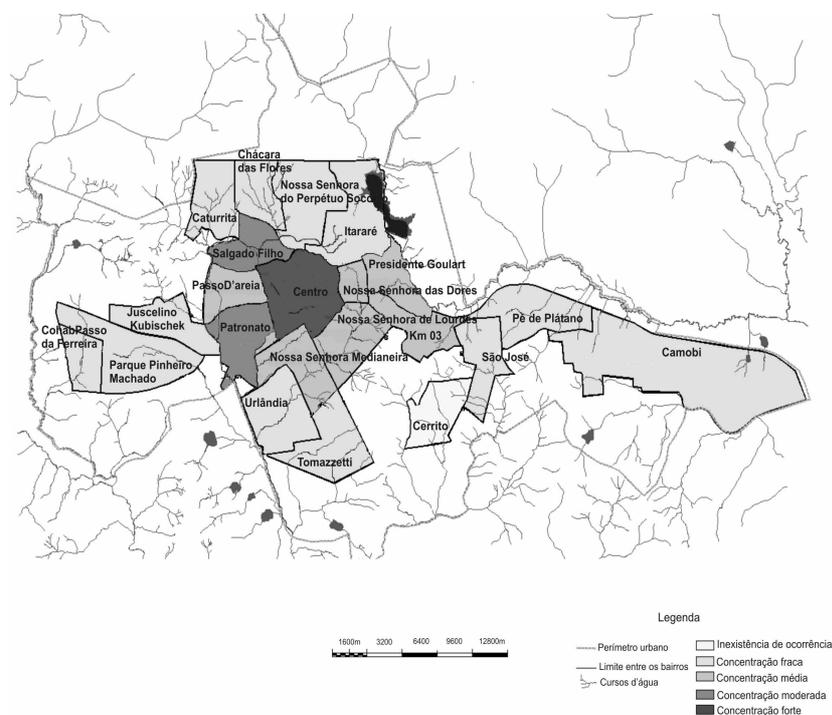


Figura 2. Representação cartográfica das ocorrências dos eventos de inundação, alagamento e deslizamento na cidade de Santa Maria-RS

4. Considerações finais

Os resultados obtidos através da determinação da erosividade da chuva e correlação com os eventos de inundações, alagamentos e deslizamentos mostram que há uma correlação positiva, ou seja, quanto maior a intensidade da chuva num intervalo de 30 minutos, maior é a presença de ocorrências desses eventos. Constatou-se que os maiores valores para o EI_{30} ocorrem nos meses de dezembro, janeiro, março e fevereiro respectivamente. Isso evidencia que as precipitações nesses meses, dadas às condições de tempo locais, apresentam-se mais erosivas. Conforme a equação de ajuste obtida, precipitações com erosividade da chuva acima EI_{30} 48,55 $Mj.ha/mm.h$ e 31,21 mm de chuva acumulada, tidos como índice crítico, são susceptíveis de desencadear eventos de inundações, alagamentos

e deslizamentos. Entretanto, tem-se a probabilidade de ocorrências dentro de um ano de pelo menos 5% desses eventos ocorrem com precipitação inferior a esse índice crítico. No relatório que compõe as FOBs, durante a coleta dos dados, constatou-se que existe problemas relacionado à infraestrutura urbana, como o não suprimento da vazão pluvial quando da ocorrência de chuvas mais torrenciais. Aliado a isso se tem outro problema, que é o acúmulo de lixo junto à rede de drenagem pluvial. Essa problemática em relação à infra-estrutura pode ser observada ao analisar o mapa (Figura 2) que expressa as áreas com maior índice de concentração de ocorrência (ICO). Esse retrata a realidade urbana de Santa Maria frente aos problemas de inundações, alagamentos e deslizamentos, onde o maior índice encontra-se nos bairros Centro e Nossa Senhora do Rosário. Representado pela classe de concentração moderada, está o Bairro Salgado Filho. As classes que representam a concentração média e fraca ocorrem nos demais bairros periféricos da cidade. Cabe destacar que é nessas áreas que as conseqüências são mais expressivas, principalmente pelas condições sócio-econômicas. Conseqüentemente, são essas áreas mais pobres que são tidas, muitas vezes, como referência dos processos danosos desse tipo de evento. Verificou-se que, para esse trabalho, o método adotado se fez eficiente capaz de expressar os dados coletados e trabalhados. Destaca-se dessa forma a importância assumida pela cartografia como um instrumento na análise do espaço urbano e, portanto, no planejamento deste.

5. Referências bibliográficas

- AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. São Paulo: Difel, 1986, 332p.
- BORTOLUZZI, C.A. Contribuição à Geologia da Região de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 4, n. 1, p.7-86, 1974.
- BERGER, M. G. **Inundações/Alagamentos na Área Urbana de Santa Maria Associado à Ação Antrópica e a Distribuição das Chuvas entre 1980 e 1995**. 1999, 82p. Trabalho de Graduação (Curso de Geografia) Universidade Federal de Santa Maria, 1999.
- CERRI, L. E. S. Riscos Geológicos Urbanos. In: Chassot, A. & Campos, H. (orgs). **Ciências da Terra e o Meio Ambiente**. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 1999. p.133-150.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, 2 ed., Edgard Blücher, 1980. 188p.

- FIBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA. Projeto RADAMBRASIL. Folha SH-21. Rio de Janeiro: FIBGE; 1986. vol.33.
- GERARDI, L. H. O. & SILVA, B. C. M. N. **Quantificação em Geografia**. São Paulo: Difel. 1981. 161p.
- MACIEL FILHO, C. L. **Carta Geotécnica de Santa Maria**. Santa Maria, Imprensa Universitária, 1990. 22p
- MARTINELLI, M. **Curso de Cartografia Temática**. São Paulo: Contexto, 1991. 180p.
- MARTINS, E. R. C. **Determinação da erosividade da chuva - correlação com eventos de inundações, alagamentos e deslizamentos na cidade de Santa Maria/RS**. 2003, 67p. Trabalho de Graduação (Curso de Geografia) na Universidade Federal de Santa Maria, 2003.
- MITCHELL, J. K. Estimación de la Perdida del Suelo. In: Kirkby, M. J. & Morgan, R. P. C. (orgs). **Erosión de Suelos**. México: Limusa Noriega Editores, 1994. p. 35-88.
- MOJICA, F. J. **La Ecuacion Universal de Erosion**. *Revista Geografia de América Central*. Escuela de Geografia (Faculdade de Ciencias de la Turma Yelmar) Universidad Nacional Heredia. Costa Rica. Pesquisa em Geografia, p. 35-45, 1978.
- PENTEADO, M. **Fundamentos de Geomorfologia**. 2 ed., Rio de Janeiro: IBGE, 1978. 154p.
- SILVA, J.L.S. **Estudo dos processos de silicificação e calcificação em rochas sedimentares mesozóicas do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Tese de doutorado. Curso de Pós-graduação em Geociências. Instituto de Geociências UFRGS. 1997.
- TATIZANA, C., OGURA, A. T., CERRI, L. E. S. & ROCHA, M. C. M. **Análise de Correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão**. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, São Paulo: ABGE. 1987. v. 2. p.225-236. Anais.
- ZILLMER, R. J. **A pequena produção da Horti-fruticultura na periferia urbana de Santa Maria - RS**. 1991. 155p. Monografia (Graduação em Geografia) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1991.