



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/01.18.12.49-RPQ

**ANÁLISE DO EVENTO DE INUNDAÇÃO BRUSCA
OCORRIDO EM SÃO LOURENÇO DO SUL, RS, EM 10
DE MARÇO DE 2011**

Tania Maria Sausen
María Silvia Pardi Lacruz
Silvia Midori Saito
Rodrigo da Silva Pereira

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3B7Q8KS>>

INPE
São José dos Campos
2012

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Vivéca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/01.18.12.49-RPQ

**ANÁLISE DO EVENTO DE INUNDAÇÃO BRUSCA
OCORRIDO EM SÃO LOURENÇO DO SUL, RS, EM 10
DE MARÇO DE 2011**

Tania Maria Sausen
María Silvia Pardi Lacruz
Silvia Midori Saito
Rodrigo da Silva Pereira

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3B7Q8KS>>

INPE
São José dos Campos
2012

SUMÁRIO

Nº		Página
1.	Introdução-Panorama da Situação.....	
2.	Objetivo.....	33
3.	Área de estudo.....	33
4.	Materiais.....	37
4.1	Dados orbitais.....	37
4.2	Dados de campo.....	38
4.3	Dados cartográficos, gráficos, relatórios e obtidos em entrevistas.....	38
4.4	Programas utilizados.....	39
5.	Metodologia.....	40
5.1	Criação do banco de dados geográficos do Município de São Lourenço do Sul.....	40
5.2	Delimitação do município de São Lourenço do Sul.....	41
5.3	Delimitação da bacia do Arroio São Lourenço.....	41
5.4	Localização dos pluviômetros no município de São Lourenço do Sul...	42
5.5	Dados <i>ASTER/GDEM</i> para a caracterização do relevo do município de São Lourenço do sul e da bacia do Arroio São Lourenço.....	43
5.6	Mapa de uso e cobertura do solo do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço.....	45
5.6.1	Registro das imagens <i>LANSAT5/TM</i>	50
5.6.2	Segmentação das imagens <i>LANDSAT5/TM</i>	50
5.6.3	Classificação das imagens <i>LANDSAT5/TM</i>	51
5.7	Mapas de declividade do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço.....	52
5.8	Mapas de variáveis morfométricas do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço a partir do <i>TOPODATA</i>	54

5.8.1	Mapas de Curvatura Vertical das vertentes do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço.....	56
5.8.2	Mapas de Curvatura Horizontal das vertentes do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço.....	57
5.8.3	Forma do Terreno do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço.....	59
5.9	Localização das pontes afetadas pela inundação no Município de São Lourenço do Sul.....	61
5.10	Medidas da largura do canal do Arroio São Lourenço.....	63
5.11	Coleta de dados em campo.....	65
5.12	Avaliação dos danos.....	66
6	Resultados e Discussão.....	68
6.1	Precipitações no Sul do Rio Grande do Sul entre os dias 09 e 11 de março de 2011.....	73
6.1.1	Imagens do satélite GOES12.....	74
6.1.2	Mapa da localização dos pluviômetros no Município de São Lourenço do Sul.....	78
6.1.3	Dados de precipitação da estação meteorológica do INMET em Rio Grande.....	81
6.2	Mapa da rede de drenagem do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço.....	84
6.3	Relevo do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço.....	90
6.4	Mapa de Declividade do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço.....	105
6.5	Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço.....	110
6.6	Mapa de Curvatura Vertical do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço.....	123
6.7	Mapa de Curvatura Horizontal do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço.....	131

6.8	Mapa de Formas do Relevo do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço.....	35
6.9	Medidas da largura do canal do Arroio São Lourenço.....	139
6.10	Medidas da altura do nível das marcas de água em fachadas de imóveis.....	143
6.11	Avaliação de danos decorrentes da inundação em 10 de março de 2011 em São Lourenço do Sul.....	147
6.11.1	Comércio, Serviços e Lazer.....	148
6.11.2	Residências.....	155
6.11.3	Zona Rural.....	159
6.11.4	Cooperativas.....	159
6.11.5	Turismo.....	165
6.11.6	Infraestrutura pública-Pontes, Vias urbanas e Estradas Vicinais.....	174
6.11.7	Pavimentação urbana e estradas vicinais.....	185
6.11.8	Danos humanos.....	189
6.11.9	Análise dos questionários.....	190
7	Considerações finais.....	196
8	Bibliografia.....	200

LISTA DE FIGURAS

Nº		Pg.
1.1	Chuva forte na cidade de São Lourenço no dia 10 de março de 2011, causando inundação em parte da área urbana.....	20
1.2	Foto da cidade de São Lourenço do Sul, tirada de helicóptero, com suas ruas inundadas devido às chuvas fortes e concentradas causando um evento de inundação brusca (enxurrada) em 10 de março de 2011.....	21
1.3	Foto de várias casas inundadas, próximas ao Arroio São Lourenço, em 10 de março de 2011.Foto: Acervo Defesa Civil (março, 2011)....	21
1.4 A e B	Residência na rua Dr. Pio Ferreira no dia 10 de março, durante a inundação com água na altura do telhado (A) e no dia 30 de março durante o trabalho de campo da equipe do GEODESASTRES-SUL (B).....	22
1.5	Morador que teve sua residência danificada e com todos os seus pertences destruídos pela inundação assinala a altura atingida pela água.....	23
1.6	Casa destruída pela força das águas em São Lourenço do Sul. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março, 2011).....	23
1.7 A e B	Recorte de imagem Google Earth salientando a localização da ponte sobre o arroio São Lourenço, no centro da cidade, danificada pela força da água (A). Foto da mesma ponte danificada pela força das águas, em 10 de março de 2011 (B).....	24
1.8	Resgate de vitima com o auxilio da Brigada Militar, Corpo de Bombeiros e Defesa Civil.....	25
1.9	Membros da Defesa Civil e Brigada Militar utilizando barcos para o resgate da população afetada pela inundação.....	25
1.10	Embarcação dos moradores de São Lourenço do Sul auxiliando no resgate de vítimas da inundação.....	26
1.11	Croqui das áreas atingidas pelas chuvas no dia 10 de março de 2011..	26
1.12	Ponte na BR116, Km 468, no Passo do Pinto, destruída pela enxurrada do dia 10 de março de 2011, que acabou bloqueando o acesso a capital do estado.....	27
1.13	Mapa mostrando os locais onde a BR116 foi interrompida devido à queda de pontes.....	28

1.14	Estabelecimento comercial no centro da cidade de São Lourenço inundado. O proprietário conseguiu salvar os produtos pondo-os em local mais elevado.....	28
1.15	Mercadoria de uma loja de ferragens completamente destruída pela inundação brusca.....	29
1.16	Trailer destruído pela correnteza num camping em São Lourenço do Sul.....	30
1.17	Embarcações no Iate Clube arrastadas pela força da correnteza.....	30
1.18	Orla da praia da Barrinha devastada pela força da correnteza.....	31
1.19	Pátio da Secretaria Municipal de Obras, Setor Urbano, enlameado e com veículos e equipamentos danificados pela à inundação brusca ocorrida na cidade.....	32
1.20	Centro de arrecadação de doações para os desabrigados em São Lourenço do Sul.....	33
3.1	Localização do município de São Lourenço do Sul no estado do Rio Grande do Sul.....	34
3.2	Mapa do município de São Lourenço do Sul a partir de imagem LANDSAT5/TM, de 16 de abril de 2010.....	35
3.3	Mapa da bacia do Arroio São Lourenço, no município de São Lourenço do Sul a partir de imagem LANDSAT5/ TM de 16 de abril de 2010.....	36
5.1	Setor noroeste da bacia do Arroio São Lourenço, a esquerda se mostra as curvas de nível e cursos de água utilizados como base para a delimitação da bacia (em vermelho); à direita se apresenta a imagem <i>ASTER</i> de sombra de relevo com o limite da bacia e a drenagem.....	41
5.2	Imagem gerada a partir do modelo digital de elevação <i>ASTER GDEM</i> em tons de cinza com sobreposição da grade com os valores de elevação (cruz marrom e números em vermelho) e a limite do município de São Lourenço do Sul, em azul.....	45
5.3	Recorte da imagem LANDSAT5/TM de 23 de abril de 1995 referente ao município de São Lourenço do Sul.....	46
5.4	Recorte da imagem LANDSAT5/TM de 16 de abril de 2010 referente ao município de São Lourenço do Sul.....	47
5.5	Recorte da imagem TM/LANDSAT5 de 23 de abril de 1995 referente a bacia do arroio São Lourenço.....	48

5.6	Recorte da imagem LANDSAT5/TM de 16 de abril de 2010 referente a bacia do arroio São Lourenço.....	49
5.7	Esquema do processo de escoamento superficial e infiltração da água no solo em função da declividade Fonte: Florenzano, 2008.....	53
5.8	Exemplo de formas de terreno convexo, retilíneo e côncavo.....	54
5.9	Efeito da curvatura vertical sobre a hidrologia de superfície, onde se podem observar os processos de escoamento de infiltração da água....	55
5.10	Curvatura vertical da vertente quando observada em perfil.....	56
5.11	Formas do plano de curvatura vertical do terreno.....	56
5.12	Curvatura horizontal da vertente quando observada em projeção horizontal.....	58
5.13	Formas do plano de curvatura horizontal do terreno.....	58
5.14	Combinação das curvaturas vertical e horizontal para a caracterização das formas de vertentes, Dikau (1990), Peschier (1996), Florenzano (2008).....	60
5.15	Seção transversal para medida da largura do canal do arroio São Lourenço.....	63
5.16	Recorte de imagem Google Earth com a localização das seções transversais ao longo do canal do arroio São Lourenço, em seu trecho meandrante junto à área urbana.....	64
5.17	Pesquisadoras do GEODESASTRES-SUL em reunião com o prefeito municipal e técnicos da prefeitura.....	65
5.18	Recorte de imagem CBERS2/HRC com a localização dos pontos GPS onde foram feitas as entrevistas com os moradores.....	67
6.1	Croqui da área atingida pela inundação no perímetro urbano de São Lourenço do Sul.....	68
6.2	Recorte de imagem do Google Earth do local por onde as águas do arroio São Lourenço começaram a invadir a área urbana.....	70
6.3	Recorte da imagem Google Earth onde está salienta a direção das águas do arroio São Lourenço ao invadir a área urbana no dia 10 de março de 2011.....	71
6.4	Recorte de imagem do Google Earth onde está salientada a direção da inundação ocorrida em São Lourenço do Sul.....	72

6.5	Fotografia da época da inundação de 1941 em São Lourenço do Sul..	73
6.6	Dados do hidroestimador para a precipitação estimada diária, no dia 10 de março de 2011, na região de São Lourenço do Sul.....	74
6.7	Imagens do satélite GOES 12 sobre a região Sul do Brasil, no dia 09 de março de 2011, nos horários das 20 horas e 30 minutos (E) e 22 horas (D), respectivamente.....	76
6.8	Imagens do satélite GOES 12 sobre a região Sul do Brasil, nos dias 09 e 10 de março de 2011, nos horários das 23 horas (E) e 2 horas e 30 minutos (D), respectivamente.....	76
6.9	Imagens do satélite GOES 12 sobre a região Sul do Brasil, no dia 10 de março de 2011, nos horários das 3 horas e 30 minutos (E) e 4 horas (D), respectivamente.....	77
6.10	Imagens do satélite GOES 12 sobre a região Sul do Brasil, no dia 10 de março de 2011, nos horários das 4 horas e 30 minutos (E) e 5 horas (D), respectivamente.....	77
6.11	Imagens do satélite GOES 12 sobre a região Sul do Brasil, no dia 10 de março de 2011, nos horários das 5 horas e 30 minutos (E) e 6 horas (D), respectivamente.....	78
6.12	Localização e distribuição dos pluviômetros em relação à rede de drenagem no município de São Lourenço do Sul, com os valores de precipitação em milímetros.....	79
6.13	Localização e distribuição dos pluviômetros, em relação à rede de drenagem, na bacia do arroio São Lourenço, com os valores de precipitação em milímetros.....	80
6.14	Gráfico de precipitação da estação do INMET em Rio Grande, RS, para o período de 09 a 11 de Março de 2011.....	83
6.15	Gráfico comparativo entre a chuva mensal e a média climatológica (em torno de 110 mm) para o mês de março.....	83
6.16	Exemplo do desenho do padrão de drenagem dendrítico.....	84
6.17	Mapa da rede de drenagem do município de São Lourenço do Sul....	85
6.18	Mapa da rede de drenagem da bacia do arroio São Lourenço, onde está salientado o seu trecho meandrante.....	87
6.19	Recorte de imagem CBERS2/HRC onde é salientado trechos mais retilíneo, sugerindo controle estrutural, no arroio São Lourenço.....	88

6.20	Recorte de imagem CBERS2/HRC do canal do arroio São Lourenço onde é salientado cotovelos em ângulo reto e o ponto por onde a água extravasou dando início a inundação na área urbana (seta azul)..	89
6.21	Imagem sombreada gerada partir do produto ASTER/GDEM onde pode ser visualizado o relevo do município de São Lourenço do Sul..	91
6.22	Imagem sombreada gerada partir do produto ASTER/GDEM onde pode ser visualizado o relevo da bacia do arroio São Lourenço do Sul.....	92
6.23	Recorte de imagem LANDSAT5/TM onde está salientada a área de transição entre o Planalto Rebaixado Marginal (A) e a Planície Alúvio-Coluvionar (B).....	94
6.24	Recorte de imagem LANDSAT5/TM onde está salientada a área de transição entre o relevo de Planície Alúvio-Coluvionar (A) para o de Planície Lacustre (B).....	96
6.25	Fusão de imagens LANDSAT5/TM com o produto ASTER/GDEM onde está realçado em tons de cinza a área de Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul, em lilás o Planalto Rebaixado Marginal e em verde as áreas de Planícies Alúvio-Coluvionar e Lagunar, no município de São Lourenço do Sul.....	97
6.26	Fusão de imagens LANDSAT5/TM com o produto ASTER/GDEM onde está realçado em tons de cinza a área de Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul, em lilás o Planalto Rebaixado Marginal e em verde as áreas de Planícies Alúvio-Coluvionar na bacia do arroio São Lourenço, com a BR116 salientada pela linha azul.....	98
6.27	Recorte de imagem LANDSAT5/TM de 2010, onde se observa o traçado da rodovia BR116, na área de transição entre o Planalto rebaixado Marginal e a Planície Aluvio-Coluvionar.....	99
6.28	Mapa Hipsométrico do Município de São Lourenço do Sul.....	100
6.29	Mapa hipsométrico da bacia do Arroio São Lourenço.....	101
6.30	Perfil longitudinal na extensão da bacia do arroio São Lourenço, mostrando que o gradiente varia de 200m na cabeceira até 50m no início do médio.....	103
6.31	Perfil longitudinal na margem esquerda da bacia do arroio São Lourenço, onde na borda da bacia o relevo apresenta uma altitude de 150m e próximo ao canal a altitude é abaixo de 50m.....	104

6.32	Perfil longitudinal na margem direita da bacia do arroio São Lourenço, onde na borda da bacia o relevo apresenta uma altitude acima de 125m e próximo ao canal a altitude é em torno de 50m.....	104
6.33	Mapa de declividade do município de São Lourenço do Sul gerado a partir de dados obtidos no projeto TOPODATA.....	107
6.34	Mapa de declividade da bacia do arroio São Lourenço gerado a partir de dados obtidos no projeto TOPODATA.....	108
6.35	Mapa de uso e cobertura do solo do município de São Lourenço do Sul correspondente a imagem LANDSAT 5/TM de 23 de abril de 1995.....	112
6.36	Mapa de uso e cobertura do solo do município de São Lourenço do Sul correspondente à imagem LANDSAT 5/TM de 16 de abril de 2010.....	113
6.37	Sobreposição da classe Solo (laranja) com a com a fusão da imagem LANDSAT5/TM com o produto ASTER/GDEM, para o município de São Lourenço do Sul.....	116
6.38	Mapa de uso e cobertura do solo da bacia do arroio São Lourenço correspondente a imagem LANDSAT 5/TM de 23 de abril de 1995...	118
6.39	Mapa de uso e cobertura do solo da bacia do arroio São Lourenço correspondente a imagem LANDSAT 5/TM de 16 de abril de 2010...	119
6.40	Rede viária na bacia do arroio São Lourenço e as classes Solo e Agricultura em laranja e amarelo respectivamente.....	121
6.41	Classe Solo, em cor laranja, sobreposta a fusão da imagem LANDSAT5/TM com o produto ASTER/GDEM.....	122
6.42	Mapa de curvatura vertical das vertentes, em 5 classes, do município de São Lourenço do Sul gerado a partir de dados do Projeto TOPODATA.....	124
6.43	Sobreposição da classe Solo, em cor verde, sobre o mapa de Curvatura Vertical do município de São Lourenço do Sul.....	126
6.44	Mapa de curvatura vertical das vertentes, em 5 classes, da bacia do arroio São Lourenço gerado a partir de dados do Projeto TOPODATA.....	129
6.45	Sobreposição da classe Solo, em cor verde, sobre o mapa de Curvatura Vertical da bacia do arroio São Lourenço.....	130

6.46	Mapa de curvatura horizontal das vertentes, em 5 classes, do município de São Lourenço, gerado a partir de dados do Projeto TOPODATA.....	133
6.47	Mapa de curvatura vertical das vertentes, em 5 classes, da bacia do São Lourenço do Sul gerado a partir de dados do Projeto TOPODATA.....	134
6.48	Mapa de formas do terreno, em 3 classes, do município de São Lourenço, gerado a partir de dados do Projeto TOPODATA.....	137
6.49	Mapa de formas do terreno, em 3 classes, da bacia do Arroio São Lourenço do Sul gerado a partir de dados do Projeto TOPODATA....	138
6.50	Recorte da imagem Google Earth com a localização das 13 seções transversais ao longo do canal do Arroio São Lourenço.....	140
6.51	Foz do Arroio São Lourenço na década de 40 onde se pode observar o canal sem a presença de vegetação.....	142
6.52	Vista do Arroio São Lourenço no centro da cidade onde pode-se observar o canal totalmente sem vegetação aquática.....	142
6.53	Altura máxima atingida pela água na estação da CORSAN as margens do arroio São Lourenço.....	145
6.54	Recorte de imagem CBERS2/HRC com a localização e a numeração dos pontos GPS onde foram feitas as medidas de altura da marca de água em fachada de imóveis, em vermelho é onde a água atingiu 8 metros, em verde onde ela ultrapassou os 3 metros e em amarelo alguns trechos da cidade onde ela ultrapassou os 2 metros.....	146
6.55	Área urbana de São Lourenço do Sul inundada no dia 10 de março de 2011.....	147
6.56	Loja em cruzamento das ruas Floriano Peixoto e Duque de Caxias, no Centro de São Lourenço do Sul.....	148
6.57	Localização dos estabelecimentos afetados pela inundação do dia 10 de março.....	149
6.58	Supermercado no centro da cidade completamente inundado (A) e depois da inundação com a rua com restos de lama (B).....	150
6.59	Equipamentos de academia de ginástica sobre a calçada para limpeza depois que o estabelecimento foi invadido pelas águas, no dia 10 de março, de 2011.....	151
6.60	Sede do jornal O Lourenciano completamente inundado no dia 10 de março de 2011.....	151

6.61	A linha vermelha salienta a altura que a água atingiu na sede do jornal O Lourenciano.....	152
6.62	Altura atingida pela água no escritório do jornal O Lourenciano.....	153
6.63	Interior do Grêmio Esportivo Lourenciano danificado pela inundação, é possível ver na parede a altura atingida pela água.....	153
6.64	Salão de festas totalmente inundado no dia 10 de março de 2011.....	154
6.65	Prédio da CEEE afetado pela inundação do dia 10 de março de 2011.	154
6.66	Viatura da Brigada Militar afetada pela inundação no dia 10 de março de 2011.....	155
6.67	No centro da foto, moradia completamente destruída localizada na rua General Osório, bairro Lomba, em São Lourenço do Sul.....	155
6.68	Casa localizada às margens da rodovia Pelotas–Porto Alegre, na BR 116 próxima a ponte do Km 468, destruída pela força da correnteza do Arroio Viúva Tereza, no dia 10 de março de 2011.....	156
6.69	De acordo com o relato do jovem que morava nesta residência, por volta de 1h15min do dia 10 de março, ele, a mãe e os dois sobrinhos que moram na casa tiveram que sair porque a água começou a invadir o local.....	157
6.70	Mesma propriedade no dia 31 de março de 2011, já completamente destruída.....	157
6.71	Moradia bastante danificada às margens do arroio São Lourenço.....	158
6.72	Interior de uma residência coberta de lodo e totalmente destruída pela inundação do dia 10 de março, de 2011.....	158
6.73	Prédio da Cooperativa Armazenadora de Cereais Ltda. Afetado pela inundação.....	160
6.74	Vila dos pescadores, as margens do arroio São Lourenço, parcialmente destruída pela inundação.....	161
6.75	Vila dos pescadores e instalações da Coopesca inundadas.....	162
6.76	Prédio da indústria de pesca JAPESCA inundado.....	162
6.77	Funcionário da COOPESCA indica a altura máxima (vermelho) da lâmina de água nas câmaras frias.....	163
6.78	Instalações do estaleiro destruídas pela enxurrada.....	164

6.79	Funcionário do estaleiro mostrando a altura atingida pela água.....	164
6.80	Cratera no calçadão da praia da Barrinha provocada pela força das águas do Arroio São Lourenço.....	166
6.81	Parte do calçadão destruído e árvores tombadas na praia da Barrinha como consequência da enxurrada do dia 10 de março de 2011.....	167
6.82	A linha vermelha marca a altura atingida pelas águas que invadiram casas e destruíram parte da praia da Barrinha no evento de enxurrada do Arroio São Lourenço.....	167
6.83	Parte da praia da Barrinha remodelada pela grande quantidade de areia arrastada pela enxurrada.....	168
6.84	Camping de São Lourenço do Sul inundado pela enxurrada de 10 de março de 2011.....	169
6.85	Infraestrutura do camping destruída pela enxurrada de 10 de março de 2011.....	169
6.86	Trailers destruídos no camping pela enxurrada de 10 de março de 2011.....	170
6.87	Trailer sendo arrastado pela correnteza do Arroio São Lourenço, para dentro da Laguna dos Patos.....	170
6.88	Raízes das árvores expostas devido a erosão provocada pela enxurrada ocorrida em 10 de março de 2011.....	171
6.89	Cursos de água erodidos pela enxurrada ocorrida no dia 10 de março de 2011.....	171
6.90	Barcos de lazer arrastados pela enxurrado que atingiu São Lourenço do Sul em 10 de março de 2011.....	173
6.91	Embarcação arrastada pela força do fluxo da inundação.....	173
6.92	Recorte de imagem Google Earth com a localização das pontes dos km 471 e 468 da BR116 que foram danificadas pela inundação em São Lourenço do Sul ocorrida em 10 de março de 2011.....	174
6.93	Trechos da entrevista com o Prefeito de São Lourenço do Sul.....	175
6.94	Ponte do arroio do Pinto, no Km 468 da BR116 danificada pela força da correnteza.....	176
6.95	Ponte do Passo do Pinto, no Km 468 da BR 116, em processo de reconstrução, vista de outro ângulo, no dia 31 de março de 2011.....	177

6.96	Desvio no Km 468 da BR 116, onde a ponte sobre o arroio do Pinto desmoronou, que foi utilizado para permitir o tráfego enquanto a ponte estava em reconstrução, no dia 31 de março de 2011.....	177
6.97	Interdição da BR-116 devido ao rompimento de parte da via.....	178
6.98	Ponte do Passo dos Baios, totalmente destruída pela inundação do dia 10 de março de 2011. A seta vermelha mostra a distância da casa que chegou a água do arroio.....	181
6.99	Serviço de barco para o transporte dos moradores da região da ponte do Passo dos Baios que ruiu com a inundação do dia 10 de março de 2011.....	181
6.100	Mapa de localização das pontes destruídas e afetadas pela enxurrada no município de São Lourenço do Sul.....	183
6.101	Mapa de localização das pontes destruídas e afetadas pela enxurrada na bacia do Arroio São Lourenço.....	184
6.102	Vegetação as margens do Arroio São Lourenço arrancada pela força da correnteza.....	185
6.103	Rua na área urbana de São Lourenço do Sul danificada devido a inundação.....	186
6.104	Via urbana não pavimentada danificada pela inundação.....	187
6.105	Calçada destruída pela inundação em São Lourenço do Sul.....	187
6.106	Estrada vicinal danificada pela inundação em São Lourenço do Sul...	188
6.107	No bairro Barrinha, as ruas foram danificadas com o fluxo da inundação.....	188
6.108	Desalojados pela inundação dividem espaço em salão da Igreja matriz de São Lourenço do Sul (RS).....	189
6.109	Localização dos abrigos para a população afetada pela inundação e do QG da Defesa Civil.....	190
6.110	Margens da Laguna dos Patos duramente afetada pela inundação do dia 11 de março de 2011.....	191
6.111	Ateliê de artesanato afetado pela inundação. A lâmina de água chegou a 1,20m de altura.....	192

6.112	Gráfico sobre a porcentagem de pessoas que moram ou não em área de risco.....	194
6.113	Medicamento de uso controlado como apoio para o trauma sofrido pelos moradores de São Lourenço do Sul.....	195

LISTA DE TABELAS

Nº		Pg.
5.1	Dados de Precipitação coletados por agricultores de São Lourenço do Sul, em pluviômetros de leitura direta referentes ao dia 10 de março de 2011-Coordenadas obtidas com GPS de navegação Garmin Etrex H.....	42
5.2	Relação das pontes afetadas pela inundação de 10 de març�o de març�o de 2011 e suas respectivas coordenadas geográficas.....	62
6.1	Dados de precipitação na estação do INMET em Rio Grande, RS do dia 10 de Marco de 2011.....	82
6.2	Dados de precipitação na estaco do INMET em Rio Grande, RS do dia 11 de Marco de 2011.....	82
6.3	Medidas de classes de Uso e Cobertura do Solo do município de São Lourenço do Sul para os anos de 1995 e 2010.....	111
6.4	Medidas de classes de Uso e Cobertura do Solo na bacia do arroio São Lourenço para os anos de 1995 e 2010.....	117
6.5	Classes de Uso e Cobertura do solo x Curvatura Vertical em Km ² e em porcentagem do Município São Lourenço do Sul.....	127
6.6	Classes de Uso e Cobertura do Solo x Curvatura Vertical em Km ² e em porcentagem da bacia do Arroio São Lourenço.....	131
6.7	Medidas da largura do canal do Arroio São Lourenço.....	139
6.8	Medidas da altura do nível das marcas de água obtidas em cada um dos pontos.....	143
6.9	Prejuízos no meio rural em São Lourenço do Sul.....	159
6.10	Informa�o sobre os danos sofridos e valores estimado para a reconstru�o das 25 pontes destruídas e danificadas pela inunda�o em São Lourenço do Sul.....	179

Agradecimentos

Ao término deste estudo gostaríamos de agradecer a todos que contribuíram para a sua realização, Assim, agradecemos:

- A População do Município e São Lourenço do Sul pelo grande apoio, carinho e atenção para com a equipe do GEODESASTRES-SUL, sem eles não teria sido possível a realização deste estudo;
- Ao Prefeito de São Lourenço do Sul, Sr. José Sidney Nunes de Almeida por todo o apoio recebido para a realização deste estudo;
- Ao chefe da Defesa Civil Municipal Sr. Amilton Neutzling pelas informações prestadas sobre o evento de inundação;
- A Secretária Municipal de Planejamento e Meio-Ambiente, Sra. Andréa Citrini pelo excelente material disponibilizado para o estudo;
- A Diretora de Turismo da Secretaria Municipal de Turismo, Indústria e Comércio, Sra. Cintia Santos, pelas informações prestadas;
- Ao Comunicador Sr. Oscar Almeida, responsável pelo serviço de carro de som da cidade, pelas importantes informações sobre o que ocorreu no dia do evento;
- Ao Diretor do jornal O Lourenciano, Sr. David Morisse Bani, pelas informações prestadas sobre o que ocorreu na cidade no dia do evento;
- Ao Eng.º Agr.º Alfredo Passos Decker, do Escritório Municipal da EMATER/RS-ASCA pelos dados de precipitação cedidos para este estudo;
- Ao Prof. Dr. Prof. Marcelo Dutra, IO-FURG, Campus São Lourenço do Sul, pelo apoio prestado durante o trabalho de campo;

Resumo

Em março de 2011 o município de São Lourenço do Sul, localizado na região Sul do estado do Rio Grande do Sul, a 191 km de Porto Alegre, foi atingido por chuvas concentradas entre a noite de 09 de março e a madrugada do dia 10 que acabaram provocando um episódio de enxurrada, inundando uma parte considerável da cidade. Cerca de 20 mil pessoas foram afetadas pela inundação e em torno de 500 tiveram que aguardar por resgate no mau tempo. Oito bairros ficaram inundados, ao redor de 300 famílias acabaram ilhadas e mais de 50% da cidade, principalmente a zona urbana, ficou coberta por água entre 2,5 a 3 metros de altura. O Município decretou Situação de Calamidade Pública no dia 10 de março de 2011, por meio do decreto N°3437. Duas pontes da BR-116 ficaram submersas durante a madrugada do dia 10 de março, nos km 471 e 468, entre os municípios de São Lourenço do Sul e Turuçu. Este estudo tem como objetivo fazer uma análise do evento de inundação brusca ocorrida no Município de São Lourenço do Sul, e principalmente na bacia do arroio São Lourenço, no período de 09 a 11 de Março de 2011, utilizando geotecnologias. Os objetivos específicos são: identificar no município as principais características que contribuem para eventos de inundação; caracterizar as feições da bacia do arroio São Lourenço que contribuíram para o evento de inundação e avaliar os danos causados pela inundação no município de São Lourenço do Sul. O Município de São Lourenço do Sul está localizado no Sudeste do estado do Rio Grande do Sul, na margem direita da Lagoa dos Patos, na latitude de 31°21'55" Sul e longitude de 51°58'42" Oeste, estando a uma altitude de 19 metros. Neste estudo foram utilizadas imagens do satélite GOES 12, num total de 36 imagens, referentes ao período de 09h00min do dia 09 as 20h00min horas do dia 11 de Março de 2001; imagens LANDSAT5/TM, órbita 221 ponto 82, bandas 3, 4 e 5, de 23 de abril de 1995 e 16 de abril de 2010; mosaico *Landsat GeoCover* da NASA identificado como S-22-30-2000; produto *ASTER GDEM* com resolução de 1 arco-segundo ($\pm 30m$), coordenadas do canto inferior esquerdo da imagem – S31W052; imagem *HRC/CBERS 2B, 157_A/135_3*, de 13 de abril de 2009; variáveis morfométricas (curvatura vertical, curvatura horizontal e forma de terreno) do projeto TOPODATA derivadas do SRTM; dados de campo tais como: entrevistas com os moradores afetados; pontos de GPS de medidas do nível das marcas de água em fachadas de imóveis; coordenadas das pontes afetadas pela inundação; coordenadas da localização de pluviômetros, fotografias das áreas afetadas. Foram gerados mapas para o município e a bacia do arroio São Lourenço da rede de drenagem, uso e cobertura do solo, relevo, curvatura vertical e horizontal, formas de relevo, declividade, Medidas largura do canal do arroio São Lourenço; localização das pontes afetadas pelas chuvas e localização de pluviômetros. O evento de inundação brusca ocorrido em São Lourenço do Sul teve como origem precipitações intensas e concentradas em um curto período de tempo; o uso e cobertura do solo além do relevo e da declividade, aliados as chuvas concentradas contribuíram para potencializar este evento de inundação. As perdas econômicas e sociais no município foram consideráveis, principalmente na área do turismo, uma das principais fontes de renda do município; os dados de satélite foram importantes para identificar as características do município e da bacia do arroio que contribuem para eventos de inundação brusca.

Abstract

In March of 2011, the city of São Lourenço do Sul, located in the south of the state of Rio Grande do Sul, 191 km from Porto Alegre, was reached by concentrated rains between the night of March 9th and the morning of March 10th that caused a flood episode, flooding a considerable part of the city. About 20 thousand people were affected by the flooding and around 500 had to wait under bad weather for rescuing. Eight districts were flooded and around 300 families were islanded and more than 50% of the city especially the urban area was covered by water between 2.5 and 3 meter high. The city declared public emergency on March 10th, 2011 through Decree n°3437. Two bridges of the BR-116 were submerged during the early morning of March 10th along km 471 and km 468 between the cities of São Lourenço do Sul and Turuçu. This study aims to analyze the flash flooding occurred in the municipality of São Lourenço do Sul specially in the stream basin of São Lourenço in the period of 9 to 11 of March, 2011, using geotechnologies. The specific objectives are identify in this city the main characteristics that contribute to flood events, characterize the features of the stream basin of São Lourenço that contributed to the flooding and evaluate the damage caused by the flooding in the city of São Lourenço do Sul. The municipality of São Lourenço do Sul is located in the southeast of the Rio Grande do Sul State, in the right margin of Laguna dos Patos, latitude of S31°21'55" and longitude of W51°58'42" in an altitude of 19 meters. In this study were used the images of the satellite GOES 12, in a total of 36 images referring to the period of 09:00AM of March 9th to 8:00PM of March 11th, 2011; LANDSAT5/TM images, path 221 row 82, bands 3, 4 and 5, of April 23rd, 1995 and April 16th, 2010; *Landsat GeoCover* mosaic from NASA identifying as S-22-30-2000; *ASTER GDEM* product with resolution of 1 arch-second ($\pm 30m$), coordinates of the lower left corner of the image – S31W052; *HRC/CBERS 2B* images, 157_A/135_3, of April 13th, 2009, morfometric variables (vertical curvature, horizontal curvature and land shape) of the project TOPODATA derived from SRTM, field data from: interviews with the affected residents, measures of GPS points of the water marks levels on facades of buildings, coordinates of the bridges affected by the flooding, coordinates of location of pluviometers, photographs of the affected areas. Maps were generated to the São Lourenço do Sul Municipality and stream basin of São Lourenço and maps of drainage, land use and land cover, relief, vertical and horizontal curvature, land shape, declivity, measures of the width of the stream channel of São Lourenço, location of the affected bridges by flooding and location of pluviometers. The flash flooding event occurred in São Lourenço do Sul was originated by intense rainfall concentrated in a short period of time. The land use and land cover in addition to the relief and declivity allies to concentrated rain contributed to enhance the flooding event. Social and economic losses in this city were considerable, especially in tourism, one of the main source of income of the city, the satellite data were important to identify the characteristics and the stream basin that contributed to the flash flooding event.

1. Introdução-Panorama da Situação:

Em março de 2011 o município de São Lourenço do Sul, localizado na região Sul do estado do Rio Grande do Sul, a 191 km de Porto Alegre, foi atingido por chuvas concentradas entre a noite de 09 de março e a madrugada do dia 10 que acabaram provocando um episódio de enxurrada, inundando uma parte considerável da cidade (Figura 1.1).



Figura 1.1 - Chuva forte na cidade de São Lourenço no dia 10 de março de 2011, causando inundação em parte da área urbana. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).

Cerca de 20 mil pessoas foram afetadas pela inundação e em torno de 500 tiveram que aguardar por resgate no mau tempo. Oito bairros ficaram inundados sendo que os mais atingidos foram Centro, Lomba, Barrinha e Navegantes (Figura 1.2).



Figura 1.2- Foto da cidade de São Lourenço do Sul, tirada de helicóptero, com suas ruas inundadas devido às chuvas fortes e concentradas causando um evento de inundação brusca (enxurrada) em 10 de março de 2011. Foto: Acervo Defesa Civil (março, 2011).

Ao redor de 300 famílias ficaram ilhadas e mais de 50% da cidade, principalmente a zona urbana, ficou coberta por água entre 2,5 a 3 metros de altura (Figura 1.3).



Figura 1.3-Foto de várias casas inundadas, próximas ao Arroio São Lourenço, em 10 de março de 2011. Foto: Acervo Defesa Civil (março, 2011)

Várias casas foram totalmente inundadas principalmente aquelas localizadas mais próximas ao arroio São Lourenço, onde a água atingiu a borda do telhado, obrigando os moradores a saírem de suas casas as pressas uma vez que a água subia rapidamente (Figuras 1.4 A e B).



Figuras 1.4 A e B - Residência na rua Dr. Pio Ferreira no dia 10 de março, durante a inundação com água na altura do telhado (A) e no dia 30 de março durante o trabalho de campo da equipe do GEODESASTRES-SUL (B). Fotos: Acervos da Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul e GEODESASTRES-SUL (março, 2011)

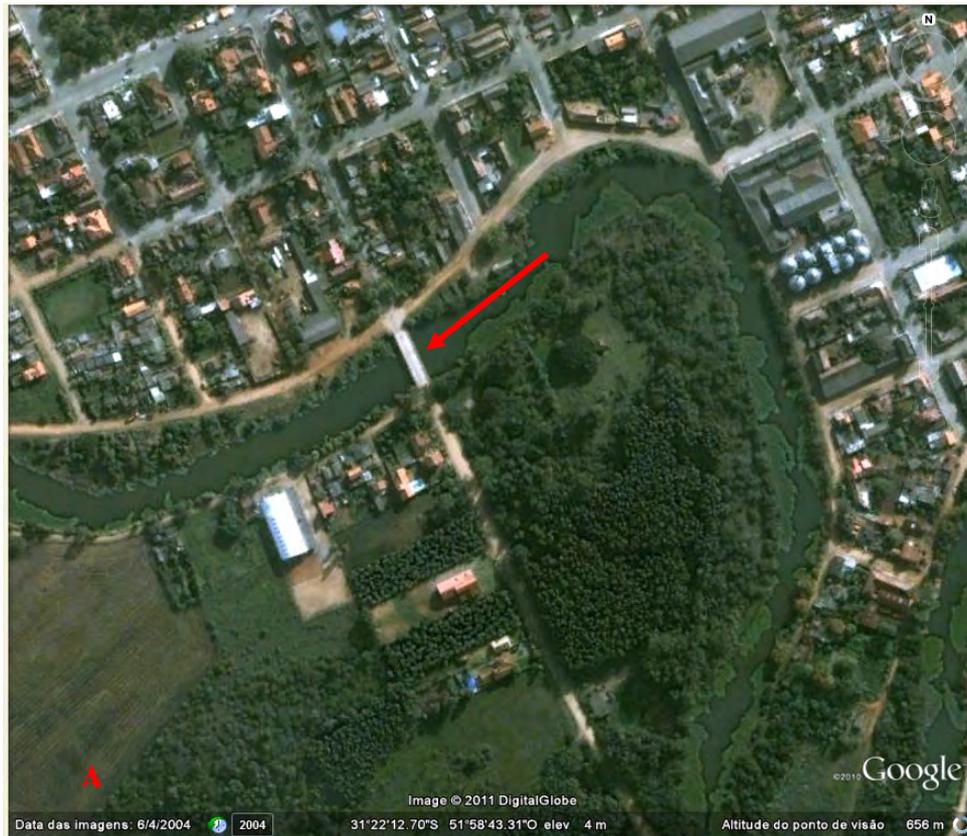
Grande parte da população teve seus pertences totalmente danificados e inutilizados, várias residências necessitaram de limpeza pesada para poder serem habitadas novamente, outras foram destruídas, além de estradas e pontes danificadas (Figuras 1.5, 1.6 e 1.7 A e B).



Figura 1.5-Morador que teve sua residência danificada e todos os seus pertences destruídos pela inundação assinala a altura atingida pela água. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).



Figura 1.6 - Casa destruída pela força das águas em São Lourenço do Sul. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março, 2011).



Figuras 1.7 A e B - Recorte de imagem Google Earth salientando a localização da ponte sobre o arroio São Lourenço, no centro da cidade, danificada pela força da água (A). Foto da mesma ponte danificada pela força das águas, em 10 de março de 2011 (B). Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).

O município contou com a ajuda do Exército, Marinha, Corpo de Bombeiros, Brigada Militar, Polícia Civil e Polícia Rodoviária Federal para as operações de resgate e salvamento. Foram utilizados também quatro helicópteros além de embarcações dos próprios moradores para as buscas (Figura 1.8, 1.9 e 1.10).



Figura 1.8 - Resgate de vítima com o auxílio da Brigada Militar, Corpo de Bombeiros e Defesa Civil. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).



Figura 1.9 - Membros da Defesa Civil e Brigada Militar utilizando barcos para o resgate da população afetada pela inundação. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).



Figura 1.10 - Embarcação dos moradores de São Lourenço do Sul auxiliando no resgate de vítimas da inundação. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).

O Município decretou Situação de Calamidade Pública no dia 10 de março de 2011, por meio do decreto N°3437, onde menciona a “*existência de situação anormal provocada por Enchente ou Inundações Graduais caracterizada como situação de Calamidade Pública, em parte da párea urbana e rural do Município, conforme limites definidos no AVADAN e mapa croqui do Município*” (Figura 1.11).

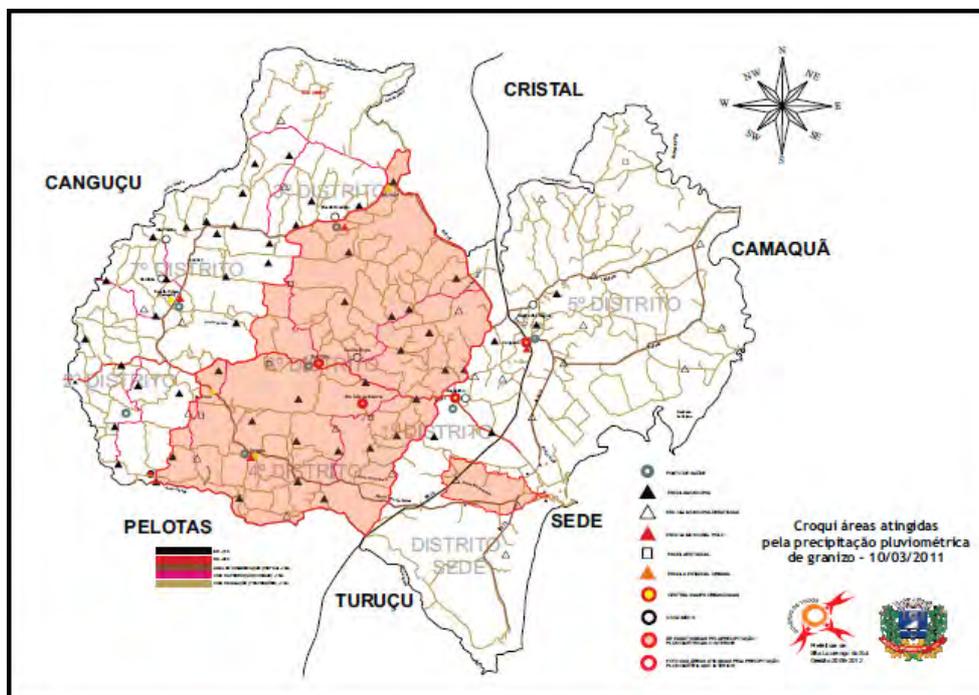


Figura 1.11-Croqui das áreas atingidas pelas chuvas no dia 10 de março de 2011. Fonte: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).

Duas pontes da BR-116 ficaram submersas durante a madrugada, nos km 471 e 468, entre os municípios de São Lourenço do Sul e Turuçu (Figura 1.12).



Figura 1.12 - Ponte na BR116, Km 468, no Passo do Pinto, destruída pela enxurrada do dia 10 de março de 2011, que acabou bloqueando o acesso a capital do estado. Fonte: Paulo Rossi; <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/886759-chuva-causa-estragos-e-deixa-familias-ilhadas-em-cidades-do-rs.sh>

Na ocasião, para os motoristas que necessitassem se deslocar da cidade de Pelotas para a Região Metropolitana ou no sentido contrário, a Polícia Rodoviária Federal recomendava o uso das BRs 290 e 392, aumentando em 100km o percurso da viagem (Figura 1.13).

Para enfrentar a situação foi criado um gabinete de crise, formado pelo subchefe estadual da Defesa Civil Estadual, pelo subcomandante geral da Brigada Militar e pelo prefeito em exercício de São Lourenço. A prefeitura municipal decretou Estado de Calamidade Pública.

Além de São Lourenço do Sul, a cidade de vizinha de Turuçu também foi bastante atingida pelas chuvas, fazendo com que 200 famílias tivessem que deixar suas casas, mas, ao contrário de São Lourenço elas puderam retornar mais rapidamente.



Figura 1.13 – Mapa mostrando os locais onde a BR116 foi interrompida devido à queda de pontes. Fonte: <http://zerohora.clicrbs.com.br/zerohora/> (março, 2011)

Vários estabelecimentos de comércio e serviços foram inundados e seus equipamentos ou produtos para a venda foram completamente danificados ou necessitaram de uma limpeza para serem novamente utilizados (Figuras 1.14 e 1.15).



Figura 1.14 - Estabelecimento comercial no centro da cidade de São Lourenço inundado. O proprietário conseguiu salvar os produtos pondo-os em local mais elevado. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011)



Figura 1.15 – Mercadoria de uma loja de ferragens completamente destruída pela inundação brusca. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011)

Nos balneários da cidade, turistas além de ficarem isolados no camping tiveram seus equipamentos, trailers e barracas destruídos ou arrastados pelas águas, o mesmo aconteceu com vários barcos que estavam atracados no iate clube, sendo que alguns deles foram arrastados para dentro da Laguna dos Patos (Figura 1.16 e 1.17).

O principal ponto turístico do município, a orla da praia da Barrinha, que possui águas bem calmas e rasas, foi devastado pela água proveniente do transbordamento do arroio São Lourenço, apesar de ficar localizada praticamente no lado oposto da cidade onde se localiza o arroio. A água chegou até esta praia devido o traçado das ruas da cidade, em forma de tabuleiro de xadrez, que acabou facilitando seu escoamento. As fortes correntezas criaram crateras à beira da praia e destruíram toda a infraestrutura ai existente (Figura 1.18).



Figura 1.16 - Trailer destruído pela correnteza num camping em São Lourenço do Sul.
Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).



Figura 1.17-Embarcações no Iate Clube arrastadas pela força da correnteza. Foto:
Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).



Figura 1.18 - Orla da praia da Barrinha devastada pela força da correnteza. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).

O número de mortes em decorrência da forte chuva que atingiu São Lourenço do Sul chegou a oito. No município vizinho de Turuçu 200 famílias ficaram desabrigadas, mas não foi registrado nenhum óbito e no final da manhã do dia 10 de março já estavam retornando as suas casas.

Quatro helicópteros e nove lanchas retiraram até as 15h30min de quarta-feira, dia 10 de março, cerca de 260 pessoas que estavam ilhadas em telhados e terraços ou em casas cujo acesso a outros pontos da cidade foi cortado pela água. Os desabrigados foram alojados em um ginásio local e nos salões de igrejas e clubes de São Lourenço do Sul.

A própria Prefeitura Municipal teve parte de seu patrimônio danificado pela inundação dificultando as ações de auxílio a população e restabelecimento de comunicação. O setor de Serviços Urbanos da Secretaria Municipal de Obras foi duramente atingido pelas águas da inundação. De acordo com relato de moradores em menos de três horas a cidade estava totalmente inundada e as águas só começaram a baixar na tarde do dia 10 de março (Figura 1.19).



Figura 1.19 – Pátio da Secretaria Municipal de Obras, Setor Urbano, enlameado e com veículos e equipamentos danificados pela à inundação brusca ocorrida na cidade. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011)

A cidade viveu um verdadeiro dia de caos que afetou profundamente a vida da população tanto do ponto de vista econ mico e social, como também do ponto de vista emocional. No período de 28 a 31 de março por ocasião da visita da equipe do GEODESASTRES-SUL/INPE-CRS a cidade, mesmo após 20 dias do desastre o som mais ouvido ainda era o dos lava jatos, que os moradores utilizavam para limpar suas casas e pertences. Nesta ocasião ainda podia-se ver prédios manchados e objetos destruídos pela inundação assim como ruas com restos de lama fétida e cercas, pontes e fios com restos de vegeta o trazida pelas  guas.

Felizmente a solidariedade da popula o do estado do Rio Grande do Sul e a a o da Prefeitura Municipal, Defesa Civil e institui es religiosas e civis possibilitou a arrecada o e distribui o de alimentos, vestuários, água, cobertores e colchões para os desabrigados (Figura 1.20)



Figura 1.20 - Centro de arrecadação de doações para os desabrigados em São Lourenço do Sul. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011)

2- Objetivo:

Este estudo tem como objetivo fazer uma análise do evento de inundação brusca ocorrida no Município de São Lourenço do Sul, e principalmente na bacia do arroio São Lourenço, RS, no período de 09 a 11 de Março de 2011, utilizando geotecnologias.

Os objetivos específicos são:

- Identificar no município as principais características que contribuem para eventos de inundação;
- Caracterizar as feições da bacia do arroio São Lourenço que contribuíram para o evento de inundação;
- Avaliar os danos causados pela inundação no município de São Lourenço do Sul

3 - Área de estudo

O Município de São Lourenço do Sul está localizado no Sudeste do estado do Rio Grande do Sul, na margem direita da Lagoa dos Patos, foi fundado em 26 de abril de 1884. Localiza-se a uma latitude 31°21'55" Sul e a uma longitude 51°58'42" Oeste, estando a uma altitude de 19 metros.

Segundo dados do IBGE (2010) a área total do município é de 2.036.134 km², tem uma população de 43.111 habitantes, sendo 56,22% urbana e 43,78% rural; o

produto interno bruto per capita a preços correntes é de R\$11.130,16. O acesso ao município pode ser realizado pela BR-116 e pela RS-265.

Além da agricultura e da pesca, possui forte vocação turística, que hoje é um importante elemento da economia do município. Esta está apoiada por uma boa infraestrutura de hotéis, pousadas, cabanas e *campings* para os veranistas que acorrem de diversos lugares do Brasil (Figura 3.1).



Figura 3.1 - Localização do município de São Lourenço do Sul no estado do Rio Grande do Sul

A área de estudo corresponde à totalidade do município de São Lourenço do Sul, e em um recorte, a área a bacia do Arroio São Lourenço (Figuras 3.2 e 3.3). A área da bacia de drenagem do Arroio São Lourenço é de 193,36 km².

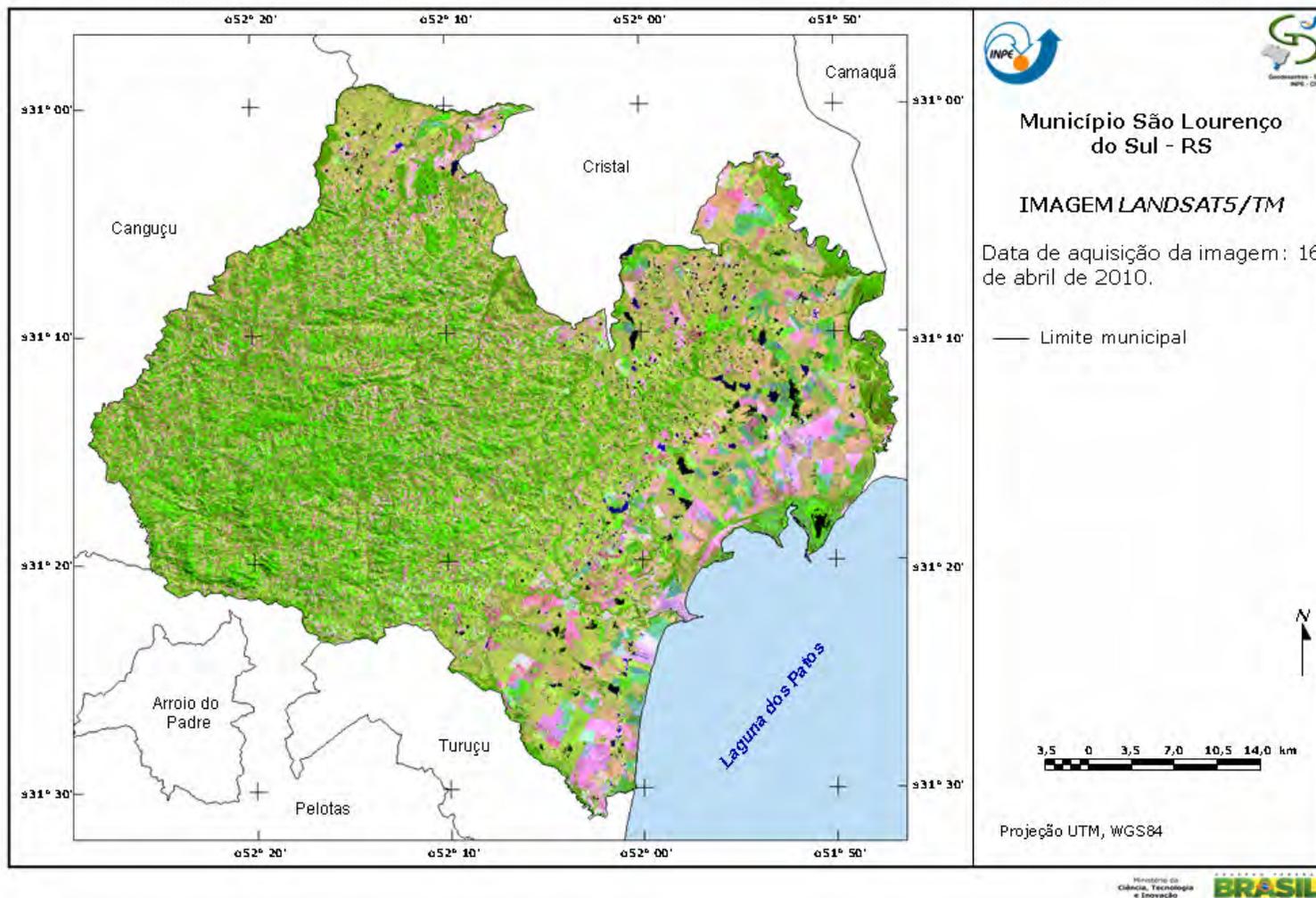


Figura 3.2 - Mapa do município de São Lourenço do Sul a partir de imagem LANDSAT5/TM, de 16 de abril de 2010.

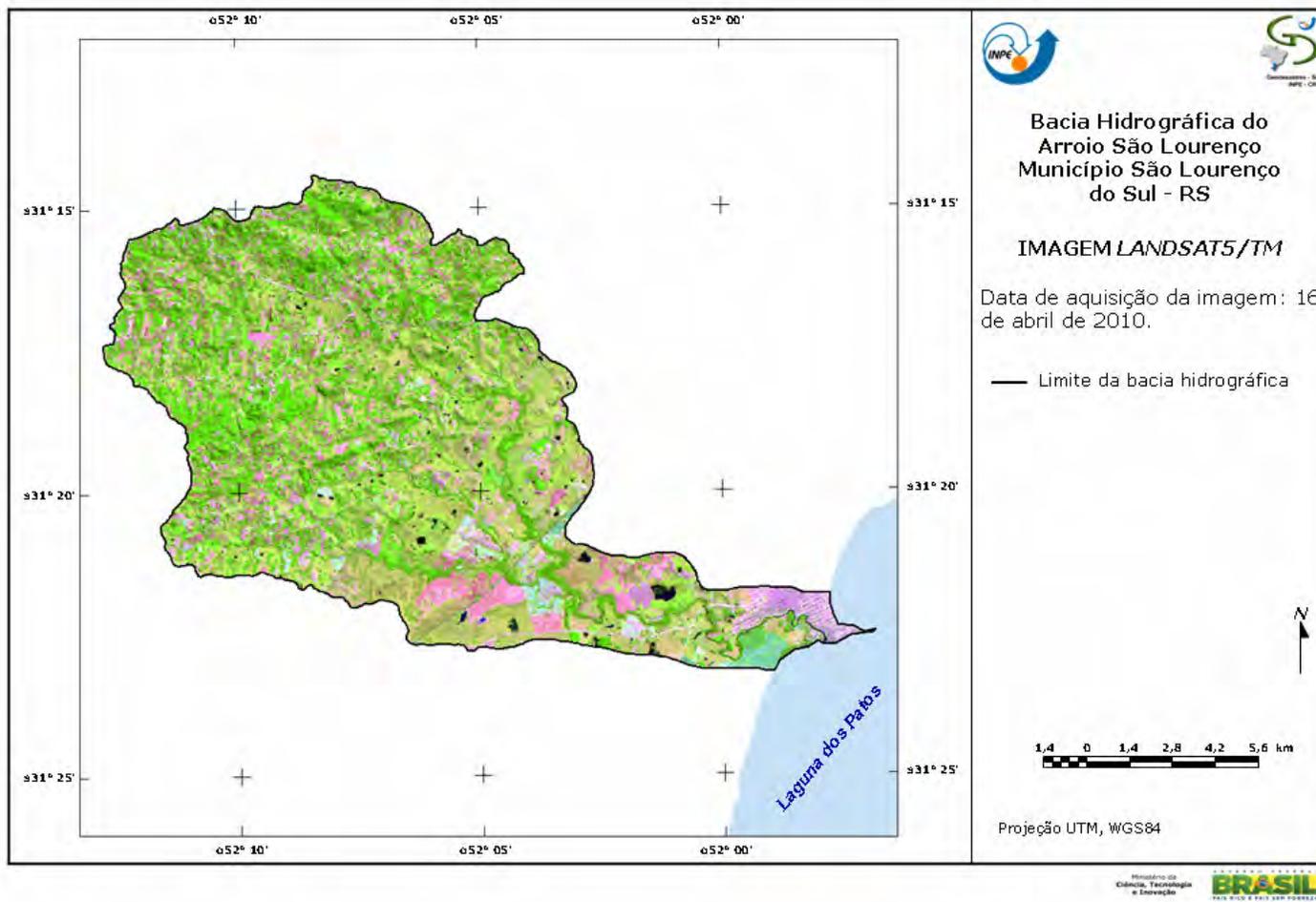


Figura 3.3 - Mapa da bacia do Arroio São Lourenço, no município de São Lourenço do Sul a partir de imagem *LANDSAT5/TM* de 16 de abril de 2010

4 - Materiais

Os materiais utilizados neste estudo consistiram de dados orbitais, dados de campo adquiridos em março de 2011 e dados cartográficos.

4.1- Dados orbitais

Os dados orbitais utilizados para o desenvolvimento deste estudo foram os seguintes:

- Imagens do satélite GOES 12, num total de 36 imagens, referentes ao período de 09h00min do dia 09 as 20h00min do dia 11 de Março de 2001, disponíveis no banco de Dados da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais-DSA do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos-CPTEC do INPE no endereço http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes_antiores.jsp
- Imagens LANDSAT5/TM identificada pela órbita 221 ponto 82, bandas 3, 4 e 5, de 23 de abril de 1995 e 16 de abril de 2010, com resolução espacial de 30 metros, obtidas do Catálogo de Imagens do Centro de Dados de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, no endereço <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>;
- Mosaico *Landsat GeoCover* da NASA identificado como S-22-30-2000 (hemisfério Sul, zona UTM 22, que cobre de 30° a 35° de latitude), com resolução espacial de 14,25 metros, obtido da página <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>. Este mosaico consiste na fusão das bandas do *ETM/Landsat 7*, 4, 2 com a banda pancromática – banda 8;
- Produto *ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Model)* com resolução de 1 arco-segundo (± 30 m), identificado pelas coordenadas do canto inferior esquerdo da imagem – S31W052, disponível no *Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC)* no endereço <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/search.jsp>;

- Imagem *HRC/CBERS 2B* identificada como 157_A/135_3, com resolução espacial de 2,7 metros e data 13 de abril de 2009, obtida do Catálogo de Imagens do INPE, no endereço <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>;
- Variáveis morfométricas (curvatura vertical, curvatura horizontal e forma de terreno) do projeto TOPODATA derivadas do *SRTM*, folhas 30-525 e 31-525 disponíveis em formato imagem em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/geotiff/>.

4.2 - Dados de campo

Durante o trabalho de campo foram realizadas as atividades e coletados os dados relacionados a seguir:

- Entrevistas com os moradores afetados;
- Pontos de GPS de medidas do nível das marcas de água em fachadas de imóveis;
- Coordenadas dos imóveis onde foram realizadas entrevistas e pontos de amarração tanto para as fotos como de acesso às áreas visitadas;
- Coordenadas das pontes afetadas pela inundação de março de 2011 disponibilizada pela Prefeitura de São Lourenço do Sul;
- Coordenadas da localização de pluviômetros, os nomes dos agricultores que realizaram as medidas, as localidades e as respectivas medidas de precipitação durante o evento ocorrido em 10 de março de 2011; dados cedidos pelo Escritório Municipal EMATER/RS-ASCAR.

4.3 - Dados cartográficos, gráficos, relatórios e obtidos em entrevistas:

Os dados cartográficos utilizados no desenvolvimento deste estudo foram:

- Malha municipal digital do Rio Grande do Sul de 2005, escala 1:500.000, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE;
- Dados de altimetria, especificamente de curvas de nível e pontos cotados, escala 1:50.000 da Base Cartográfica Vetorial Continua do Rio Grande do Sul (Hasenack e Weber, 2010);

- Hidrografia, escala 1:50.000 da Base Cartográfica Vetorial Continua do Rio Grande do Sul (Hasenack e Weber, 2010);
- Cartas de geomorfologia e geologia, do IBGE, na escala 1:250.000, datadas de 2003 de Pelotas/Mostardas-SH.22-Y-D/Z-C, Pedro Osório-SH.22-Y-C e Porto Alegre-SH.22-Y-B;
- Dados de precipitação da estação meteorológica do INMET em Rio Grande, RS, para os dias 09 e 10 de março de 2011;
- Gráficos de chuva acumulada da estação meteorológica do INMET, em Rio Grande, RS, para o período de 09 a 11 de março de 2011;
- Gráfico comparativo entre a chuva mensal e a média climatológica para o mês de março da estação meteorológica do INMET, em Rio Grande, RS;
- Informações do relatório de Avaliação de Danos, documento elaborado pela Coordenadoria de Defesa Civil de São Lourenço do Sul;
- Laudo Técnico de Vistoria sobre Obras Emergenciais na reconstrução de Pontes na Área Rural do Município de São Lourenço do Sul, elaborado pela Prefeitura Municipal;

4.4 - Programas utilizados

O sistema utilizado para o processamento das imagens e para a manipulação de dados espaciais foi o SPRING, versão 4.3.3. A visualização e representação do modelo digital de elevação do *ASTER* foram realizadas no Global Mapper versão 12.02.

5 - Metodologia

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste estudo foi a seguinte:

5.1- Criação do banco de dados geográficos do Município de São Lourenço do Sul

Para o desenvolvimento deste estudo foi criado no sistema SPRING o banco de dados geográfico de São Lourenço do Sul que conta com os seguintes planos de informação:

- Malha municipal do Rio Grande do Sul;
- Limite da bacia do arroio São Lourenço;
- Mapa da rede de drenagem;
- Mapa de uso e cobertura do solo ano 1995;
- Mapa de uso e cobertura do solo ano 2010;
- Mapa de declividade em 6 classes (EMBRAPA, 1999);
- TOPODATA - Curvatura vertical em 5 classes, Curvatura horizontal em 5 classes e Forma de terreno em 3 classes;
- Pontos GPS do trabalho de campo;
 - Medidas largura do canal do arroio São Lourenço;
 - Localização das pontes afetadas pelas chuvas de 10 de março de 2011;
 - Localização de pluviômetros, nomes dos agricultores que realizaram as medidas, as localidades e as respectivas precipitações durante o evento ocorrido em 10 de março de 2011;
 - Curvas de nível e pontos cotados;
 - Sistema viário.

5.2 - Delimitação do Município de São Lourenço do Sul

Para a delimitação do Município de São Lourenço do Sul utilizou-se uma imagem Imagens LANDSAT 5/TM identificada pela órbita 221 ponto 82, bandas 3, 4 e 5, de 23 de abril de 1995 e 16 de abril de 2010. Para o recorte do limite do município foi utilizada a Malha Municipal digital do Rio Grande do Sul de 2005, escala 1:500.000, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

5.3 - Delimitação da bacia do Arroio São Lourenço

Para a delimitação da bacia hidrográfica do Arroio São Lourenço considerou-se os critérios topográficos e hidrográficos. Foram utilizados os mapas de curvas de nível e de drenagem, ambos da Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul (Hasenack e Weber, 2010).

Assim, a partir do exutório foram identificados os pontos de maior elevação que circundam o curso de água principal e seus tributários, e foram traçados os divisores de água resultando em uma linha fechada, ortogonal às curvas de nível que corresponde ao limite da bacia. É importante mencionar que dentro de uma bacia hidrográfica podem existir elevações maiores daquelas que definem o divisor de água. Posteriormente, se verificou o limite da bacia com a imagem sombra do modelo de elevação do *ASTER*, de maneira que o contorno da bacia correspondesse com a zona limite entre ladeiras de exposição (Figura 5.1).

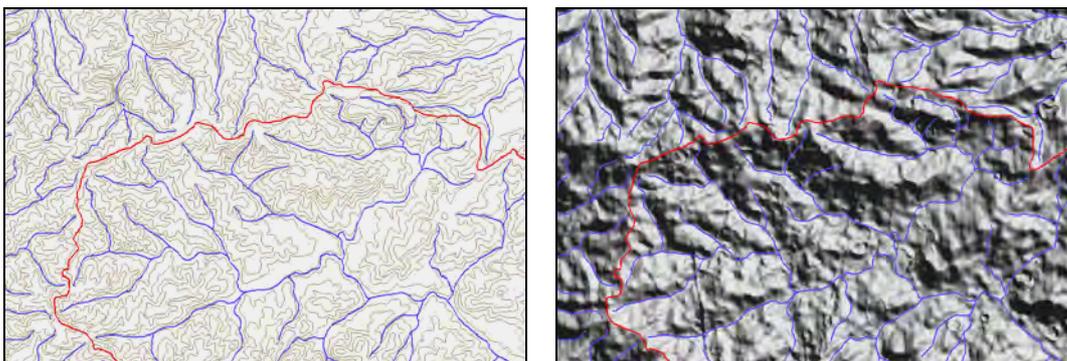


Figura 5.1 - Setor noroeste da bacia do Arroio São Lourenço, a esquerda se mostra as curvas de nível e cursos de água utilizados como base para a delimitação da bacia (em vermelho); à direita se apresenta a imagem *ASTER* de sombra de relevo com o limite da bacia e a drenagem.

5.4 - Localização dos pluviômetros no Município de São Lourenço do Sul

Conforme o ofício C. n° EM -116 /2011, enviado pelo Escritório Municipal da EMATER/RS-ASCAR em São Lourenço do Sul e datado de 26 de agosto de 2011, foram visitados “alguns agricultores que mediram as chuvas em pluviômetros de leitura direta (pluviômetros de plásticos geralmente distribuídos por empresas que comercializam insumos agrícolas) cujos dados relato abaixo”, (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Dados de Precipitação coletados por agricultores de São Lourenço do Sul, em pluviômetros de leitura direta referentes ao dia 10 de março de 2011 - Coordenadas obtidas com GPS de navegação Garmin Etrex H

Nome do Agricultor	Localidade	Precipitação (mm)	Localização-coordenadas (datum SAD 69)
Carlos Roni Schneid	Boa Vista	595	S 31° 15' 40,9" W 52° 13' 47,3"
Claudio Schneid	Boa Vista	530	S 31° 16' 09,2" W 52° 12' 18,4"
Jorge Luiz Schaun	Boa Vista	446	S 31° 15' 26,3" W 52° 11' 58,6"
José Alberto Bunde	Boa Vista	555	S 31° 15' 11,3" W 52° 11' 16,5"
Milton Feddern	Boa Vista	550	S 31° 15' 14,4" W 52° 13' 10,1"
Sandro Hartwig Klug	Coxilha do Barão	450	S 31° 17' 42,1" W 52° 12' 40,1"
Valério Klug	Coxilha do Barão	406	S 31° 17' 41,4" W 52° 12' 43,4"
Rui Bork	Coxilha Negra	580	S 31° 15' 02,2" W 52 10' 34,8"
Valdino Conrad	Coxilha Negra	630	S 31° 15' 31,1" W 52° 08' 51,3"
Aristides Thiel	Monte Alegre	630	S 31° 16' 14,4" W 52° 07' 34,1"
Sidnei Hermann	Fortaleza	595	S 31° 20' 04,8" W 52° 09' 30,8"
Erico Dutra	Fortaleza	595	S 31° 19' 09,1" W 52° 06' 21,4"
Ivo Bartz	Picada Moinhos	590	S 31° 20' 57,3" W 52° 10' 18,4"
João Heiden	S João da Reserva	600	S 31° 17' 51,5" W 52° 09' 31,8"
Valdimir Jepsen	S João da Reserva	460	S 31° 17' 57,4"

			W 52° 10' 25,9"
Luciane Beatriz Klein	Boqueirão	229	S 31° 16' 31,1" W 52° 04' 53,3"

Conforme o mesmo ofício “Antes, porém gostaria de informar que todos relataram que os dados fornecidos foram os que conseguiram coletar e medir, pois a chuva era muito intensa e extrapolava a capacidade do pluviômetro, obrigando-os a coletar várias vezes perdendo a exatidão. Muitas deles pararam de coletar depois de certo tempo, embora a chuva continuasse, visto que a chuva era torrencial e continuada. Todos informaram que a chuva foi mais do que eles puderam medir em função do exposto. O tempo de duração da chuva foi de aproximadamente 8 horas”.

Segue ainda “Procuramos contatar agricultores localizados na bacia do arroio São Lourenço, alguns nos divisores de água e próximos ao mesmo e outros no interior da mesma”.

Tomando em conta as coordenadas geográficas de cada um dos pluviômetros, eles foram plotados na imagem *TM/LANDSAT5* de abril de 2010, juntamente com os dados de precipitação em milímetros, para que se pudesse ter uma distribuição das chuvas no município. Para saber a quantidade precipitada na bacia do arroio São Lourenço, foi traçado sobre esta imagem o limite da bacia.

Estes mesmos pluviômetros foram plotados em uma imagem sombra do *SRTM*, para que se pudesse ter uma idéia em que tipo de relevo eles estavam localizados, se estavam em terrenos que favorecem o escoamento superficial ou em terrenos que favorecem o acúmulo de águas.

5.5 – Dados *ASTER/GDEM* para a caracterização do relevo do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE), gerados a partir de plataformas orbitais, tais como o *ASTER* e o *SRTM*, são produtos que representam uma alternativa para a construção e atualização da altimetria de documentos cartográficos. De acordo com Rodrigues, et al (2010) o *ASTER/GDEM* é o mais completo mapa da superfície da Terra, cobrindo 99% de sua extensão. Ele é útil para o planejamento de cidades, o combate a incêndios, a conservação de recursos naturais e várias outras aplicações que exigem informações geográficas detalhadas.

Neste estudo foi utilizando o modelo de elevação *Global DEM (GDEM)* que é um produto desenvolvido e disponibilizado de forma gratuita pelo Ministério de Economia, Comercio e Indústria do Japão - *Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI)* e a *NASA - National Aeronautics and Space Administration*.

O *ASTER GDEM* é gerado a partir de estéreo pares de imagens do sensor *Advanced Space Borne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)* a bordo do satélite *TERRA*. O produto *GDEM* tem uma resolução espacial de 30 metros e uma precisão de 7 a 14 metros (*ASTER Global Digital Elevation Model, 2011*). Os modelos digitais de elevação do *ASTER* podem ser obtidos no *Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC)* no endereço <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/search.jsp>.

Uma vez obtido o modelo digital de elevação correspondente à área em estudo, este foi importado para o banco de dados em formato *grade*. Esta *grade* foi transformada em imagem em níveis de cinza e em imagem sombreada, com o intuito de evidenciar os elementos de textura de relevo e da drenagem.

O software *SPRING* permite gerar imagens em níveis de cinza a partir de um modelo digital de elevação, transformando os números reais da *grade* em valores inteiros dentro do intervalo de 0 (preto) a 255 (branco). Os tons escuros indicam as menores elevações e os tons claros as maiores elevações (Figura 5.2).

As imagens sombreadas permitem visualizar as diferenças de relevo, para isto é aplicado um modelo de iluminação que determina a intensidade de luz refletida em um ponto da superfície considerando uma dada fonte de luz, a direção da fonte da luz definida a partir do azimute e do ângulo de elevação. Adicionalmente, é preciso definir o exagero de relevo que é utilizado para aumentar a escala vertical em relação à escala horizontal da imagem sombreada, o que possibilita melhorar a visualização de formas e estruturas da superfície não realçadas na escala original (Crepani e Medeiros, 2004).

As imagens sombreadas se apresentam em tons de cinza, onde as áreas iluminadas aparecem em tonalidades claras, às áreas sombreadas em tonalidades escuras e as áreas planas em tonalidades intermediárias.

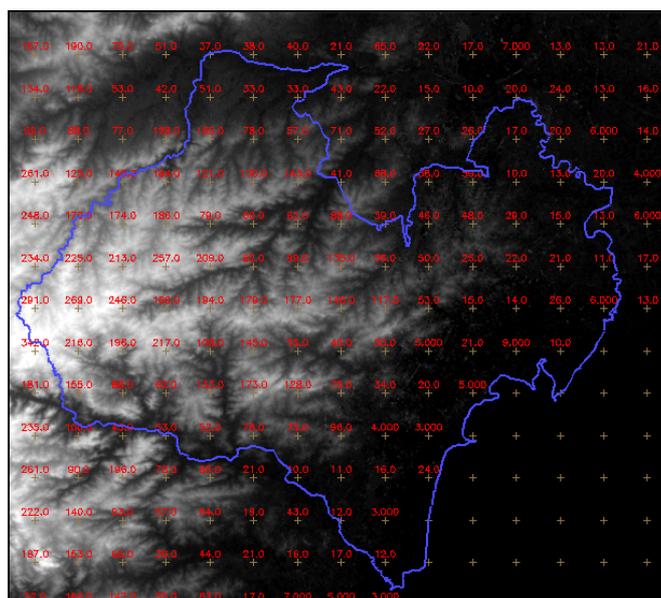


Figura 5.2 – Imagem gerada a partir do modelo digital de elevação *ASTER GDEM* em tons de cinza com sobreposição da grade com os valores de elevação (cruz marrom e números em vermelho) e a limite do município de São Lourenço do Sul, em azul.

Para melhor caracterização do relevo do município de São Lourenço do Sul e da bacia do arroio São Lourenço foram utilizados dados *ASTER/GDEM*, fusão destes com imagem *LANDSAT5/TM* de 2010 e, adicionalmente, as cartas de geomorfologia e geologia, do IBGE, na escala 1:250.000, datadas de 2003:

- Pelotas/Mostardas-SH.22-Y-D/Z-C;
- Pedro Osório-SH.22-Y-C;
- Porto Alegre-SH.22-Y-B.

Foi analisada a textura dos dados orbitais, indicativos de formas de relevo bem como as informações contidas nas cartas do IBGE.

5.6 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço:

Para a confecção dos mapas de uso e cobertura do solo do município de São Lourenço do Sul foram utilizadas as imagens *LANDSAT5/TM* de 23 abril de 1995 (Figura 5.3) e 16 abril de 2010 (Figura 5.4) . Posteriormente foi feito um recorte da bacia do arroio São Lourenço nestas duas imagens para caracterizar melhor o uso e cobertura do solo na bacia (Figura 5.5 e 5.6).

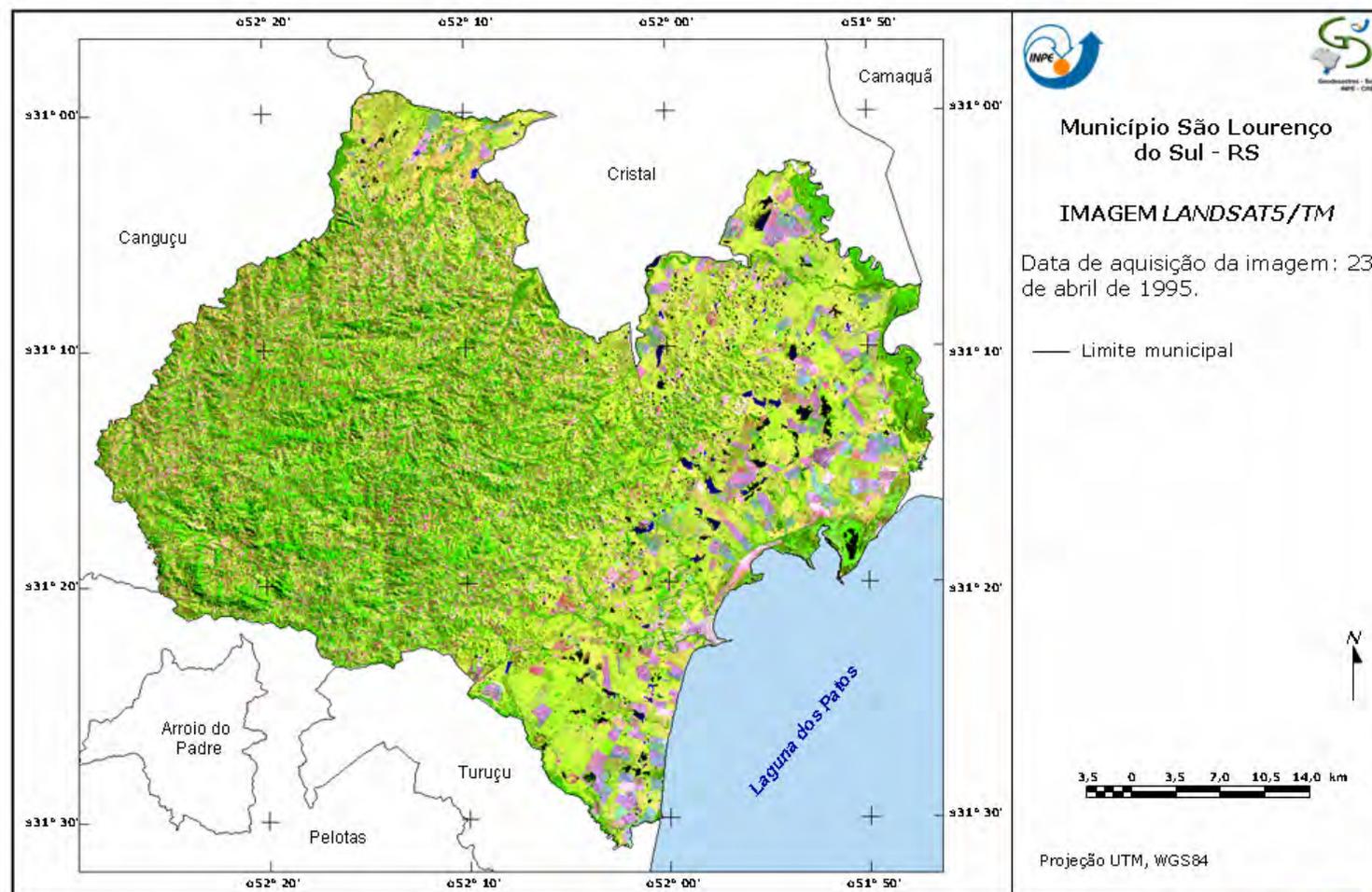


Figura 5.3 – Recorte da imagem LANDSAT5/TM de 23 de abril de 1995 referente ao município de São Lourenço do Sul

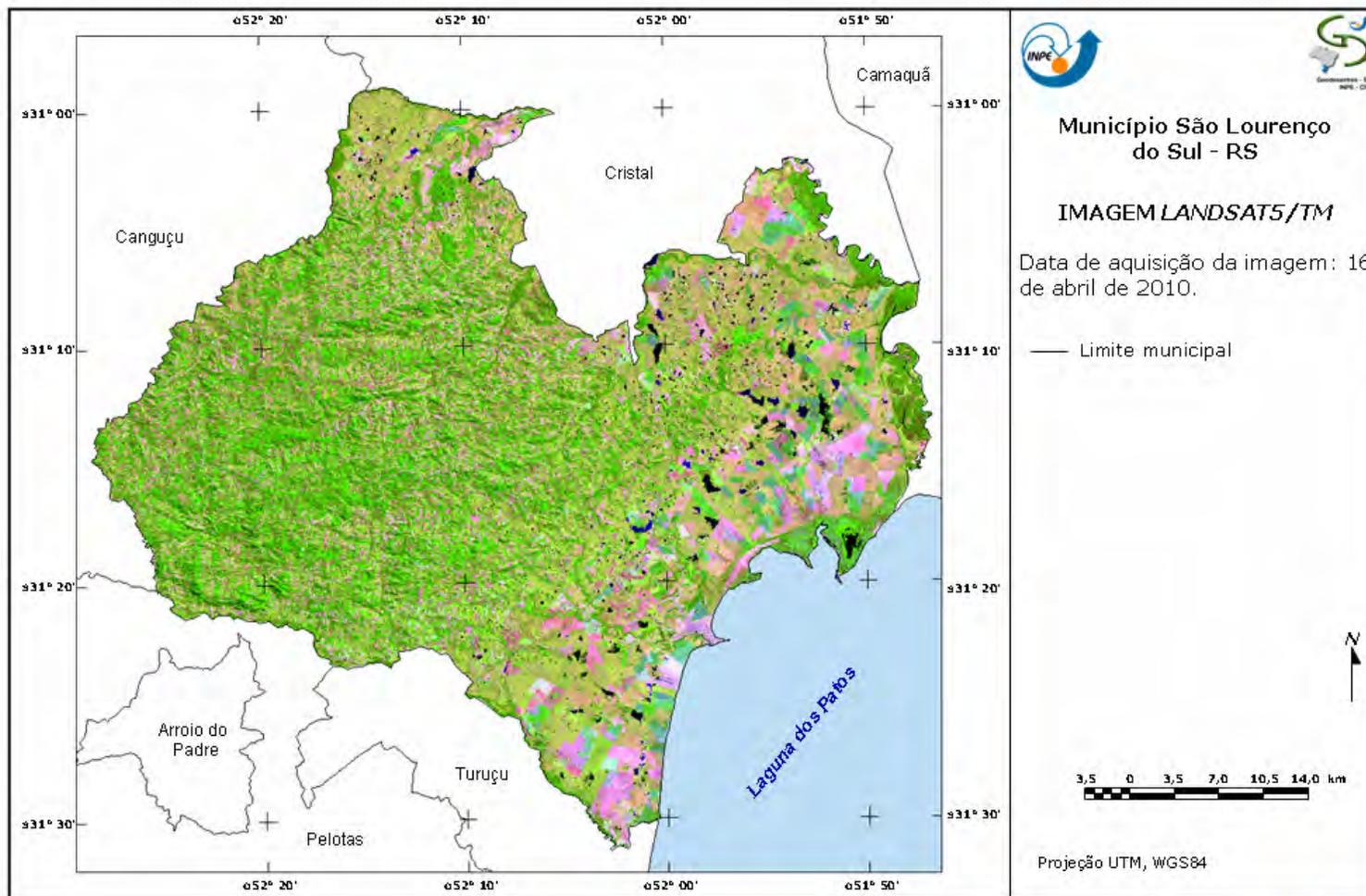


Figura 5.4 – Recorte da imagem LANDSAT5/TM de 16 de abril de 2010 referente ao município de São Lourenço do Sul.

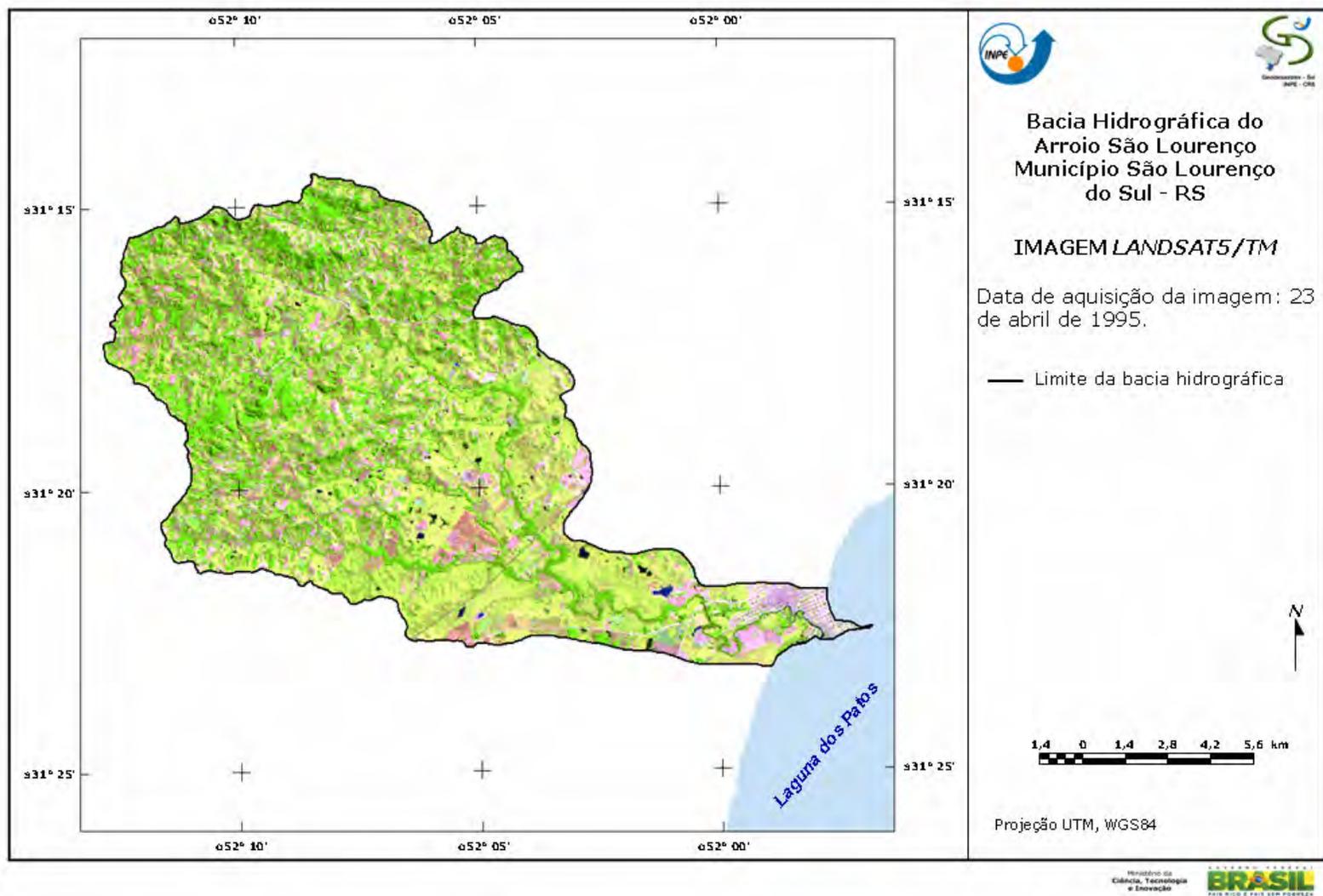


Figura 5.5 – Recorte da imagem LANDSAT5/TM de 23 de abril de 1995 referente a bacia do arroio São Lourenço.

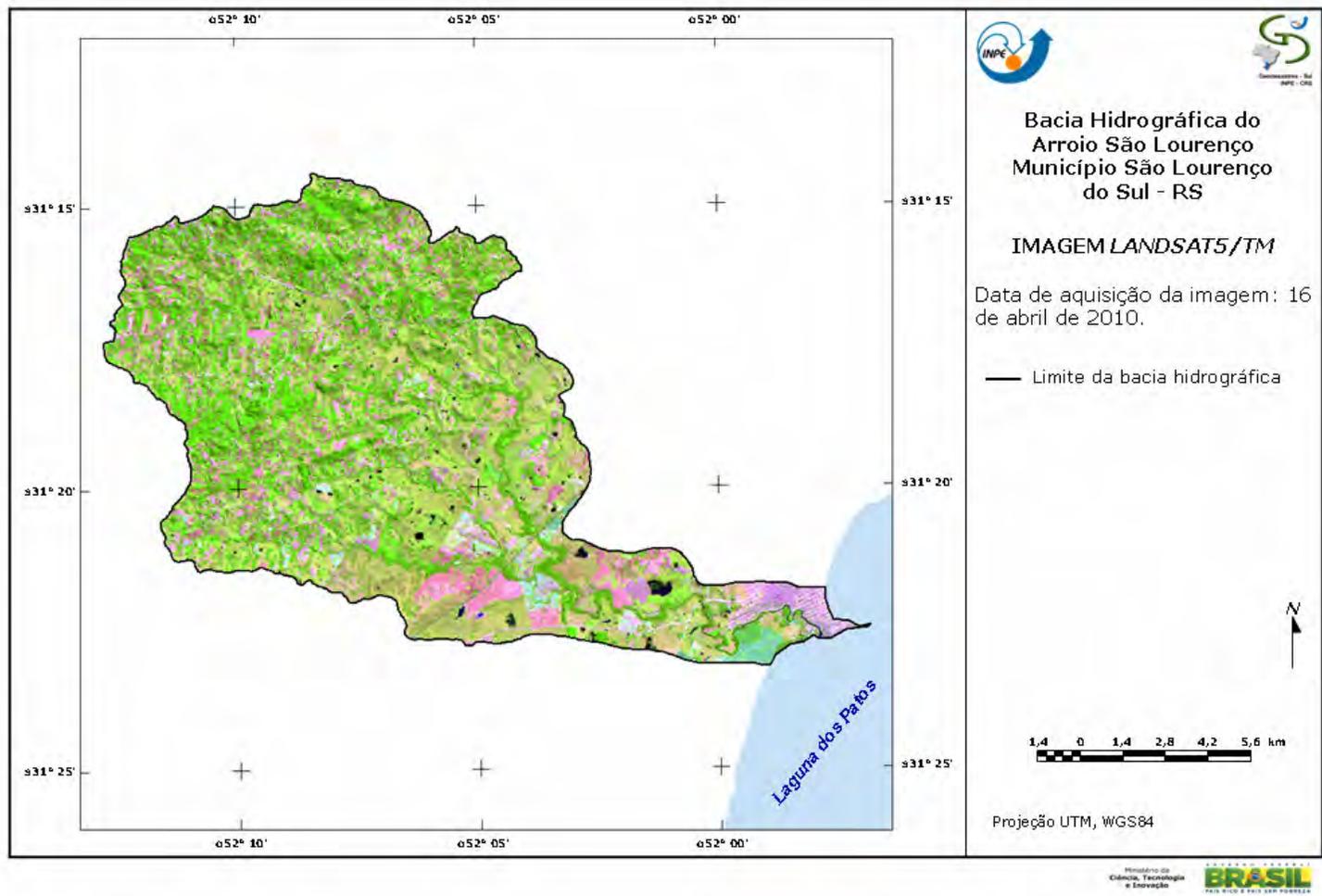


Figura 5.6 – Recorte da imagem LANDSAT5/TM de 16 de abril de 2010 referente a bacia do arroio São Lourenço.

O objetivo destes mapas era foi comparar dois anos distintos para identificar modificações no uso e cobertura do solo no município e na bacia. Buscou por imagens da época do evento de inundação, março, abril de 2011, porém todas estavam com grande cobertura de nuvens, por esta razão optou-se por utilizar uma imagem de abril de 2010.

5.6.1 - Registro das imagens *LANDSAT 5/TM*

A correção geométrica altera a geometria da imagem para corrigir distorções produzidas pelo sistema de captura de dados, efeitos da rotação da Terra ou variação da altitude, atitude e velocidade do satélite. Esta correção pode ser realizada a partir da reamostragem dos pixels em relação a uma base cartográfica ou imagem já corrigida, para o qual se torna necessária a localização de pontos de controle (Richards, 1986; Mather, 1987).

Para a correção geométrica das imagens foi utilizado como base uma imagem ortorrectificada da área em estudo, identificada pela órbita/ponto 221/082, de 1 de dezembro de 2006 obtida na página <<http://glcfapp.glc.f.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>>. Assim, foram selecionados um total de 23 e 17 pontos de controle para realizar o registro das imagens de 1995 e 2010, respectivamente. O erro quadrático médio em ambos os casos foi menor do que 1 pixel, valor este considerado como aceitável.

5.6.2 - Segmentação das imagens *LANDSAT5/TM*

A segmentação é um procedimento que permite subdividir uma imagem em regiões contínuas, uniformes e disjuntas (Dutra et al., 1993). O algoritmo de segmentação por crescimento de regiões se baseia na similaridade dos valores de nível de cinza dos pixels (González e Woods, 1992).

Antes de segmentar as imagens *LANDSAT5/TM* de 1995 e de 2010 foram testados vários limiares de similaridade e de área, parâmetros estes necessários para realizar a segmentação, com o intuito de verificar quais valores eram mais indicados para cada imagem, de maneira de obter regiões homogêneas que permitissem uma melhor discriminação dos diferentes alvos de interesse. Os limiares de similaridade e área foram respectivamente, 12 e 14 para a imagem de 1995 e, 8 e 14 para a imagem de 2010.

5.6.3 - Classificação das imagens *LANDSAT 5/TM*

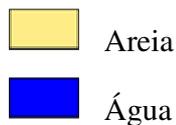
A classificação das imagens foi realizada utilizando um algoritmo supervisionado por regiões baseado na distância de Bhattacharya, como medida de separabilidade das classes. Para isto foram selecionadas amostras de aquisição e de teste a partir do conhecimento prévio da área, da resposta espectral dos alvos e da homogeneidade interna de cada classe nas cenas. Para a classificação da imagem de 1995 foram selecionadas um total de 374 amostras de aquisição e de teste e 539 amostras para a imagem de 2010.

A seleção das amostras de treinamento, tanto de aquisição como de teste, foi realizada a partir das respostas espectrais dos diferentes alvos. Foi considerado também o conhecimento prévio da área, a análise visual da imagem *HRC/CBERS 2B* assim como das imagens do *Google Earth*, utilizada como informação complementar para discriminar as classes de uso e cobertura do solo de interesse no Município de São Lourenço do Sul e na bacia do Arroio São Lourenço.

Posteriormente foi analisado o desempenho médio de cada classificação, assim como a abstenção média e a confusão média das classes selecionadas. Aquelas amostras que apresentavam um desempenho baixo foram excluídas e foram tomadas novas amostras correspondentes a essas classes. Este processo iterativo se repetiu até obter-se um bom desempenho de cada uma das amostras selecionadas, levando em consideração que cada classe estivesse representada por um número considerável de amostras.

As classes discriminadas são:

	Floresta
	Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre
	Banhado
	Agropecuária (mixto de áreas agrícolas e pecuária)
	Agricultura
	Solo (solo exposto/solo preparado/solo em pousio)
	Cidade
	Areia/vegetação



As classes de solo exposto, cidade e areia apresentaram os maiores valores de confusão média, o qual era esperado pela semelhança do comportamento espectral destes alvos, no entanto o desempenho médio de cada classe sempre foi maior do que 75%. As classes formação pioneira com influencia fluvial e/ou lacustre assim como areia/vegetação não foi possível discriminá-las no processo de classificação automática, pelo que foi necessário fazer a digitalização destes temas.

5.7 - Mapas de Declividade do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço

A declividade é definida como a maior ou menor inclinação do relevo em relação ao horizonte, quanto maior a declividade de um relevo maior o seu potencial de escoamento superficial, com as águas apresentando maior velocidade e poder erosivo.

Em relevos com alta declividade, as águas das chuvas escoam mais rapidamente para os canais dos rios e estes por sua vez, tem maior poder de erosão e transporte, assim como de escoamento, nestes locais dificilmente ocorrem inundações. Contrariamente, quanto menor a declividade menor o potencial de escoamento superficial e, conseqüentemente menor a capacidade de erosão dos rios e de escoamento, nestes locais a tendência é haver um acúmulo das águas e a deposição do material transportado pelos rios, o que facilita a ocorrência de inundações. Assim, em estudos de eventos de inundação, a declividade é um fator extremamente importante.

A Figura 5.7 apresenta um esquema da principal ação da declividade sobre o equilíbrio entre o escoamento superficial da água e a infiltração desta no solo.

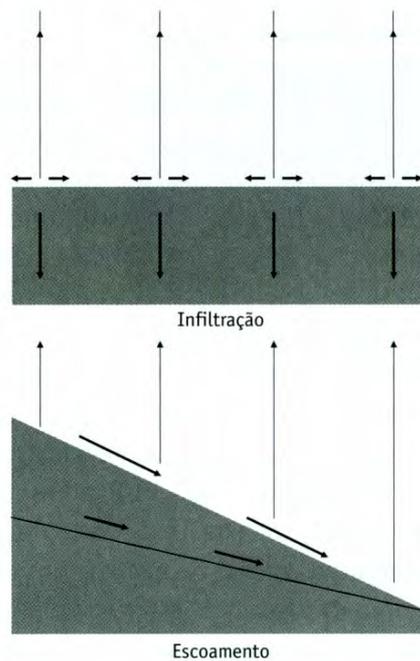


Figura 5.7 – Esquema do processo de escoamento superficial e infiltração da água no solo em função da declividade Fonte: Florenzano, 2008.

O mapa de declividade do município de São Lourenço do Sul e da bacia do arroio São Lourenço foram feitos a partir de Produto *ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Model)* com resolução de 1 arco-segundo ($\pm 30\text{m}$).

A declividade pode ser expressa em graus ou porcentagem. A legenda adotada para este mapa foi a da EMBRAPA (1999):

Classe	Faixa (%)
Plano	0 a 3
Suave ondulado	3 a 8
Ondulado	8 a 20
Forte ondulado	20 a 45
Montanhoso	45 a 75
Escarpado	Acima de 75

5.8 - Mapas de variáveis morfométricas do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço a partir do TOPODATA

Em meados de 2003 o USGS disponibilizou os dados *SRTM* (*Shuttle Radar Topography Mission*) para toda América do Sul. Assim desde esta época dados topográficos do todo o território nacional estão acessíveis para serem utilizados em geoprocessamento.

O Projeto TOPODATA do INPE oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, elaborados a partir dos dados *SRTM* disponibilizados pelo *USGS* na rede mundial de computadores (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>).

As vertentes são partes integrantes das bacias hidrográficas e não podem ser descritas de forma integral sem que sejam consideradas as relações entre elas e a rede hidrográfica. As vertentes e os rios estão em constante interação, uma vez que a forma e o ângulo destas devem estar ajustados para fornecer a quantidade de detritos que um rio pode transportar. De modo inverso, os parâmetros hidráulicos dos rios devem estar ajustados para transportar a quantidade de material fornecido pelas vertentes (Christofolletti, 1974).

Considerar esta relação entre vertente e cursos de água é importante para entender os processos de escoamento superficial, infiltração, erosão e transporte de material em uma bacia de drenagem.

Em uma paisagem são encontrados três formatos para as vertentes: convexo, retilíneo e côncavo (Figura 5.8).

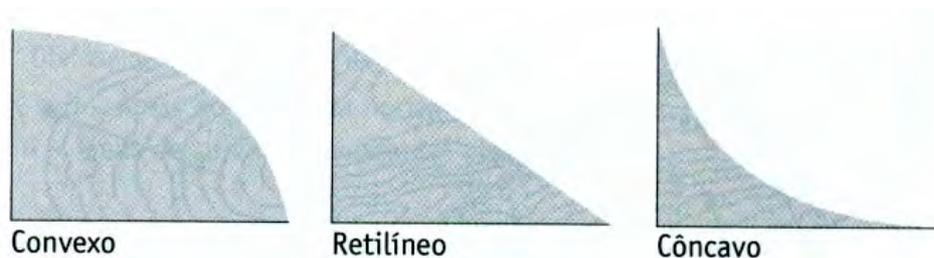


Figura 5.8 - Exemplo de formas de terreno convexo, retilíneo e côncavo. Fonte: Adaptado de Florenzano, 2008.

Quanto mais convexa é a forma da vertente, maior é o escoamento superficial e menor a infiltração da água. Já ao contrário nas vertentes côncavas, quanto maior a

concavidade maior é a infiltração da água no solo e menor é o escoamento superficial (Figura 5.9)

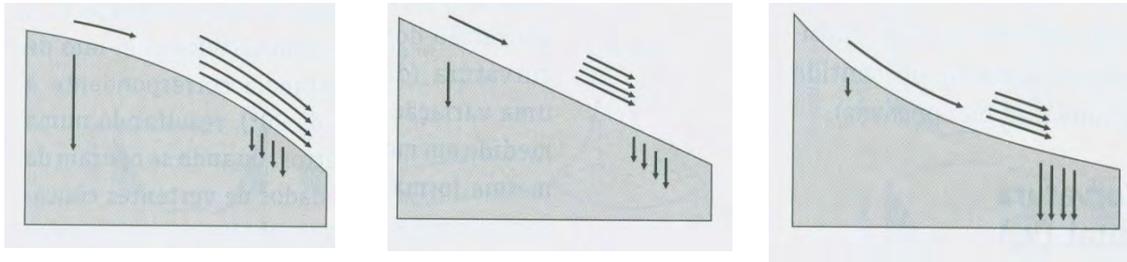


Figura 5.9 - Efeito da curvatura vertical sobre a hidrologia de superfície, onde se podem observar os processos de escoamento de infiltração da água. Fonte: Adaptado de Florenzano (2008).

De acordo com Peschier (1996) é possível representar a forma da paisagem por meio de computador, utilizando um Modelo de Elevação Digital (MDE) e um algoritmo que divide a paisagem em regiões que representam certos tipos de formas do terreno. Por meio de interpolação (vizinho mais próximo) ele calcula dois tipos de planos de curvatura do terreno:

- A curvatura vertical: que pode ser expressa pelas formas convexa, plana e côncava;
- A curvatura horizontal: que pode ser expressa por convergente, planar e divergente.

As classes de curvatura vertical e a horizontal podem ser combinadas dando origem a um plano de informação sobre a forma do terreno.

Os planos de informação correspondentes à curvatura vertical, horizontal e forma do relevo do projeto TOPODATA, do município de São Lourenço do Sul, foram importados para o banco de dados e gerados os mapas temáticos de cada variável morfométrica. Para gerar os mapas temáticos foram utilizados programas desenvolvidos em linguagem LEGAL-Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico, de acordo com os intervalos de valores definidos para cada variável no guia de utilização do TOPODATA (Valeriano, 2008).

5.8.1 - Mapas de Curvatura Vertical das vertentes do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço

A curvatura vertical expressa o formato da vertente quando observada em perfil, refere-se à forma convexo/côncavo do terreno (Figura 5.10).

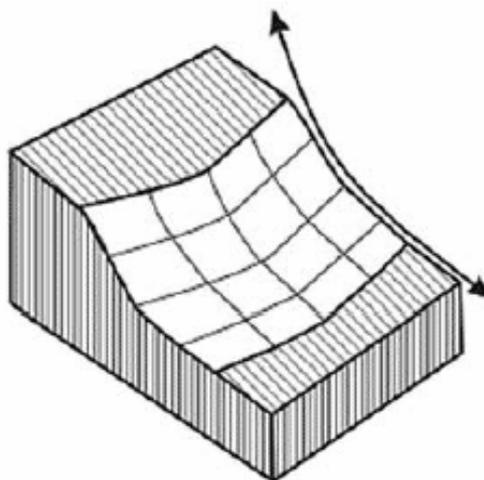


Figura 5.10 - Curvatura vertical da vertente quando observada em perfil. Fonte: Adaptado de Harrison et al., 2008.

De acordo com Valeriano (2008) ela é definida com a segunda derivada da altitude, o que pode ser descrito como a variação da declividade ao longo de uma determinada distância (Figura 5.11).

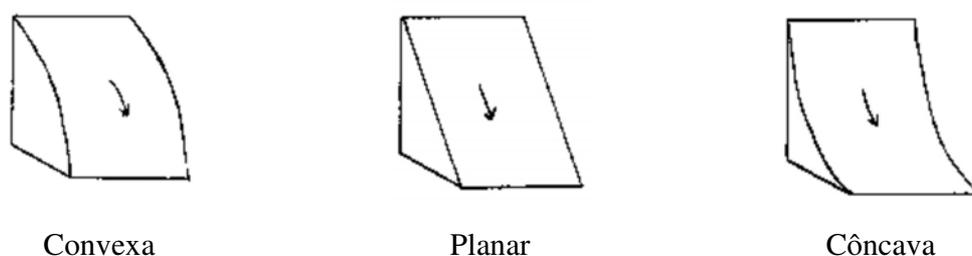


Figura 5.11 - Formas do plano de curvatura vertical do terreno. Fonte: Peschier (1996)

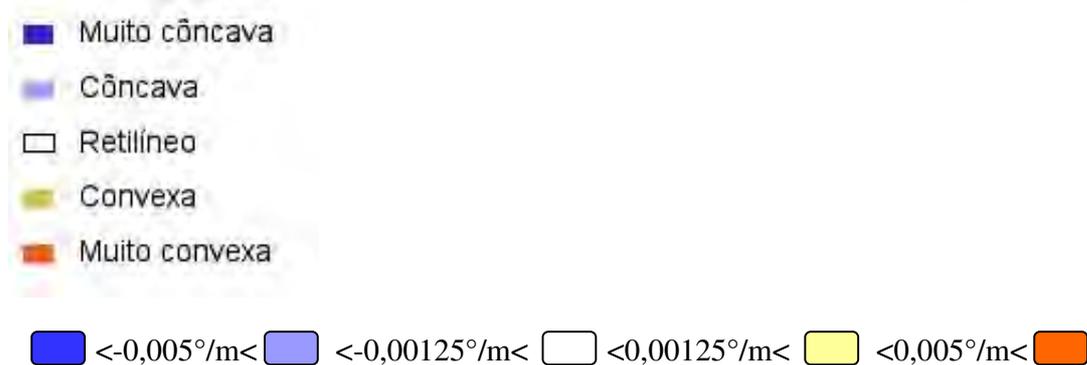
Conforme o mesmo autor a percepção da curvatura vertical do terreno no campo, quando não ocorre visualmente (em perfil), se dá pela variação da declividade enquanto se percorre a vertente em sua orientação (direção do desnível).

Ela pode ser expressa em ângulo por distância (graus por metro) ou como raio de curvatura (metros). Teoricamente, os valores positivos devem corresponder a terrenos

convexos, os valores negativos a terrenos côncavos (ou vice-versa) enquanto valores nulos indicam vertentes retilíneas (Valeriano, 2008).

De acordo com Florenzano (2008) a variável curvatura vertical das vertentes está relacionada aos processos de migração e acúmulo da água, de minerais e de matéria orgânica no solo através da superfície, causados pela gravidade.

Para o mapa de curvatura vertical das vertentes foram adotadas as seguintes classes:



Posteriormente, para caracterizar melhor como a forma das vertentes e o uso do solo no município de São Lourenço do Sul poderia influir no escoamento superficial, sobrepôs-se a classe Solo ao mapa de curvatura vertical. Em seguida integraram-se todas as classes de uso e cobertura do solo com os mapas de curvatura vertical e calculou-se a área correspondente de cada uma delas, isto é, quantos km² de cada classe de uso e cobertura do solo correspondiam às classes de curvatura vertical.

Tal como foi feito para o município, fez-se também a sobreposição da classe Solo ao mapa de curvatura vertical da bacia do Arroio São Lourenço, para caracterizar melhor como a forma das vertentes e o uso do solo na bacia do arroio município poderia influir no escoamento superficial.

5.8.2 - Mapas de Curvatura Horizontal das vertentes do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço

De acordo com Florenzano (2008) e Valeriano (2008) a curvatura horizontal expressa o formato da vertente quando observada em projeção horizontal (Figura 5.12)

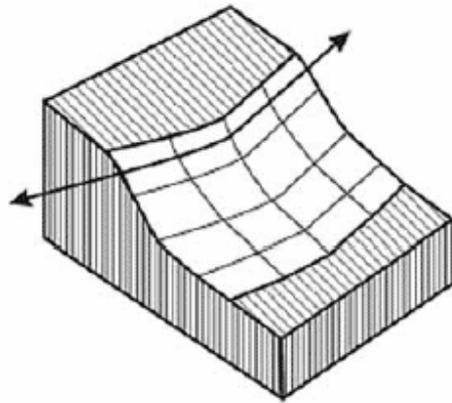
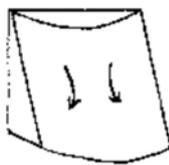


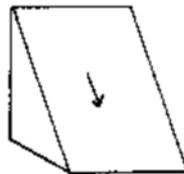
Figura 5.12 - Curvatura horizontal da vertente quando observada em projeção horizontal. Fonte: Adaptado de Harrison et al., 2008.

Considerando a nossa percepção comum, a curvatura horizontal se traduz no caráter de divergência ou convergência das direções de declive (linhas de fluxo de matéria) adjacentes quando analisados em projeção horizontal (Figura 5.13).

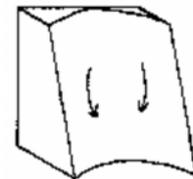
Assim em áreas nas quais as linhas de fluxo estão paralelas têm-se curvatura horizontal nula e diz-se que o terreno é planar. Áreas onde as linhas de fluxo indicam convergência e divergências têm-se curvaturas não nulas com sinais opostos.



Divergente



Planar



Convergente

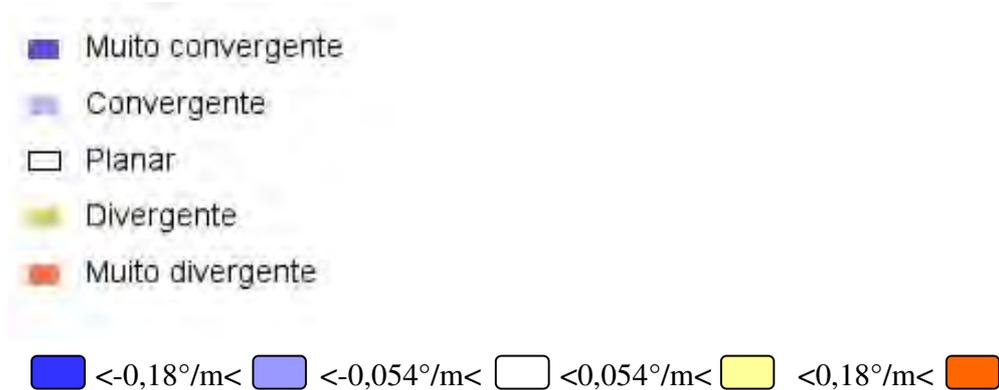
Figura 5.13 - Formas do plano de curvatura horizontal do terreno. Fonte: Peschier (1996)

Esta variável está relacionada à intensidade dos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade.

Tal como a curvatura vertical das vertentes esta variável desempenha um importante papel sobre o balanço hídrico e o equilíbrio entre os processos de pedogênese e morfogênese (Florenzano, 2008). Ela pode ser expressa em ângulo por distância (graus por metro) ou como raio de curvatura (metros).

Para poder perceber a curvatura horizontal no campo é necessário a ampla visualização nas direções em nível, para que se possa discernir a situação local como de exposição aberta (divergente) ou em anfiteatro (convergente). Ao percorrer-se uma curva de nível, pode-se perceber a situação de divergência se o lado interno da curva apontar à montante e situação de convergência se o lado interno da curva apontar a jusante (Valeriano, 2008).

Para o mapa de curvatura horizontal foram adotadas as seguintes classes:



5. 8.3 - Forma do Terreno do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço

De acordo com Peschier (1996), Florenzano (2008) e Valeriano (2008) as classes de curvatura vertical das vertentes (côncavo, retilíneo e convexo) e as classes de curvatura horizontal (convergente, planar e divergente) podem ser combinadas em nove tipos de forma do terreno as quais se associam diretamente as propriedades hidrológicas e ao transporte de sólidos (Figura 5. 14).

Os casos extremos de combinações de curvatura do terreno são representados pela forma Côncavo–Convergente (onde ocorre a máxima concentração e acúmulo de escoamento) e pela forma Convexo-Divergente (onde ocorre a máxima dispersão de escoamento).

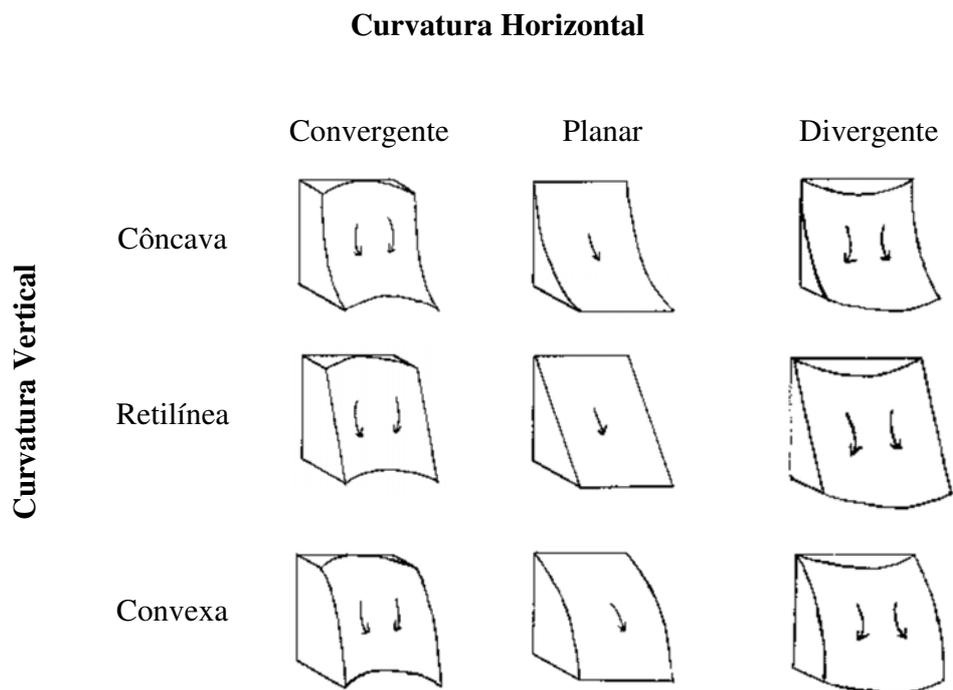


Figura 5.14 - Combinação das curvaturas vertical e horizontal para a caracterização das formas de vertentes, Dikau (1990), Peschier (1996), Florenzano (2008).

Para a confecção do mapa de forma do terreno foram consideradas apenas três classes: côncavo-convergente (máxima concentração e acúmulo de escoamento), convexo-divergente (máxima dispersão de escoamento) e planar-retilíneo, uma vez que o interesse é caracterizar as áreas de maior potencial de contribuição ao escoamento superficial e a de maior acúmulo da água, no município de São Lourenço do Sul e na bacia do arroio São Lourenço. Isto é, identificar as áreas que potencialmente podem contribuir para um evento de inundação.

No projeto TOPODATA, foram atribuídas cores a cada forma de terreno, o que permitiu a geração de mapas temáticos sobre a forma do terreno de uma bacia hidrográfica, indicativas de áreas de maior escoamento superficial, de acúmulo de águas, mapeamento de possíveis áreas de alagamento, áreas potenciais de deslizamento.

A paleta de cores estabelecida considerou o Matiz como expressão da curvatura horizontal e o Brilho como expressão da vertical. Assim neste estudo foram atribuídas as seguintes cores associada ao conceito da curvatura:

-   A classe côncavo-convergente foi codificada com a cor azul para simbolizar uma possível influência de umidade nessas áreas;
-   A classe convexo-divergente foi codificada com a cor ocre para simbolizar terrenos mais secos e possível exposição do substrato devido à maior probabilidade de solos mais rasos;
-   A classe planar-retilíneo foi codificada com a cor verde claro, por representar um equilíbrio entre as outras duas classes.

5.9 - Localização das pontes afetadas pela inundação no Município de São Lourenço do Sul

Para a localização das pontes afetadas pela inundação, no município de São Lourenço do Sul e na bacia do arroio São Lourenço, na imagem TM/LANDSAT5, foram utilizadas as coordenadas geográficas de cada uma delas, que constam do “*Lauda Técnico de Vistoria, referente às Obras emergenciais na reconstrução de pontes na área rural do município de São Lourenço do Sul*” preparado pela Secretaria Municipal de Planejamento e Meio Ambiente, e gentilmente cedido para este estudo.

A Tabela 5.2 apresenta a relação das pontes afetadas na área rural do Município de São Lourenço do Sul com suas respectivas coordenadas geográficas.

Tabela 5.2 - Relação das pontes afetadas pela inundação de 10 de março de março de 2011 e suas respectivas coordenadas geográficas

Ponte	Coordenadas geográficas	
	Sul	Oeste
Passo do Candombe (Entrada Fortaleza)	31°17'23,40"	52°07'02"
Ponte Picada Moinhos (Salão da Loira)	31°17'57,7"	52°10'47,8"
Estrada Bom Jesus (Abatedouro Marilanda Meltz)	31°17'46,2"	52°14'11,7"
Picada das Antas (Valnei Schuartz)	31°18'37,9"	52°14'09,6"
Picada das Antas (Moinho Loescher)	31°19'33,5"	52°13'59,8"
Ponte Harmonia (Percio Leitzke)	31°19'40"	52°13'59"
Santana-Sesmaria (Geraldo Hinz)	31°22'52,8"	52°13'24,3"
Santana (Vino Kohler)	31°22'32,6"	52°11'56"
Fortaleza (Viúva Tereza)	31°21'03,2"	52°07'48"
Monte Alegre (Saída Nelson Bartz)	31°15'20,6"	52°07'19,6"
Picada Sabão (Travessão Picada Feliz)	31°15'20,6"	52°07'19,6"
Picada Sabão 1 (Arno Hirzel)	31°12'49,3"	52°11'44,8"
Picada Sabão 2 (Tanguart Schneid)	31°13'10,1"	52°11'43,6"
Passo dos Baios	31°22'04,3"	52°00'21,8"
Travessão Wasckow	Não foram fornecidas as coordenadas	
Picada Sabão (Ordeni Duarte)	31°13'42,0"	52°09'26,60"
Ponte Pinheiros (Walter Peglow)	31°09'18,3"	52°10'11,10"
Esquina da Reserva	Não foram fornecidas as coordenadas	
Hübner (Cerro Chato II)	31°09'27,9"	52°13'20,6"
Treptow	31°09'27,9"	52°14'22,4"
Curi	31°09'27,9"	52°13'20,6"
Gusmão	31°12'34,7"	52°09'51,4"
Reserva (Curtume Brächer)	31°17'52,1"	52°09'47,7"
Santana 2 (Edison Behling)	31°21'29,1"	52°11'58,90"

As pontes as quais não foram fornecidas a coordenadas geográficas não foram plotadas nas imagens *LANDSAT5/TM*.

5.10 - Medidas da largura do canal do Arroio São Lourenço

Em função de relatos feitos pelo prefeito municipal, pelo chefe da defesa Civil Municipal, pescadores e moradores da cidade, que davam conta de que havia um estreitamento do canal devido a presença de vegetação aquática, e de observações em imagens do Google Earth onde era possível ver este estreitamento, decidiu-se medir a largura deste.

Para as medidas foram consideradas a largura original do canal (margem a margem) e a largura que permitia a navegação em função da presença de vegetação aquática, conforme apresentado na Figura 5.15.



Figura 5.15 – Seção transversal para medida da largura do canal do arroio São Lourenço.

Assim, foram plotadas 13 seções transversais em um recorte de imagem do Google Earth correspondente ao trecho meandrante do arroio São Lourenço, próximo a área urbana (Figura 5.16).



Figura 5.16 – Recorte de imagem Google Earth com a localização das seções transversais ao longo do canal do arroio São Lourenço, em seu trecho meandrante junto à área urbana.

5.11 - Coleta de dados em campo

Foi realizado, pela equipe do GEODESASTRES-SUL, um trabalho de campo na área afetada pela inundação na bacia do Arroio São Lourenço, no período de 30 de março a 01 de abril de 2011.

Nessa oportunidade foram realizadas as seguintes entrevistas:

- Prefeito do Município de São Lourenço do Sul, Sr. José Sidney Nunes de Almeida (Figura 5.17);
- Vice-prefeito e chefe da Defesa Civil Municipal, Sr. José Daniel Raupp Martins;
- Secretária Municipal de Planejamento e Meio-Ambiente, Sra. Andréa Citrini;
- Diretora de Turismo da Secretaria Municipal de Turismo, Indústria e Comércio, Sra. Cintia Santos;
- Prof. Dr. Prof. Marcelo Dutra, IO-FURG, Campus São Lourenço do Sul,
- Comunicador Sr. Oscar Almeida, responsável pelo serviço de carro de som da cidade;
- Diretor do jornal O Lourenciano, Sr. David Morisse Baini;
- Funcionários da Prefeitura Municipal;



Figura 5.17 - Pesquisadoras do GEODESASTRES-SUL em reunião com o prefeito municipal e técnicos da prefeitura. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março, 2011)

- Moradores da cidade, comerciantes, pescadores, funcionários de hotéis, restaurantes, num total de 24 entrevistas, sendo que 19 delas foram georeferenciadas com GPS. Na área residencial, foram realizadas entrevistas seguindo um questionário constituído de 41 questões de múltipla escolha, mistas e abertas, as quais abrangiam aspectos socioeconômicos e de percepção ambiental dos moradores (Anexo A). Na área comercial, o questionário era composto de 24 questões de múltipla escolha (Anexo B). O uso de entrevistas para avaliação de danos já foi empregado por Tachini (2010) e Marcelino et al (2004), Figura 5.18.

Foram feitas medidas de altura da marca de água em fachadas de imóveis em 87 pontos georeferenciados com GPS.

Na ocasião foram também coletadas fotografias de vários locais afetados pela inundação brusca.

5.12 - Avaliação de danos

Para a avaliação dos danos foram utilizados dados do relatório de Avaliação de Danos (AVADAN) gerado para a inundação ocorrida em 10 de março de 2011 em São Lourenço do Sul. A utilização de dados do AVADAN para a avaliação de danos pode ser verificada em trabalhos de Sausen et al (2009) e Saito e Sausen (2011).

Este relatório é um documento preenchido em um prazo máximo de 120 horas após a ocorrência do desastre, por equipe habilitada do próprio município. Segundo Castro (1998), no AVADAN, os danos humanos indicam o número de desalojados, desabrigados, deslocados, desaparecidos, feridos, enfermos, mortos e afetados. Os danos materiais são referentes aos estragos causados em edificações públicas ou particulares, como residências, comércios, escolas, postos de saúde, e também em infra-estrutura pública, tais como obras de arte, estradas e pavimentação. Quanto aos danos ambientais, são aqueles causados aos recursos naturais (água, solo, ar, flora e fauna). Os prejuízos sociais referem-se a interrupção do abastecimento de água, energia elétrica, saúde, transporte, gás, comunicações, coleta de lixo e educação. Finalmente, os prejuízos econômicos são aqueles ocasionados aos setores da economia, como agricultura, pecuária, indústria e serviços.



Figura 5.18 – Recorte de imagem CBERS2/HRC com a localização dos pontos GPS onde foram feitas as entrevistas com os moradores.

6 - Resultados e Discussão

De acordo com o croqui que acompanha o Decreto de Situação de Calamidade Pública, fornecido pela Prefeitura de São Lourenço do Sul, apresentado na Figura 1.9 na página 7 houve duas grandes áreas no município atingidas pelas precipitações na noite do dia 9 para 10 de março de 2011, a porção central, correspondente a área de serra, e a bacia do Arroio São Lourenço.

Conforme relatos e informações coletadas durante os trabalhos de campo as chuvas ocorreram de forma significativa no interior do município, porém as áreas inundadas restringiram-se a uma porção da área urbana de São Lourenço do Sul, conforme assinalado no croqui da Figura 6.1.



Figura 6.1-Croqui da área atingida pela inundação no perímetro urbano de São Lourenço do Sul. Fonte: Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul.

Em entrevistas realizadas com o Prefeito, o chefe da Defesa Civil Municipal e os relatos prestados pelo vários moradores entrevistados, todos descreveram a seguinte situação:

Uma chuva torrencial iniciou-se por volta das 23 horas do dia 09 de março de 2011, tendo durado em torno de 8 a 10 horas, estando concentrada na zona rural do município. Na área urbana, choveu muito pouco não ultrapassando os 10 mm.

Por volta das 23 horas do dia 09 de março o Prefeito, que mora no interior do município, no Passo do Pinto, avisou ao chefe da Defesa Civil Municipal que o arroio São Lourenço estava enchendo e que havia a preocupação de que esta água chegasse até a área urbana da cidade.

Na cidade não foi observado nada de anormal na vazão do arroio. Por volta das 24h30min foi feita uma vistoria nele no interior e as águas já haviam baixado, o arroio não apresentava nenhum sinal de possível transbordamento, não oferecendo perigo.

Todos os relatos dão conta de que não havia nenhum sinal na área urbana, referente à chuva e ao nível do arroio São Lourenço, que pudesse indicar, até esta hora, que ocorreria uma tragédia.

Seguindo os relatos, por volta da 01h00min o arroio começou a transbordar, a Defesa Civil entrou em prontidão, ambulância, bombeiros, brigada militar e foram para a ponte do Passo do Pinto, que arrebentou, levando uma hora para que a água chegasse a cidade.

Um dos relatos ouvido pela equipe do GEODESASTRES-SUL diz o seguinte: *apesar das chuvas torrenciais no interior do município, e do fato do arroio São Lourenço ter enchido nesta área, e depois decrescido, portanto a água deveria ter ido para o trecho do arroio que corre pela cidade, durante algumas horas simplesmente ninguém conseguiu localizar para onde esta água havia ido.*

Avaliando as chuvas ocorridas no dia 09 de março, por volta das 2:00 horas a prefeitura solicitou que o serviço de carro de som, avisasse os moradores das zonas ribeirinhas, para se prevenirem porque o arroio poderia transbordar.

Como por volta das 05h00min o arroio São Lourenço começou a avançar além da zona ribeirinha, o carro de som passou a alertar a toda a cidade de que as águas estavam subindo e que ficassem atentos.

As águas invadiram a área urbana primeiramente na zona ribeirinha para logo depois tomar conta de toda a cidade, tendo como origem uma curva de um dos meandros do arroio (Figura 6.2).



Figura 6.2 - Recorte de imagem do Google Earth do local por onde as águas do arroio São Lourenço começaram a invadir a área urbana. Fonte: Acervo Marcelo Dutra da Silva (março, 2011).

Aproveitando que a cidade apresenta um traçado urbano na forma de tabuleiro de xadrez, com ruas correndo paralelas e transversais ao canal do arroio, as águas ao transbordaram e passaram a correr de forma bastante rápida e com muita correnteza, de uma ponta a outra da cidade (*Figura 6.3*).

O transbordamento do canal teve início ao redor das 05h00min, atingindo a praia da Barrinha, no lado oposto da cidade por volta das 07h30min. As águas começaram a abaixar no período da tarde.



Figura 6.3 - Recorte da imagem Google Earth onde está salientada a direção das águas do arroio São Lourenço ao invadir a área urbana no dia 10 de março de 2011. Fonte: Acervo Marcelo Dutra da Silva (março, 2011).

A grande maioria dos moradores entrevistados salientou “a velocidade, a força e o ruído que as águas faziam ao invadirem a cidade. Todos principalmente mencionaram que não esperavam que o arroio pudesse causar uma inundação destas proporções, uma vez que já haviam ocorrido outras inundações que praticamente ficavam restritas as zonas ribeirinhas”.

Outro fato interessante é que “muitos não acreditaram nos avisos do carro de som, uma vez que não chovia na cidade na hora que em começaram os anúncios”.

Todos também mencionaram que “a inundação veio do lado contrário ao que ocorreu em todas as outras inundações enfrentadas pela cidade”, isto é, a inundação veio das cabeceiras do arroio São Lourenço, a montante, em direção a Laguna dos Patos, a jusante (Figura 6.4). Todas as outras inundações vinham da laguna dos Patos em direção ao canal do arroio, uma vez que eram provocadas pelo aumento do nível das águas da laguna em função do represamento delas, pelo vento Sul, que sopra do oceano para o continente, dificultando a saída da água para o oceano, no canal de Rio Grande. Ao contrário do que

aconteceu no dia 10 de março, este tipo de inundação é sempre gradual e não brusca (enxurrada) como a que ocorreu em São Lourenço do Sul.



Figura 6.4 – Recorte de imagem do Google Earth onde está salientada a direção da inundação ocorrida em São Lourenço do Sul. Fonte: Acervo Marcelo Dutra da Silva (março, 2011).

Por esta razão as inundações do Arroio São Lourenço não eram de grandes proporções ficando mais restritas a zona ribeirinha, com exceção da inundação de 1941 (Figura 6.5), que atingiu grande parte do Estado do Rio Grande do Sul e talvez uma das maiores enfrentadas até hoje, e a inundação de 1987. Ambas provocadas pelo aumento de nível da água da Laguna dos Patos.

Entre 1999 e 2000 foi feita uma dragagem do canal o que minimizou o problema das cheias na área urbana provocadas pelo aumento do nível da água da Laguna dos Patos.



Figura 6.5 - Fotografia da época da inundação de 1941 em São Lourenço do Sul. Fonte: Acervo da Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul

6.1 - Precipitações no Sul do Rio Grande do Sul entre os dias 09 e 11 de março de 2011

Nos dias 09, 10 e 11 de março de 2011, a combinação de temperaturas elevadas e a advecção (transporte) de umidade do oceano para o continente formou nuvens carregadas que provocaram chuvas abundantes sobre o sul do Rio Grande do Sul, chuvas essas que ocorreram principalmente entre a noite do dia 09 e a manhã do dia 10.

Conforme dados do Hidroestimador, para a região de São Lourenço do Sul, a precipitação diária estimada para o dia 10 de março de 2011 era de 100 mm (Figura 6.6). O Hidroestimador é um algoritmo que produz estimativas instantâneas de precipitação de modo automático a cada 15 minutos, fazendo o uso de imagens infravermelhas do satélite GOES. Este algoritmo calcula a taxa de precipitação inicial utilizando-se de um ajuste de potência entre estimativas instantâneas de precipitação derivadas do radar e medidas de temperatura de brilho do satélite, além de considerar fatores adicionais como o regime de umidade, crescimento e estrutura do topo de nuvens. Esta técnica parte da suposição que nuvens que possuem temperatura do topo mais fria proporcionam maiores taxas de precipitação que aquelas com temperatura do topo mais quente.

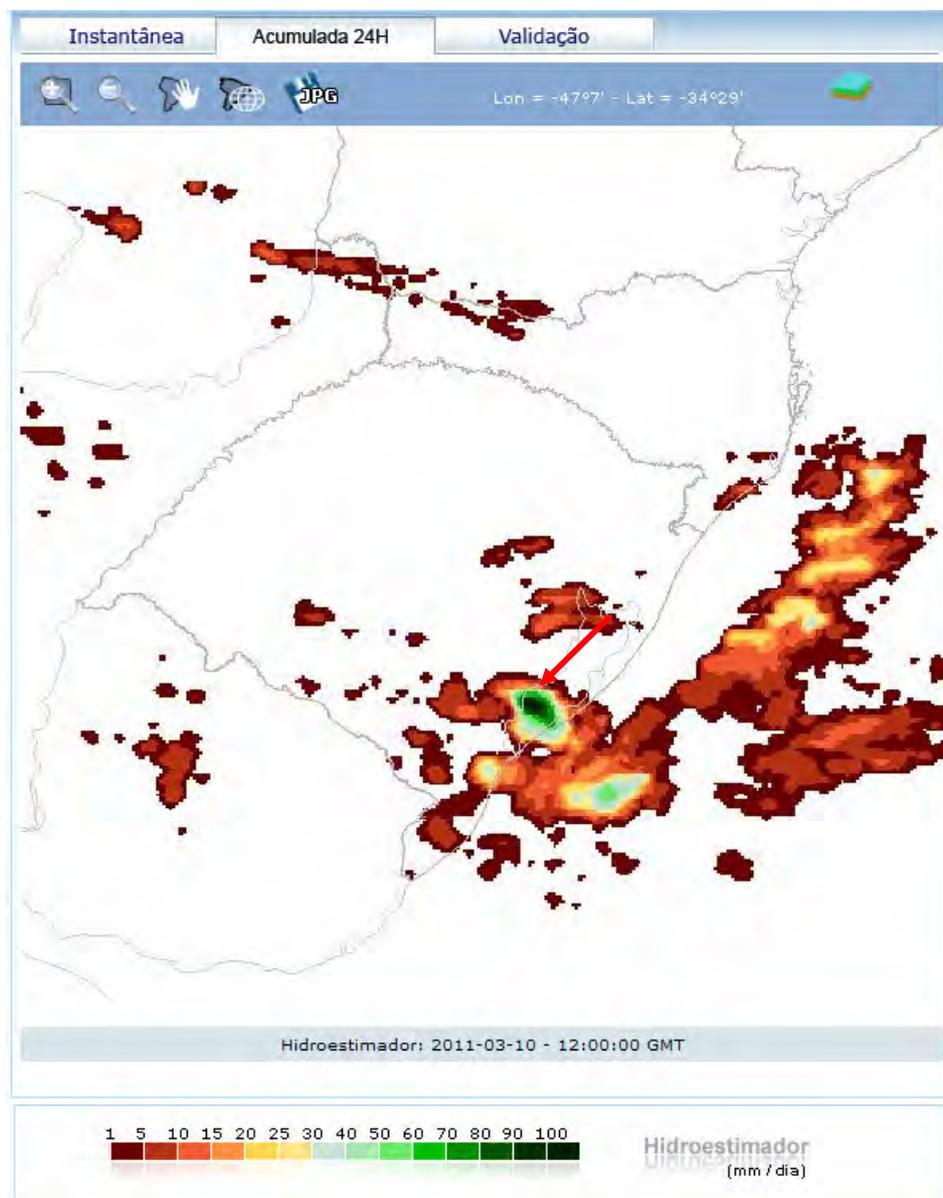


Figura 6.6 - Dados do hidroestimador para a precipitação estimada diária, no dia 10 de março de 2011, na região de São Lourenço do Sul. Fonte: CPTEC/INPE

6.1.1 - Imagens do satélite GOES 12

Os relatos dos agricultores, no interior do município, indicam que as chuvas iniciaram na tarde do dia 09 de março, aproximadamente às 14h00min e se estenderam até a manhã do dia 11. As chuvas mais intensas ocorreram desde a tardinha do dia 09 até a madrugada do dia 10, por volta das 05h00min – 06h00min. Estas chuvas variaram de local

para local quanto à intensidade e horário. Durante os dias 10 e 11 as chuvas apresentaram menor intensidade e, em alguns locais, foram quase nulas.

Na sede do município ocorreram chuvas de apenas 33,5 mm, no período das 08h00min do dia 09 de março às 08h00min do dia 10. A maior quantidade de chuva ocorreu na tarde do dia 09 de março. No período das 08h00min do dia 10 às 08h00min horas do dia 11, ocorreram apenas 20,0 mm de chuvas e, 2,0 mm de chuvas no período das 08h00min do dia 11 de março às 08h00min do dia 12. Estes dados de precipitação de chuva na cidade foram coletados pelo Eng.º Agr.º Alfredo Passos Decker, do Escritório Municipal da EMATER/RS-ASCAR, de São Lourenço do Sul-RS, em um pluviômetro mantido em sua residência, onde ele faz as leituras, diariamente, às 08h00min, caracterizando chuvas de um dia (24 h).

Seguindo os relatos montou-se uma sequência de imagens do satélite GOES 12, no período das 20 horas e 30 minutos do dia 09 de março de 2011 até 06 horas do dia 10. Com isto foi possível observar como as nuvens se deslocaram sobre o estado do Rio Grande do Sul nestes dias. Nestas imagens as cores na legenda representam a temperatura do topo das nuvens em graus Celsius, variando de -30° na cor laranja, até -80° na cor rosa.

Este satélite é dedicado ao monitoramento da América do Sul e oceanos adjacentes fornecendo imagens a cada 15 minutos, ele monitora as condições meteorológicas severas como furacões e tempestades.

Nestas imagens obtidas no site do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), observa-se que a quantidade de nuvens variou com certa rapidez ao longo destes dias. Destaca-se a imagem do dia 10/03 (manhã) onde se observa a presença de uma área de nebulosidade bastante carregada sobre o sul gaúcho (Figura 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 e 6.11).

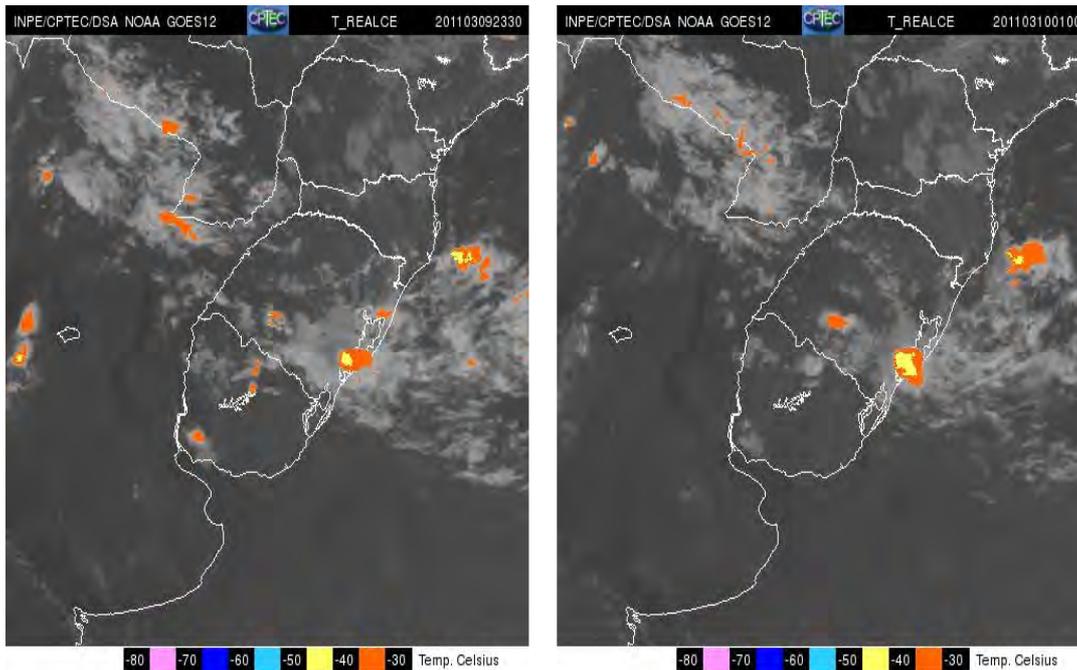


Figura 6.7 - Imagens do satélite GOES 12 sobre a região Sul do Brasil, no dia 09 de março de 2011, nos horários das 20h30min (E) e 22h (D), respectivamente.

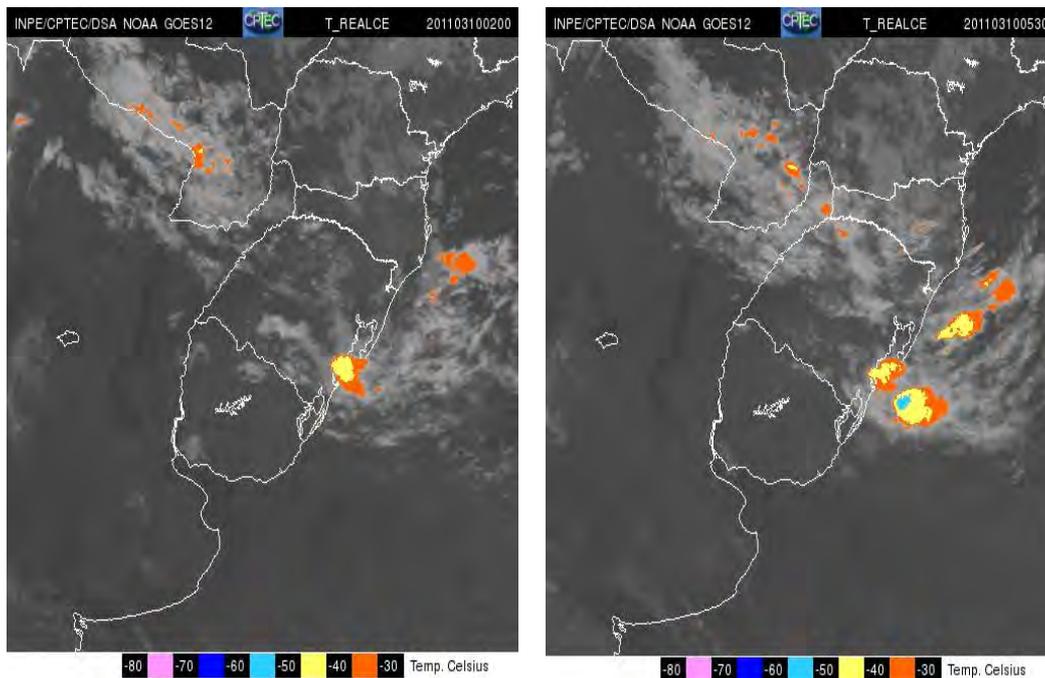


Figura 6.8 - Imagens do satélite GOES 12 sobre a região Sul do Brasil, nos dias 09 e 10 de março de 2011, nos horários das 23h (E) e 2h30min (D), respectivamente.

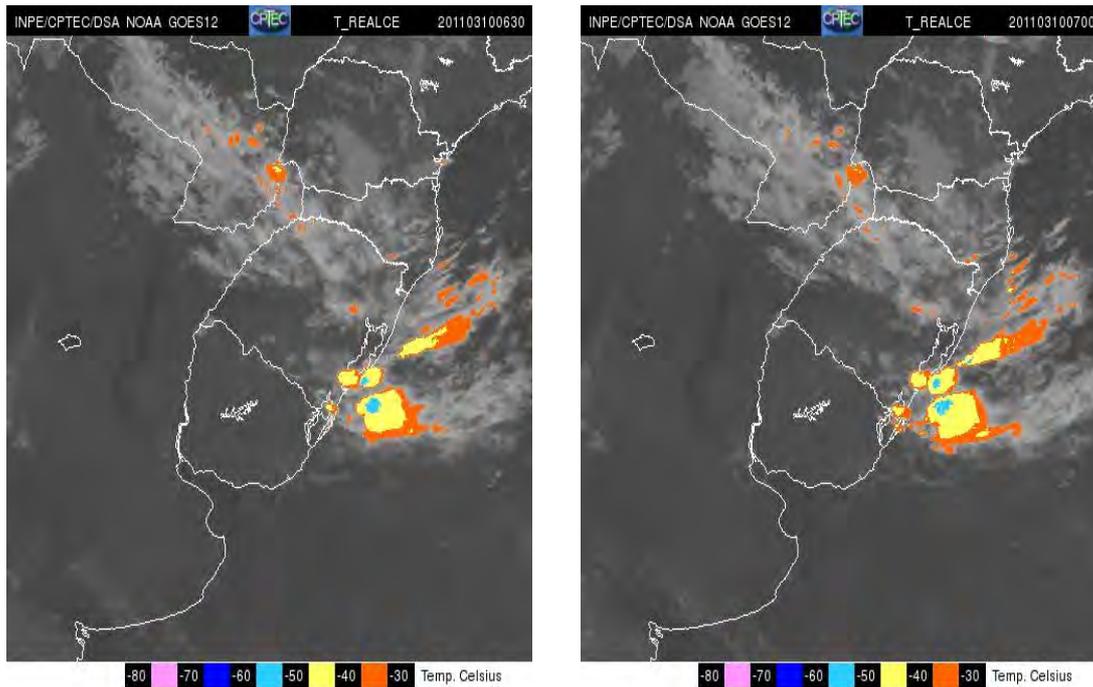


Figura 6.9 - Imagens do satélite GOES 12 sobre a região Sul do Brasil, no dia 10 de março de 2011, nos horários das 3h30min (E) e 4h (D), respectivamente.

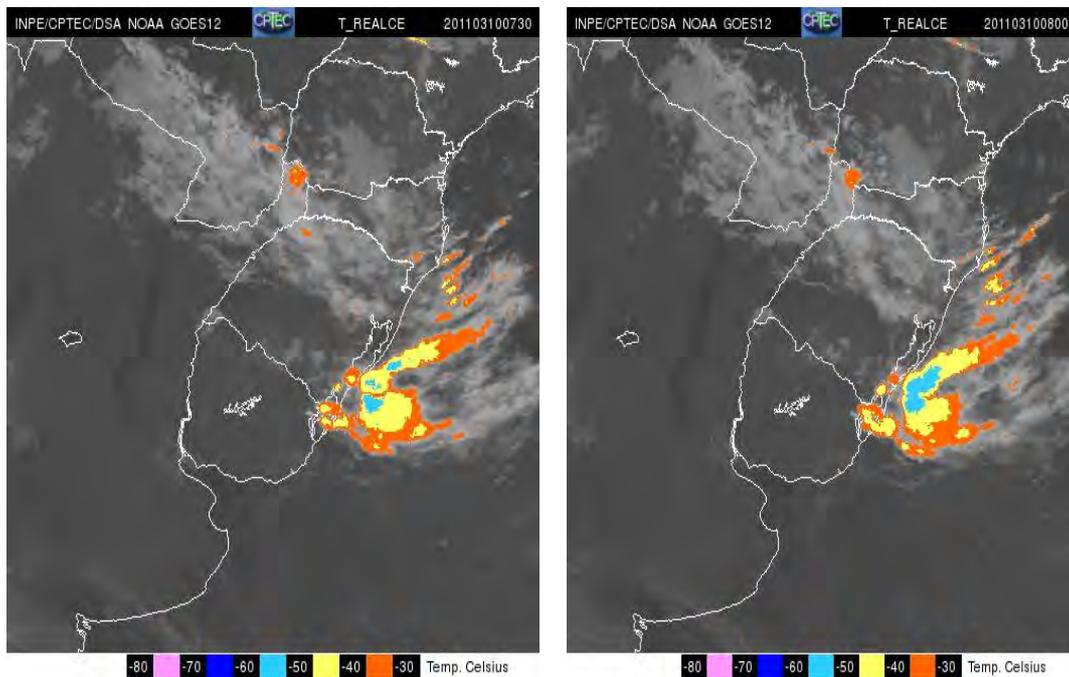


Figura 6.10 - Imagens do satélite GOES 12 sobre a região Sul do Brasil, no dia 10 de março de 2011, nos horários das 4h30 min (E) e 5h (D), respectivamente.

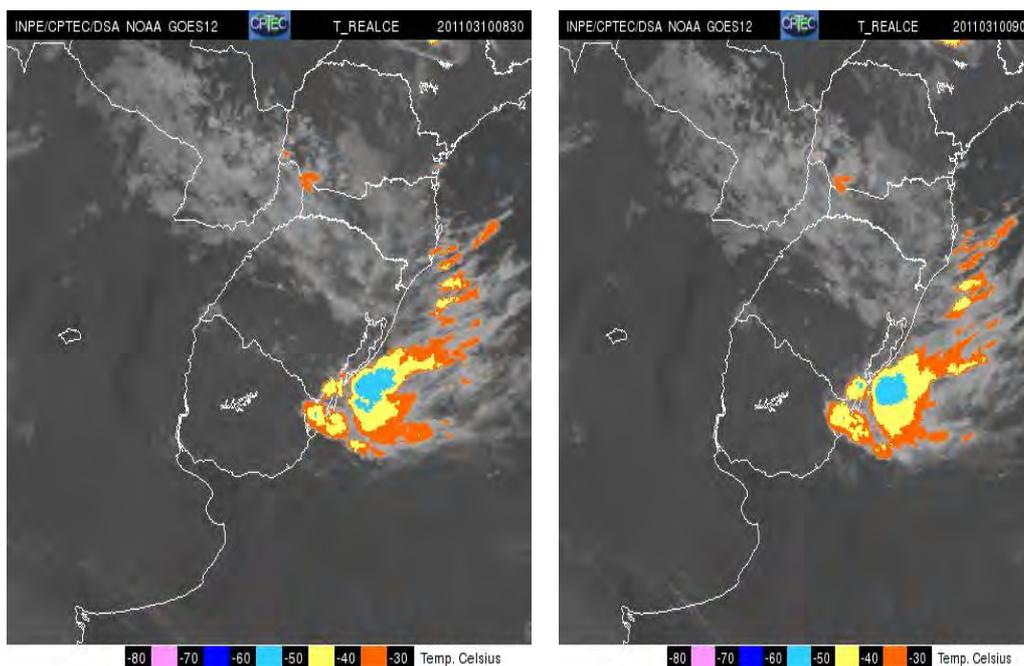


Figura 6.11 - Imagens do satélite GOES 12 sobre a região Sul do Brasil, no dia 10 de março de 2011, nos horários das 5h30min (E) e 6h (D), respectivamente.

6.1.2 - Mapa de localização dos pluviômetros no Município de São Lourenço do Sul

As Figuras 6.12 e 6.13 apresentam a localização e distribuição dos pluviômetros, no município de São Lourenço do Sul e na bacia do Arroio São Lourenço, sobre o mapa de drenagem.

Conforme mencionado no ofício da EMATER os pluviômetros utilizados pelos agricultores não são sofisticados, porém, estes dados de precipitações são os únicos registros de chuvas feitos no município de São Lourenço do Sul e na bacia do Arroio São Lourenço, no momento da chuva. Além disso, a estação meteorológica do INMET mais próxima de São Lourenço do Sul está localizada na cidade de Rio Grande a 110 km de distância. Portanto, mesmo sendo dados aproximados, foram considerados neste estudo.

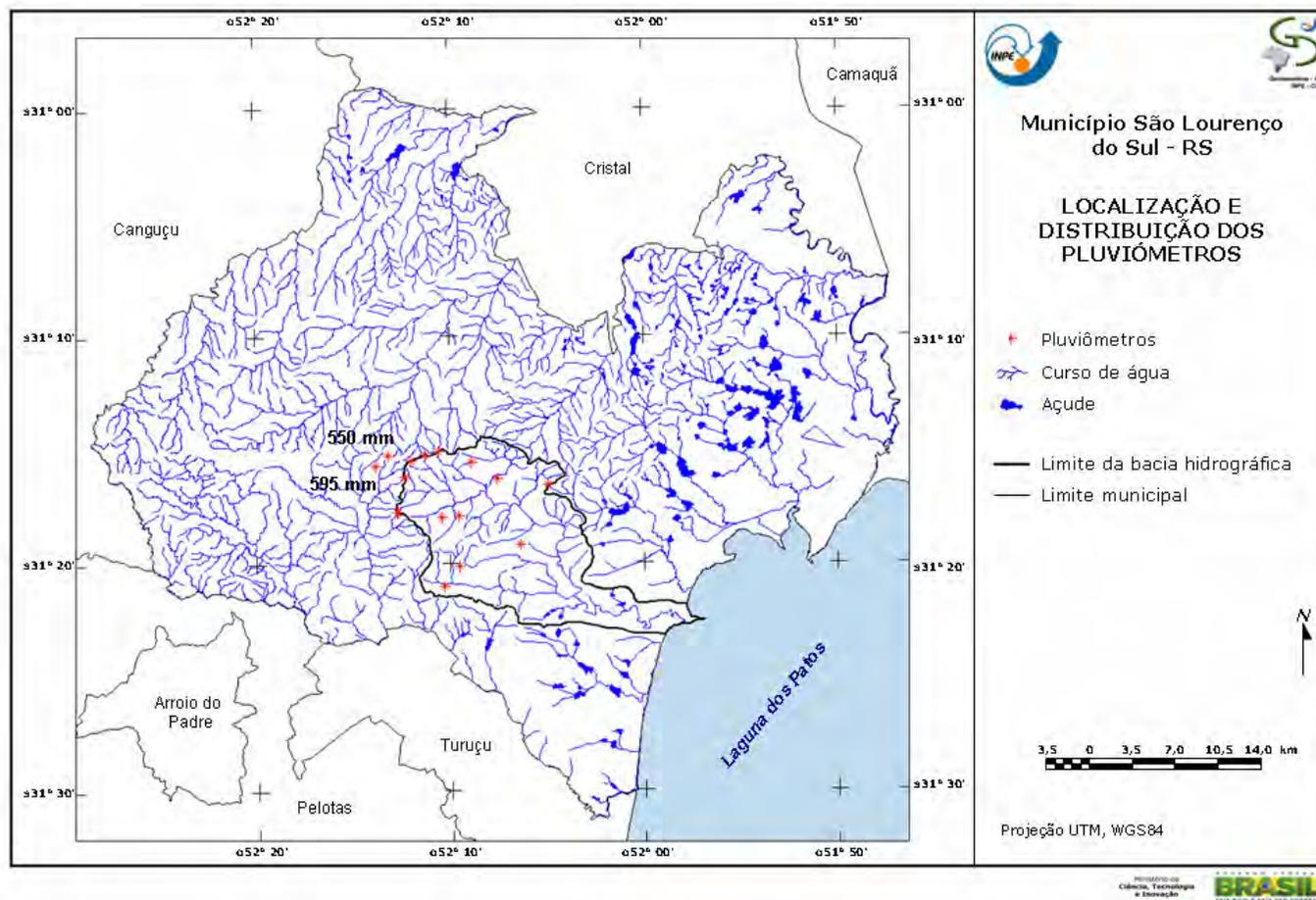


Figura 6.12-Localização e distribuição dos pluviômetros em relação à rede de drenagem no município de São Lourenço do Sul, com os valores de precipitação em milímetros.

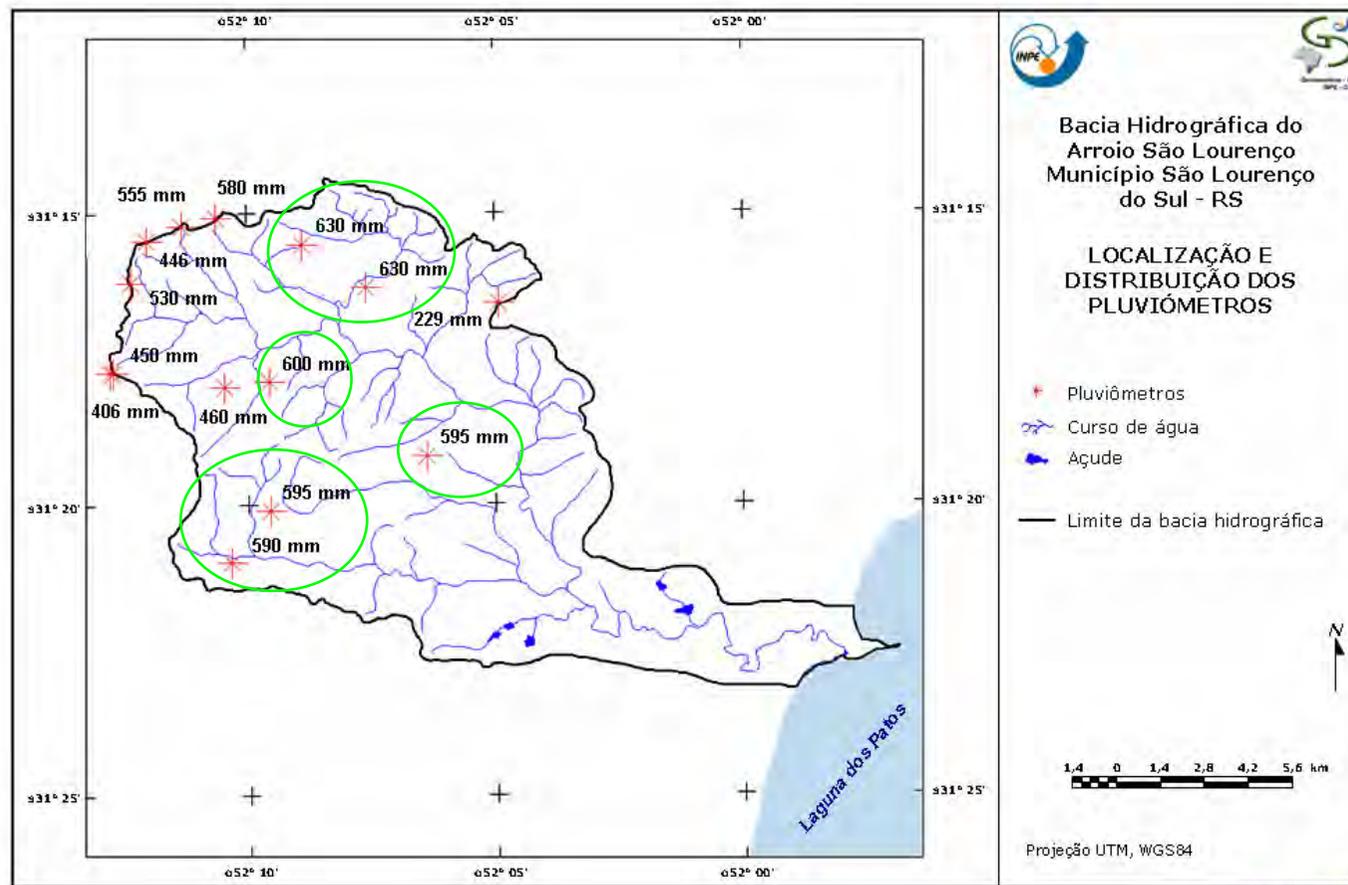


Figura 6.13-Localização e distribuição dos pluviômetros, em relação à rede de drenagem, na bacia do Arroio São Lourenço, com os valores de precipitação em milímetros.

Analisando-se a Figura 6.13 pode-se observar que os maiores valores de precipitação registrados na bacia do Arroio São Lourenço foram 630, 600, 595, 590 mm e que estas altas precipitações ocorreram principalmente em áreas de cabeceiras, no trecho de Planalto, onde também ocorrem as maiores declividades e os maiores gradientes de relevo, favorecendo assim o escoamento superficial das águas das chuvas.

Pela distribuição dos pluviômetros nota-se que este fenômeno apresentou como característica chuvas localizadas, num alto volume e concentrado em um curto espaço de tempo, apenas dois dos pluviômetros registrados estão fora da bacia do Arroio São Lourenço.

Tomando como referência o maior índice de precipitação registrado pelos agricultores, 630 mm, e levando em consideração que 1 mm de chuva equivale a 1 litro de água por m^2 , pode-se dizer que choveu 630 litros de água por m^2 , nas cabeceiras do arroio. Como os dados de precipitação foram coletados em um período de 8 horas, tem-se uma média de 78,75mm de chuva por hora, o que implica dizer que choveu 78litros de água em $1 m^2$ por hora.

Valores de precipitação acima de 90 mm, em 24 horas, são considerados muito elevados e motivo para que sejam emitidos alertas, uma vez que apontam para a possibilidade de ocorrer um evento de inundação. Uma vez que toda esta precipitação ocorreu em um tipo de relevo que favorece o escoamento superficial, a possibilidade de provocar uma inundação era muito grande.

Já no curso médio do arroio também foram observados valores de 595 mm, considerados muito elevados, para um período de 8 horas de chuva, estes são valores muito elevados inclusive para um período de chuvas de 24 horas.

6.1.3 - Dados de precipitação da estação meteorológica do INMET em Rio Grande

Nas tabelas 6.1 e 6.2 estão às medidas de precipitação de estações meteorológicas obtidas no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na cidade de Rio Grande. O total de chuva ocorrido nesta cidade pode ser considerado uma boa representação do que ocorreu na região sul do Rio Grande do Sul. Tanto no dia 10 de março como no dia 11 os valores precipitados foram altos, acima de 90 mm, o suficiente para por as autoridades em alerta. Mas também vale ressaltar que pontualmente a chuva pode ter

ocorrida em maior quantidade do que medida em Rio Grande, conforme foi observado pelos dados de precipitação coletados nos pluviômetros.

Tabela 6.1 - Dados de precipitação na estação do INMET em Rio Grande, RS do dia 10 de Marco de 2011.

Maiores Valores de Chuvas nas Últimas 24h	
Estado: Rio Grande do Sul Data: 10/03/2011 - 12h UTC	
ESTAÇÃO	MEDIÇÃO
83995 - RIO GRANDE	132,5 mm
83997 - SANTA VITÓRIA DO PALMAR	15,6 mm
83980 - BAGE	11,2 mm
83953 - SANTANA DO LIVRAMENTO	0,6 mm
83948 - TORRES	0,1 mm

Tabela 6.2 - Dados de precipitação na estaco do INMET em Rio Grande, RS do dia 11 de Marco de 2011.

Maiores Valores de Chuvas nas Últimas 24h	
Estado: Rio Grande do Sul Data: 11/03/2011 - 12h UTC	
ESTAÇÃO	MEDIÇÃO
83995 - RIO GRANDE	107,9 mm
83881 - IRAI	41,0 mm
83997 - SANTA VITORIA DO PALMAR	22,6 mm
83980 - BAGE	20,2 mm
83912 - CRUZ ALTA	15,7 mm

A Figura 6.14 apresenta o gráfico de chuva acumulada na estação meteorológica do INMET, em Rio Grande. Em 48 horas, a precipitação acumulada foi de aproximadamente 240 mm. Sendo registrados 132,5 mm das 09h00min de quarta-feira (09/03) até as 09h00min de quinta-feira (10/03). E 107,9 mm das 09h00min de quinta-feira (10/03) até as 0h00min de sexta-feira (11/03).

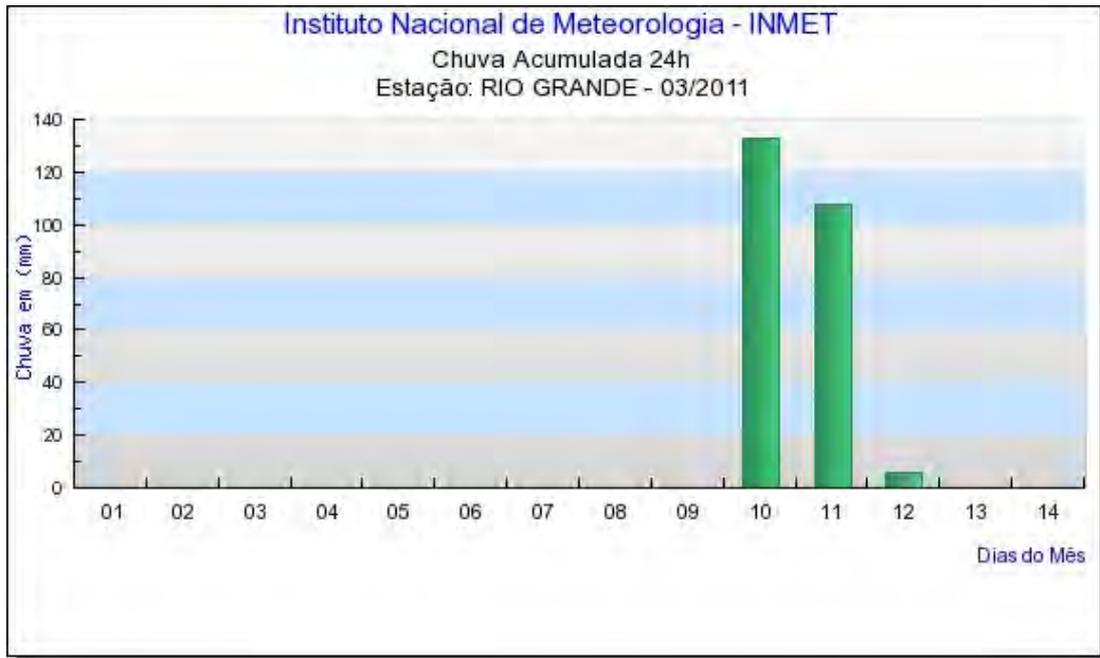


Figura 6.14 - Gráfico de precipitação da estação do INMET em Rio Grande, RS, para o período de 09 a 11 de Março de 2011.

A Figura 6.15 apresenta o gráfico comparativo entre a chuva mensal e a média climatológica (em torno de 110 mm) para o mês de março. Verifica-se que entre os dias 09 e 11/03, a chuva registrada foi mais que o dobro da climatologia do mês.

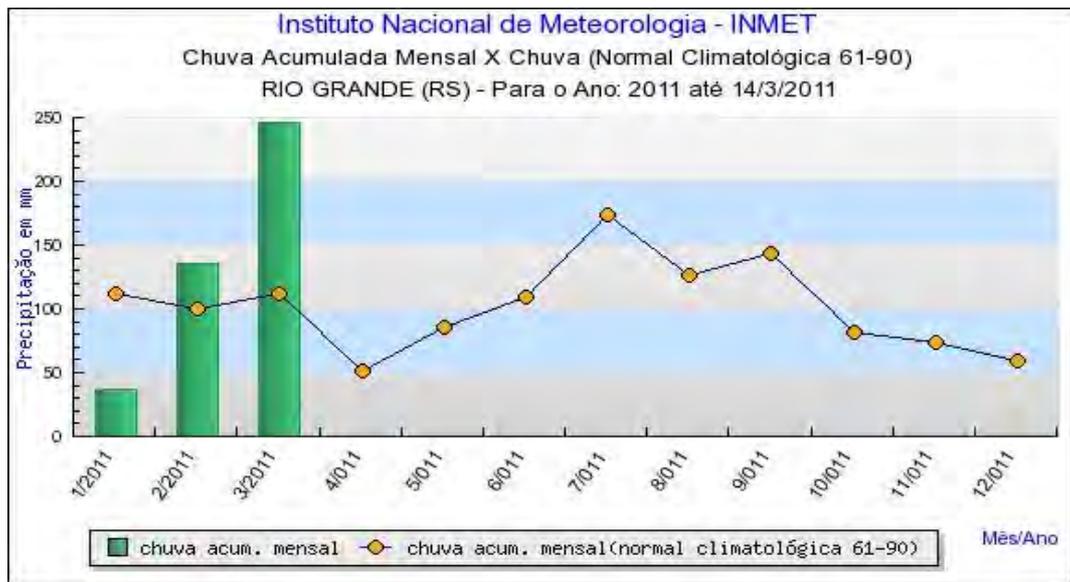


Figura 6.15 - Gráfico comparativo entre a chuva mensal e a média climatológica (em torno de 110 mm) para o mês de março

6.2 - Mapa da rede de drenagem do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço

O mapa da rede de drenagem do município de São Lourenço do Sul e da bacia do arroio São Lourenço possibilitou a localização e a sua distribuição na área de estudo bem como a caracterização do padrão de drenagem.

De acordo com Guerra e Guerra (2005) o padrão de drenagem é o arranjo espacial, isto é, o formato ou o aspecto que apresenta o traçado do conjunto dos canais fluviais, que pode ser influenciado pela geologia, litologia, pedologia e pela evolução geomorfológica da região. O padrão de drenagem fornece indícios sobre o tipo de rocha, estruturas geológicas e forma de terrenos, assim, têm-se que as regiões com rochas e solos associados impermeáveis, mais argilosos como às de folhelhos, ardósias, filitos, xistos micáceos e lavas basálticas apresentam drenagem densa com muitos canais de drenagem (águas pluviais escoam por inúmeros pequenos vales). Já as áreas com rochas e solos associados permeáveis, como os arenitos e calcários, apresentam drenagem rala com poucos cursos de água.

O padrão de drenagem predominante na maior parte das bacias hidrográficas existentes no município de São Lourenço do Sul é o dendrítico onde as confluências dos rios lembram os galhos de uma árvore (dendron), quando visto em um mapa, por esta razão este padrão também é chamado de arborescente (Figura 6.16),

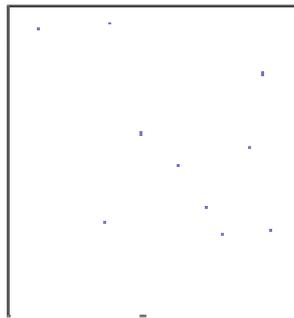


Figura 6.16 – Exemplo do desenho do padrão de drenagem dendrítico.

A Figura 6.17 apresenta o mapa da rede de drenagem do município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço.

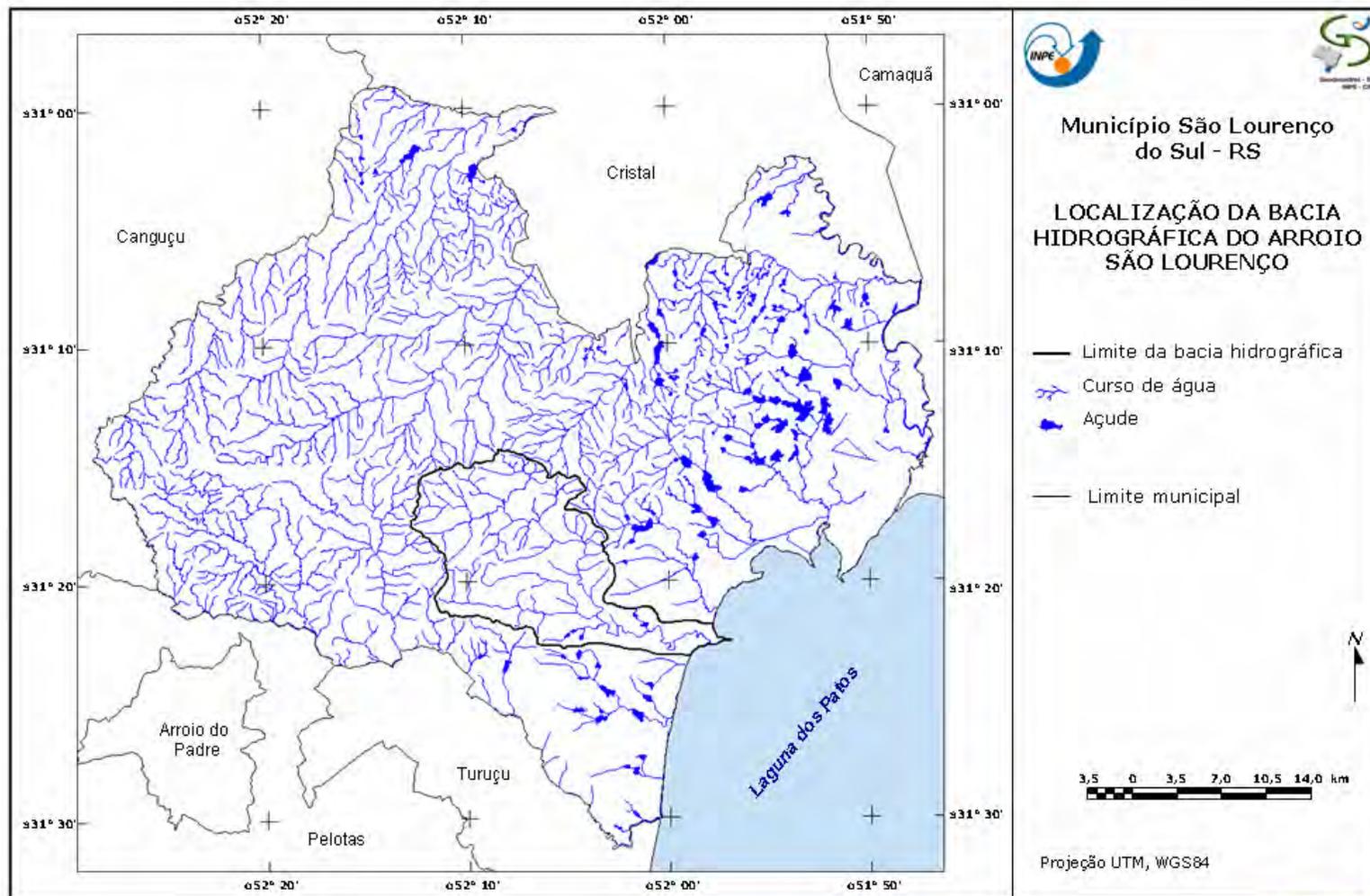


Figura 6.17 – Mapa da rede de drenagem do município de São Lourenço do Sul.

Tal como uma árvore, o padrão dendrítico é formado por um rio principal e por vários tributários que se distribuem em todas as direções sobre a superfície do terreno, unindo-se em ângulos agudos de graduações variadas. Ele tem um desenvolvimento livre, não indicando controle estrutural.

Este padrão é tipicamente desenvolvido sobre rochas de resistência uniforme ou em estruturas sedimentares horizontais. É comum em terrenos sem estruturas importantes que condicionem a erosão dos vales como, por exemplo, terrenos graníticos maciços, areníticos, derrames basálticos.

Geralmente é encontrado em terrenos com vertentes convexo-côncavas, com declividade e densidade de drenagem variando de alta a média, facilitando assim o escoamento superficial, a erosão e o transporte de materiais. Em geral os rios apresentam poder de cisalhamento e grande gradiente o que facilita o escoamento das águas dos terrenos mais altos para os mais baixos. Na área de estudo este padrão de drenagem está condicionado a região de Planalto.

Analisando-se a bacia do Arroio São Lourenço (Figura 6.18) observa-se este mesmo padrão em seu curso superior e médio, onde ele ainda corre na região de Planalto. Já no seu curso inferior ele apresenta o padrão de drenagem tendendo ao meândrico, com curvas sinuosas, em alguns trechos formando semicírculos. O rio meândrico exerce um trabalho contínuo de escavação na margem côncava (ponto de maior velocidade da corrente) e de deposição na margem convexa (ponto de menor velocidade da corrente), o que muitas vezes leva a construção de bancos de areia em suas margens. A carga detrítica de cursos de água meândricos possui uma elevada porcentagem de silte e argila, o que contribui para a sua sinuosidade.

Este tipo de padrão é típico de zonas planas, tais como Planícies, mudando com facilidade de lugar, sempre procurando o local de menor resistência para escoar suas águas, uma vez que o seu gradiente é muito pequeno, diminuindo conseqüentemente sua competência para o transporte de material. O baixo gradiente dificulta também o escoamento das águas, o que pode facilitar o extravasamento destas para a planície fluvial, em situações de chuvas intensas, dando assim origem a eventos de inundação.

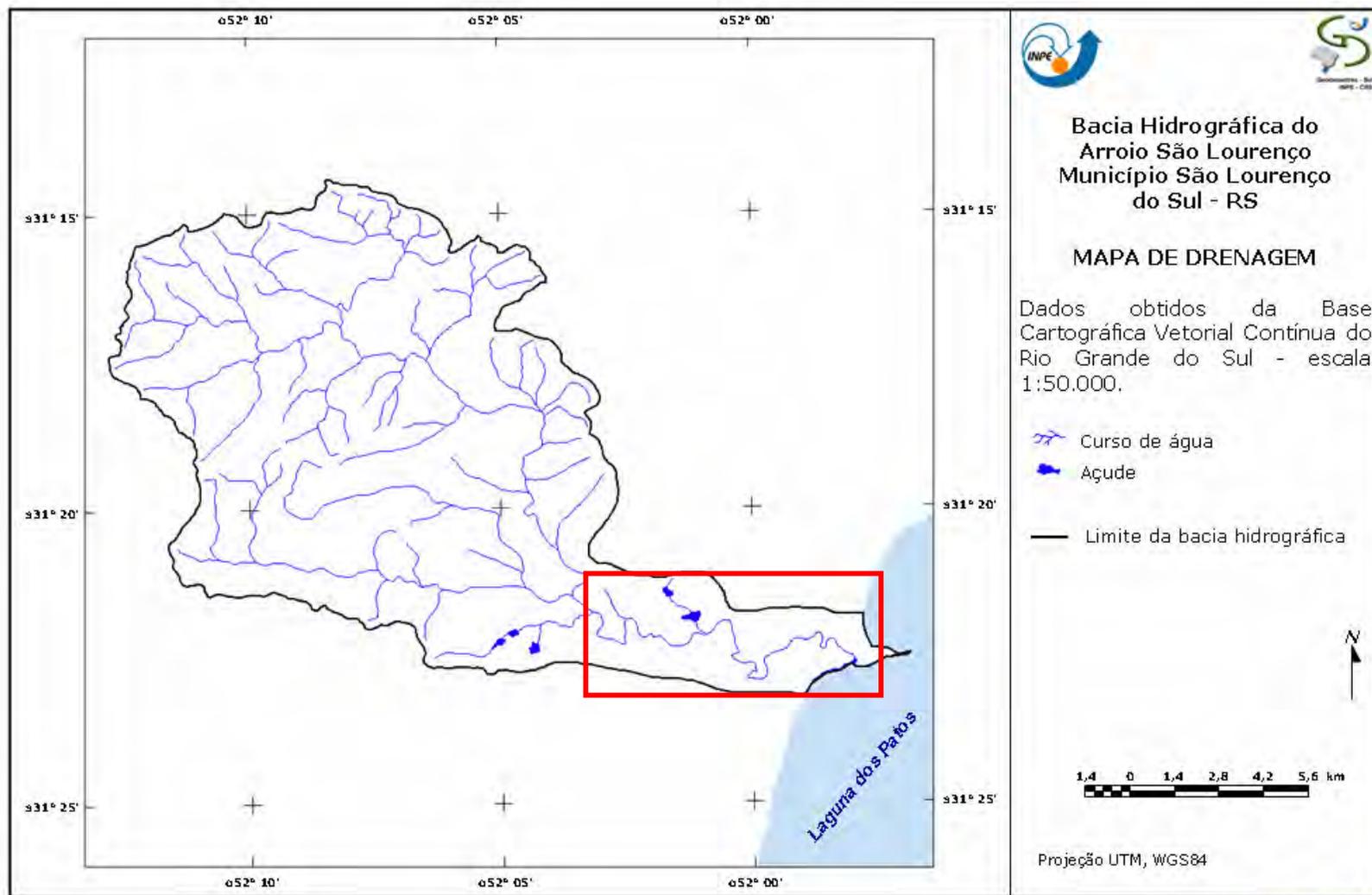


Figura 6.18 – Mapa da rede de drenagem da bacia do arroio São Lourenço, onde está salientado o seu trecho meandrante.

Observa-se também que em alguns trechos o Arroio São Lourenço provavelmente encaixa-se em fraturas já existente, sugerindo assim um controle estrutural, apresentando então um canal mais retilíneo, para logo adiante voltar a sua sinuosidade (Figura 6.19)



Figura 6.19 – Recorte de imagem CBERS2/HRC onde são salientados trechos mais retilíneos, sugerindo controle estrutural, no arroio São Lourenço.

Chama-se atenção ao fato de que em seu trecho meândrico o canal do Arroio São Lourenço apresenta vários cotovelos de drenagem, alguns formando ângulos de 90° . Estes cotovelos em geral se constituem em ponto de captura do rio, sempre em ângulo reto, indicando a direção da mudança do canal (Figuras 6.20).

Nestes trechos do canal a velocidade do escoamento da água costuma ser menor, e em momentos de grande vazão podem se tornar pontos críticos e facilitar o extravasamento desta para a planície de inundação.

De acordo com relatos o local por onde o Arroio São Lourenço começou a extravasar de seu leito e inundar a área urbana de São Lourenço do Sul, de maneira mais violenta, foi onde está localizado um destes cotovelos (seta azul).



Figura 6.20 – Recorte de imagem CBERS2/HRC do canal do arroio São Lourenço onde são salientados cotovelos em ângulo reto e o ponto por onde a água extravasou dando início a inundação na área urbana (seta azul)

6.3 - Relevo do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço

O recorte dos dados do *ASTER/GDEM* referente ao município de São Lourenço do Sul e a bacia hidrográfica do Arroio São Lourenço dá uma idéia do relevo da área de estudo (Figuras 6.21 e 6.22).

A principal característica em dados orbitais para identificar as formas de relevo é a textura, que se refere ao aspecto liso e uniforme ou rugoso dos objetos observados em uma imagem. Ela é um elemento importante na identificação das unidades de relevo, uma vez que a textura lisa corresponde a áreas de relevos planos, tais como planícies. Já a textura rugosa corresponde a áreas de relevos acidentados e dissecados pela drenagem, tais como colinas e cristas. Quanto maior a sensação de rugosidade o observador tem de uma área em uma imagem de satélite, mais acidentado é o relevo, e vice-versa.

Analisando-se as figuras mencionadas se observa que há duas áreas bem definidas no município de São Lourenço do Sul em termos de relevo:

- Uma mais para o interior, com textura rugosa, sugerindo ser mais acidentada, com a presença de relevos ondulados, a existência de vertentes convexas e com declividade mais acentuada. Este tipo de relevo favorece o transporte de material bem como facilita o escoamento das águas das chuvas. Esta área corresponde à região dos Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava do Sul e Planalto Rebaixado Marginal, ambos fazem parte da região geomorfológica Planalto Sul-Riograndense, dentro do domínio estrutural Embasamentos em Estilo Complexos;
- Outra área, com textura mais lisa, sugerindo a presença de relevos mais suaves e planos, correspondendo as Planícies Alúvio-Coluvionar e Lagunar, que fazem parte das regiões geomorfológicas Planície Continental e Planície Costeira Interna, respectivamente, estando dentro dos domínios morfoestruturais Depósitos Sedimentares;

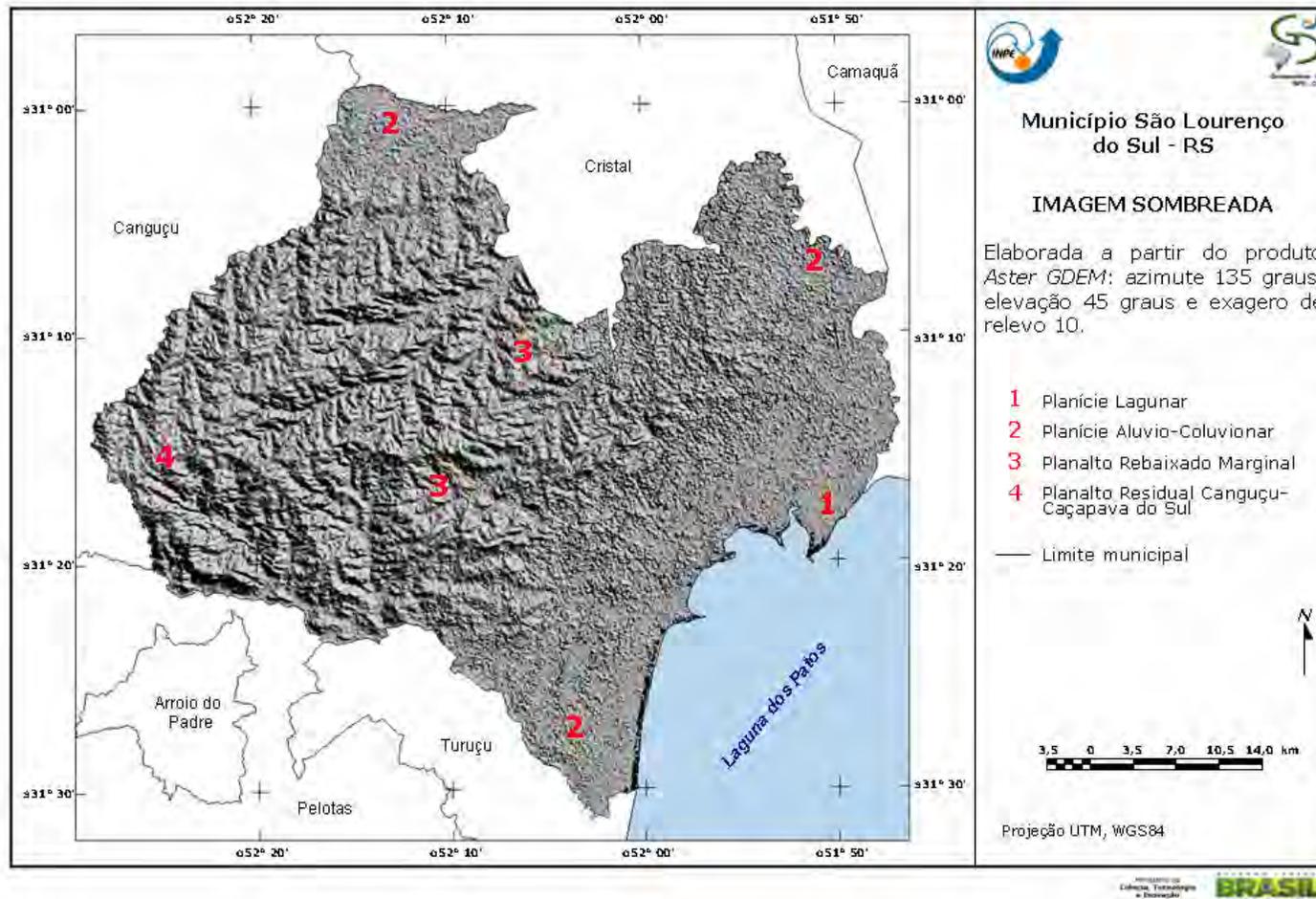


Figura 6.21 - Imagem sombreada do Município de São Lourenço do Sul gerada a partir do produto *ASTER/GDEM* utilizando como parâmetros: azimute 135°, ângulo de elevação de 45° e exagero de relevo igual a 10, onde pode ser visualizado o relevo do município de São Lourenço do Sul.

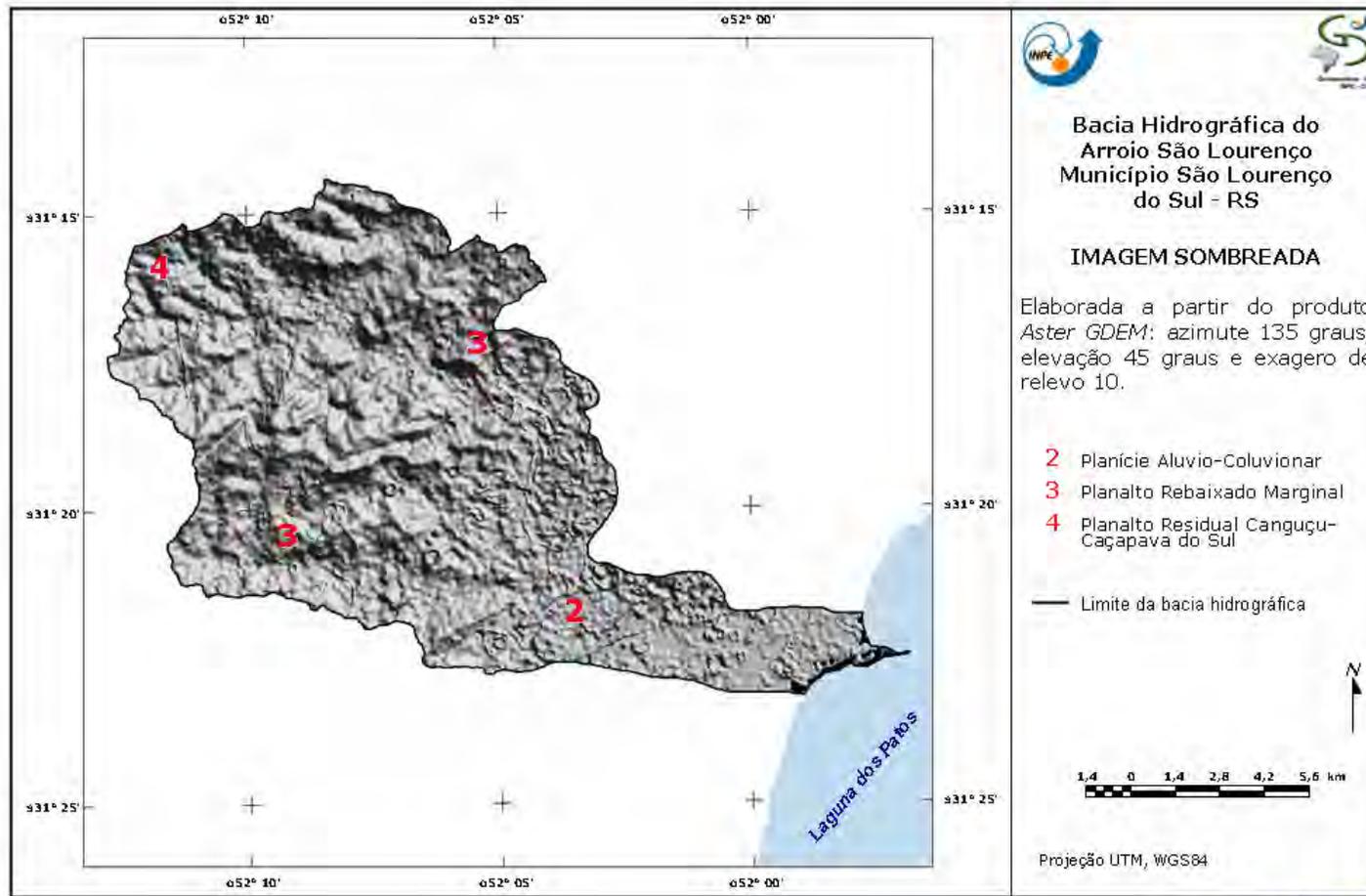


Figura 6.22 - Imagem sombreada do Município de São Lourenço do Sul gerada a partir do produto *ASTER/GDEM* utilizando como parâmetros: azimute 135°, ângulo de elevação de 45° e exagero de relevo igual a 10, onde pode ser visualizado o relevo da bacia do Arroio São Lourenço.

Observa-se também que mais da metade da bacia do Arroio São Lourenço apresenta textura rugosa, correspondendo ao relevo de planalto e ao seu curso superior e médio, já o curso inferior apresenta textura lisa, sugerindo a presença de relevos de planície, áreas favoráveis à deposição de material e de acumulação de águas.

Desta forma são encontradas quatro áreas geomorfológicas bem definidas, a saber:

- Área de ***Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul*** (4) caracterizada por dissecação fluvial que não obedece a nenhum controle estrutural, com formas de relevo de topos convexos, em geral esculpidas em rochas cristalinas e eventualmente também em sedimentos, sendo entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem. Apresenta densidade de drenagem variando de média a fina, com aprofundamento das incisões muito fraco e o grau de predisposição à erosão é médio (IBGE, 2003);
- Área de ***Planalto Rebaixado Marginal*** (3) também caracterizada por dissecação fluvial que não obedece a nenhum controle estrutural, com formas de relevo de topos convexos, em geral esculpidas em rochas cristalinas e eventualmente também em sedimentos, sendo entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem. Apresenta densidade de drenagem variando de média a fina, grau de aprofundamento das incisões variando de muito fraco a médio e o grau de predisposição a erosão varia de forte a muito forte, (IBGE, 2003).

De acordo com o mapa geológico Pelotas/Mostardas do IBGE (2003) nestas duas áreas de Planalto as rochas pertencem ao Complexo Canguçu, sendo heterogênea associação de rochas metamórficas e migmáticas, com presença de migmatitos, quartzo, quartzitos, granitos, mármores calcínicos e dolomíticos.

- Área de ***Planície Alúvio-Coluvionar*** (2) caracterizada pela presença de modelados de acumulação Coluvial ou de Enxurrada, com formas planas ou ablacada resultante da convergência de leques de espriamento ou da concentração de depósitos de

enxurradas nas partes terminais de pedimentos. O grau de predisposição a erosão destas formas varia de muito fraco a médio.

Dentro desta área de Planície Aluvio-Coluvionar são encontrados também Terraços Fluviais e Planícies Fluviais. Os primeiros são áreas de acumulação fluvial, com forma plana levemente inclinada, apresentando ruptura de declive em relação ao leito do rio e às várzeas recentes situadas em nível inferior. O grau de predisposição a erosão dos terraços é forte. Já as planícies fluviais, são áreas planas resultante de acumulação fluvial sujeita as inundações periódicas, correspondendo às várzeas atuais. O grau de predisposição a erosão das planícies é muito forte, (IBGE, 2003). Estas são áreas essencialmente de deposição de materiais provavelmente originários da região de Planalto.

A Figura 6.23 apresenta a transição do relevo de Planalto Rebaixado Marginal (A) para o de Planície Alúvio-Coluvionar (B).

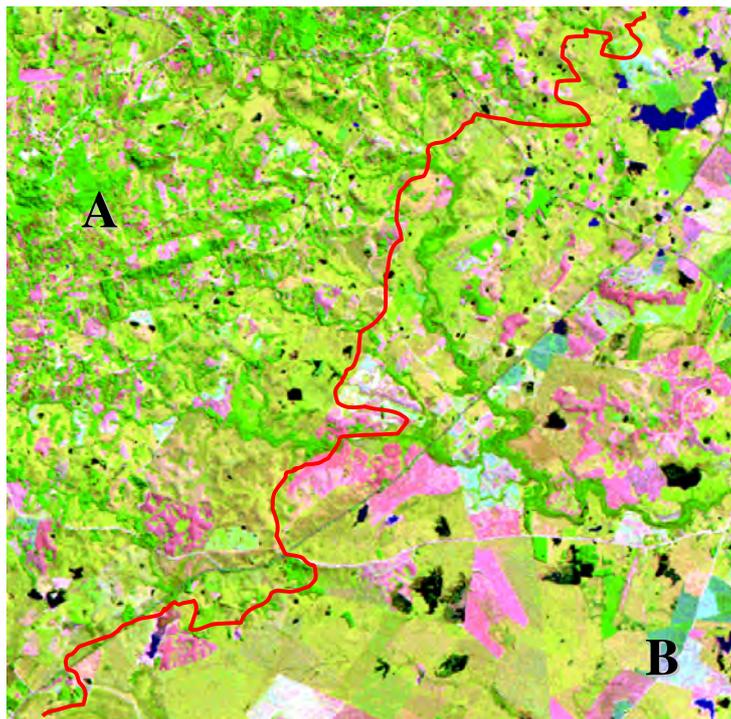


Figura 6.23 - Recorte de imagem LANDSAT5/TM onde está salientada a área de transição entre o Planalto Rebaixado Marginal (A) e a Planície Alúvio-Coluvionar (B).

De acordo com o mapa geológico Pelotas/Mostardas do IBGE (2003) na área de Planície Alúvio-Coluvionar são encontrados terrenos da Formação Graxaim, compostos de arenitos arcoseanos com fácies siltico-argilosa e areno-conglomeráticos, fracamente

consolidados, constituindo depósitos de leques aluviais. Ao longo do Rio Camaquã, são encontrados depósitos aluvionares, areias, cascalheiras e sedimentos siltico-argilosos de planícies de inundação, terraços e depósitos de calha da rede fluvial atual e subatual.

A área de *Planície Lagunar* (1) caracteriza-se pela presença dos seguintes modelados de acumulação:

- *Terraço Lacustre*, proveniente de acumulação lacustre de forma plana, levemente inclinada, apresentando ruptura de declive em relação à bacia do lago e às planícies lacustres mais recentes situadas em nível inferior, entalhada devido às variações de nível da lâmina de água provocadas por mudanças de condições de escoamento e perda por evaporação e consequente retomada de erosão. O grau de predisposição a erosão destes terraços é muito fraco;
- *Terraço Fluviolacustre*, acumulação fluviolacustre de forma plana, levemente inclinada, apresentando ruptura de declive em relação à bacia do lago e às planícies fluviolacustres mais recentes situadas em nível inferior, (IBGE, 2003). O grau de predisposição a erosão destes terraços é forte;
- *Planície Lacustre*, área plana resultante de processos de acumulação lacustre, podendo comportar diques marginais. O grau de predisposição a erosão destes terraços é muito forte;
- *Eólica dissipada*, depósitos arenosos originados pela ação do vento e posteriormente dissipados pela ação dos processos morfogenéticos pluviais. O grau de predisposição a erosão destas áreas é muito forte.

De acordo com o mapa geológico Pelotas/Mostardas do IBGE (2003) na área de Planície Lagunar são encontrados depósitos inconsolidados, areias e argilas de caráter fluviolacustre, oriundos do assoreamento de lagunas costeiras.

A Figura 6.24 apresenta a transição entre o relevo de Planície Alúvio-Coluvionar (A) para o de Planície Lacustre (B).

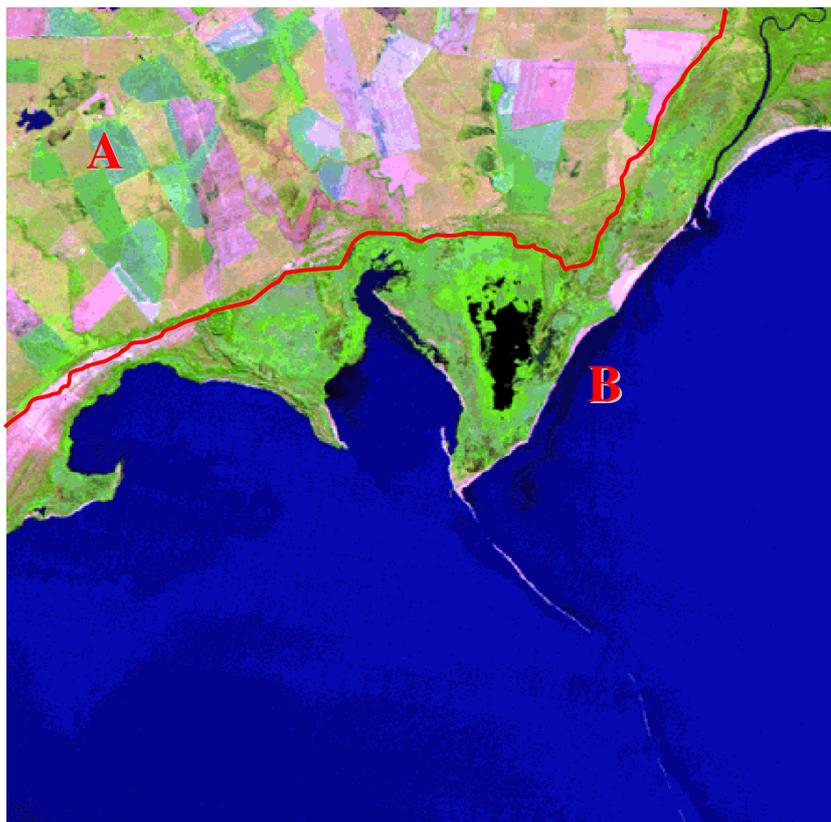


Figura 6.24 - Recorte de imagem LANDSAT5/TM onde está salientada a área de transição entre o relevo de Planície Alúvio-Coluvionar (A) e o de Planície Lacustre (B).

Foi feito também uma fusão de imagem LANDSAT5/TM e o ASTER/GDEM, para realçar o relevo destas duas áreas (Figuras 6.25 e 6.26), onde nas cores azul e lilás está salientada a região de Planaltos no município e em verde a área de Planícies. Nestas figuras se observa que a maior parte da bacia do arroio São Lourenço está compreendida pelos relevos do Planalto Rebaixado Marginal e Planície Aluvio-Coluvionar.

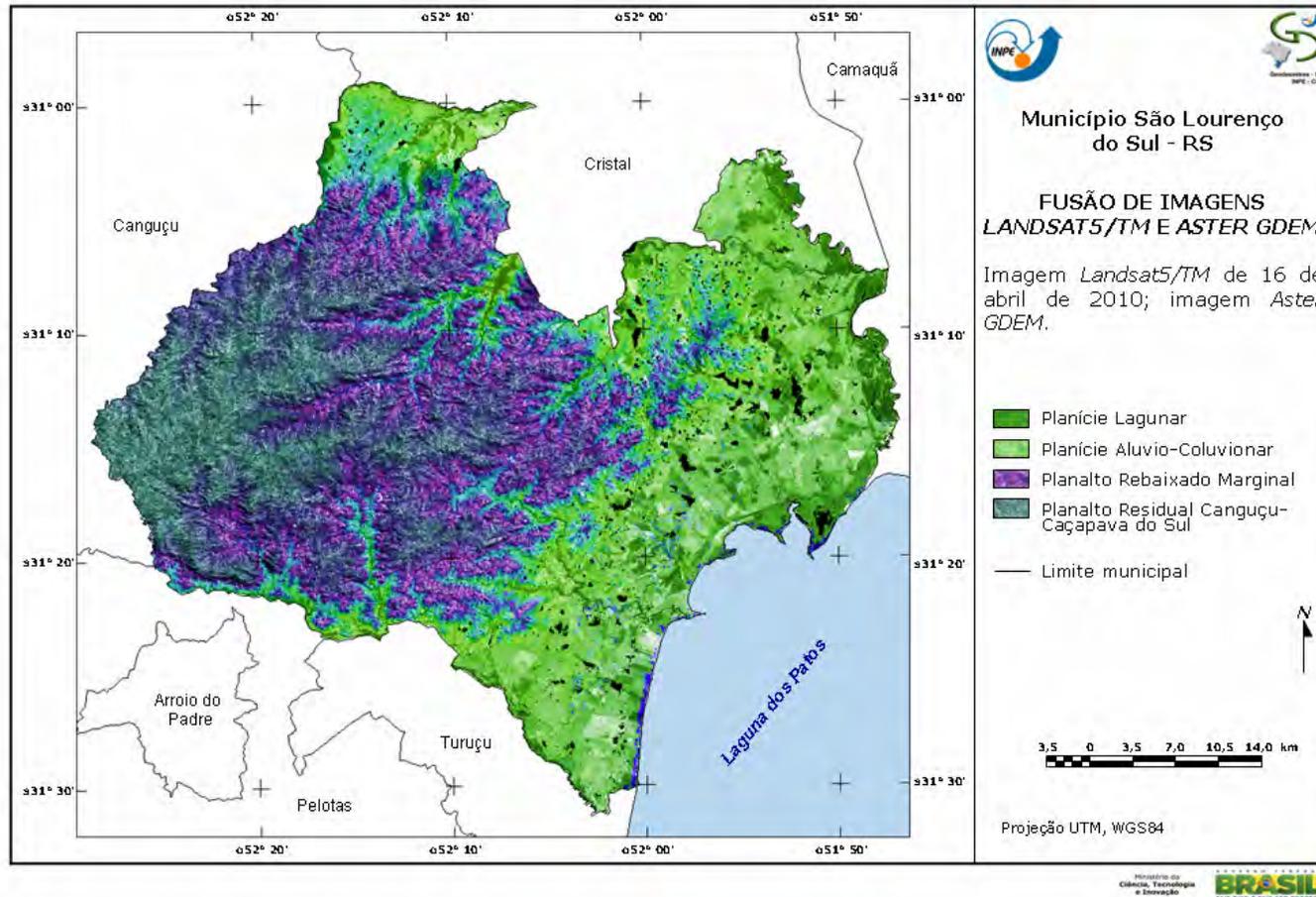


Figura 6.25 - Fusão de imagens LANDSAT5/TM com o produto ASTER/GDEM onde está realçada em tons de cinza a área de Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul, em lilás o Planalto Rebaixado Marginal e em verde as áreas de Planícies Alúvio-Coluvionar e Lagunar, no município de São Lourenço do Sul.

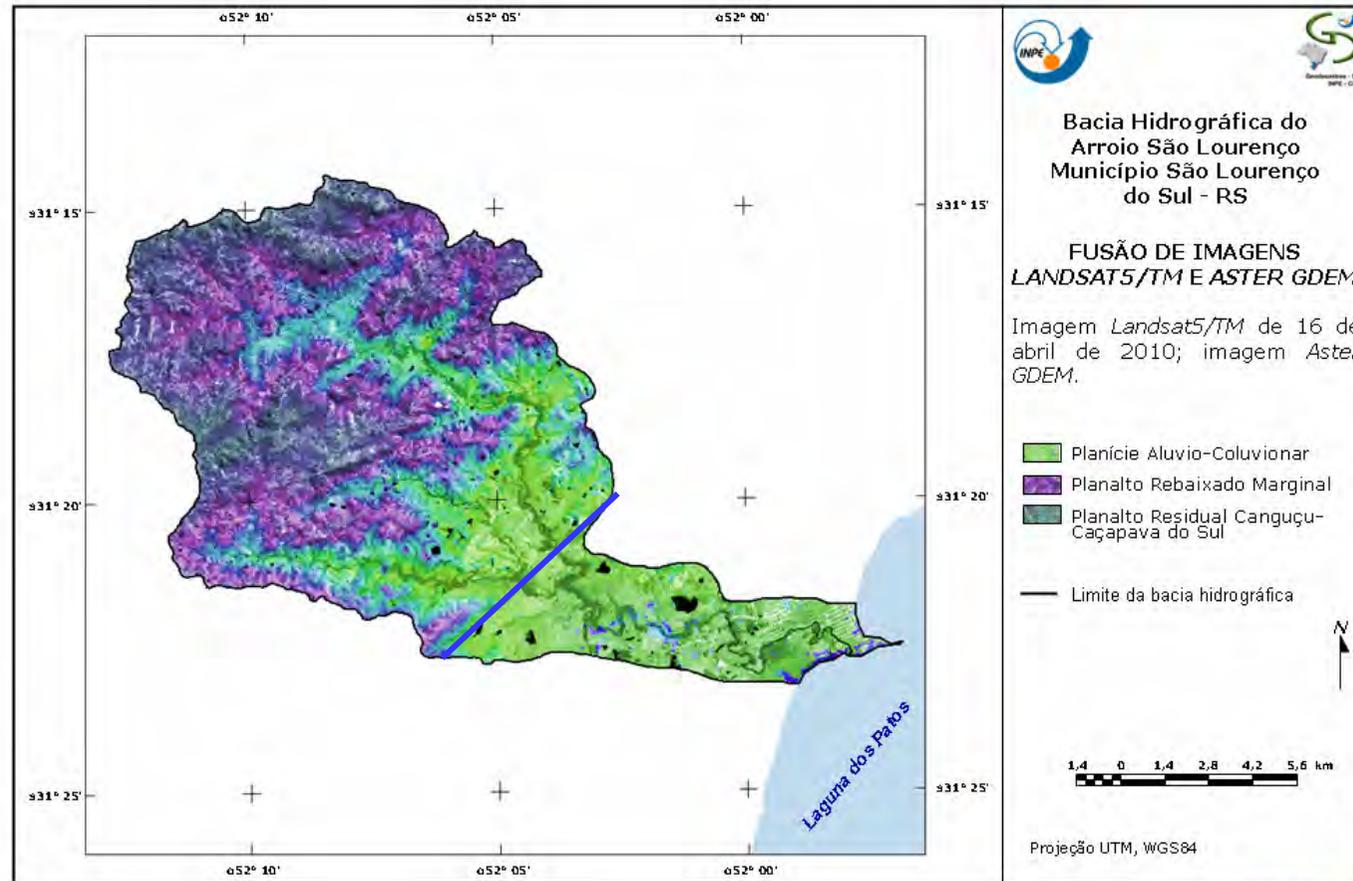


Figura 6.26 - Fusão de imagens LANDSAT5/TM com o produto ASTER/GDEM onde está realçado em tons de cinza a área de Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul, em lilás o Planalto Rebaixado Marginal e em verde as áreas de Planícies Alúvio-Coluvionar na bacia do arroio São Lourenço, com a BR116 salientada pela linha azul.

A Figura 6.27 é um recorte da imagem LANDSAT5/TM de 2010, onde é possível ver que a Rodovia BR116 foi construída na área de transição entre o Planalto Rebaixado Marginal e a Planície Aluvio-Coluvionar, isto é, no limite entre uma área cujos relevos favorecem o escoamento superficial e outra, em que estes favorecem a acumulação das águas. Neste local é onde está localizada a ponte do Passo do Pinto que foi totalmente destruída pela enxurrada, depois de ter servido como uma barreira para o grande volume de água trazida pelo arroio desde o seu curso superior.

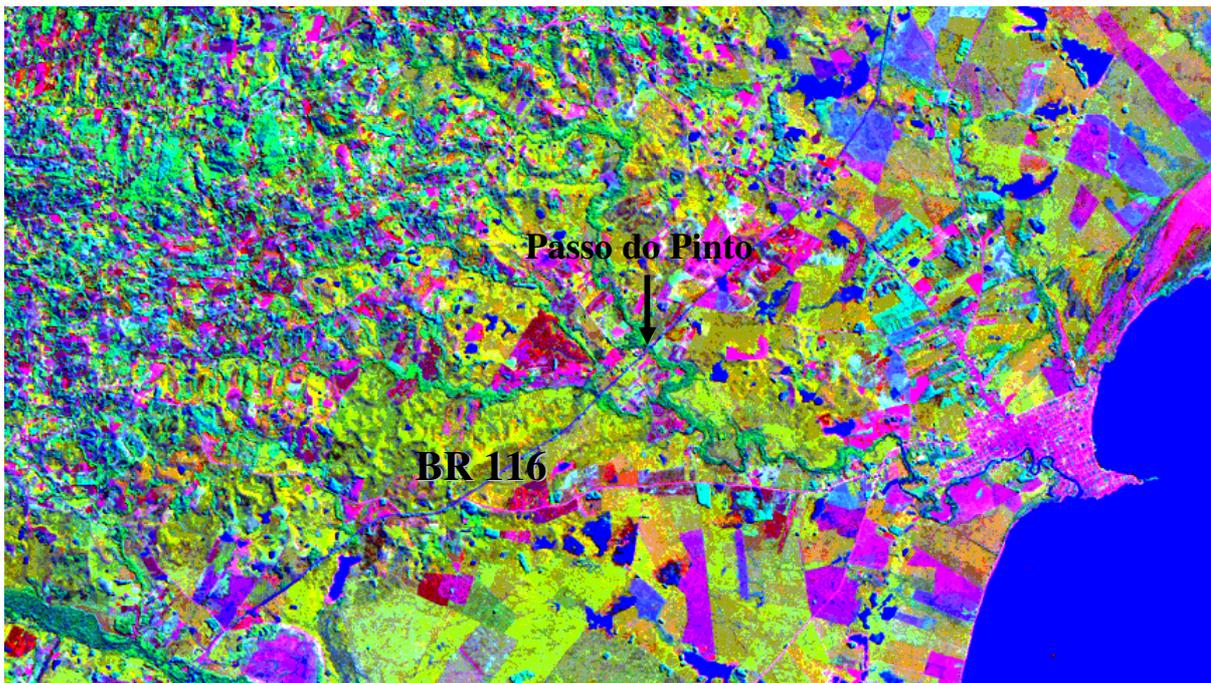


Figura 6.27 - Recorte de imagem LANDSAT5/TM de 2010, onde se observa o traçado da rodovia BR116, na área de transição entre o Planalto rebaixado Marginal e a Planície Aluvio-Coluvionar.

Utilizando os dados ASTER /GDEM e o software GLOBALMAPPER foi possível ter uma visão mais detalhada das altitudes que ocorrem na bacia do Arroio São Lourenço, dando assim uma idéia dos gradientes aí encontrados. Para tal foi feito um mapa hipsométrico do município de São Lourenço do Sul e um da bacia do Arroio São Lourenço (Figuras 6.28 e 6.29).

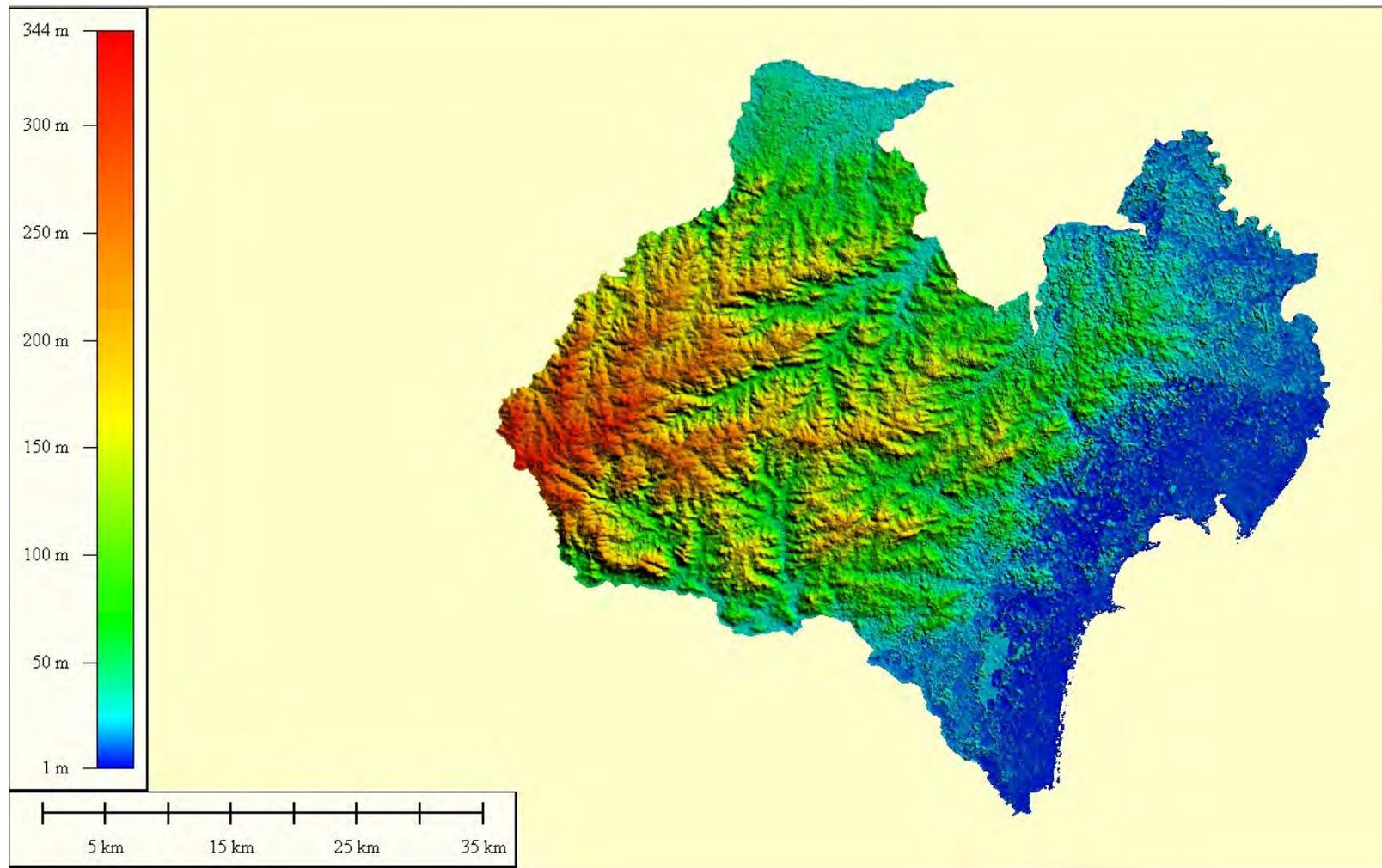


Figura 6.28 - Mapa hipsométrico do município de São Lourenço do Sul a partir de dados ASTER /GDEM.

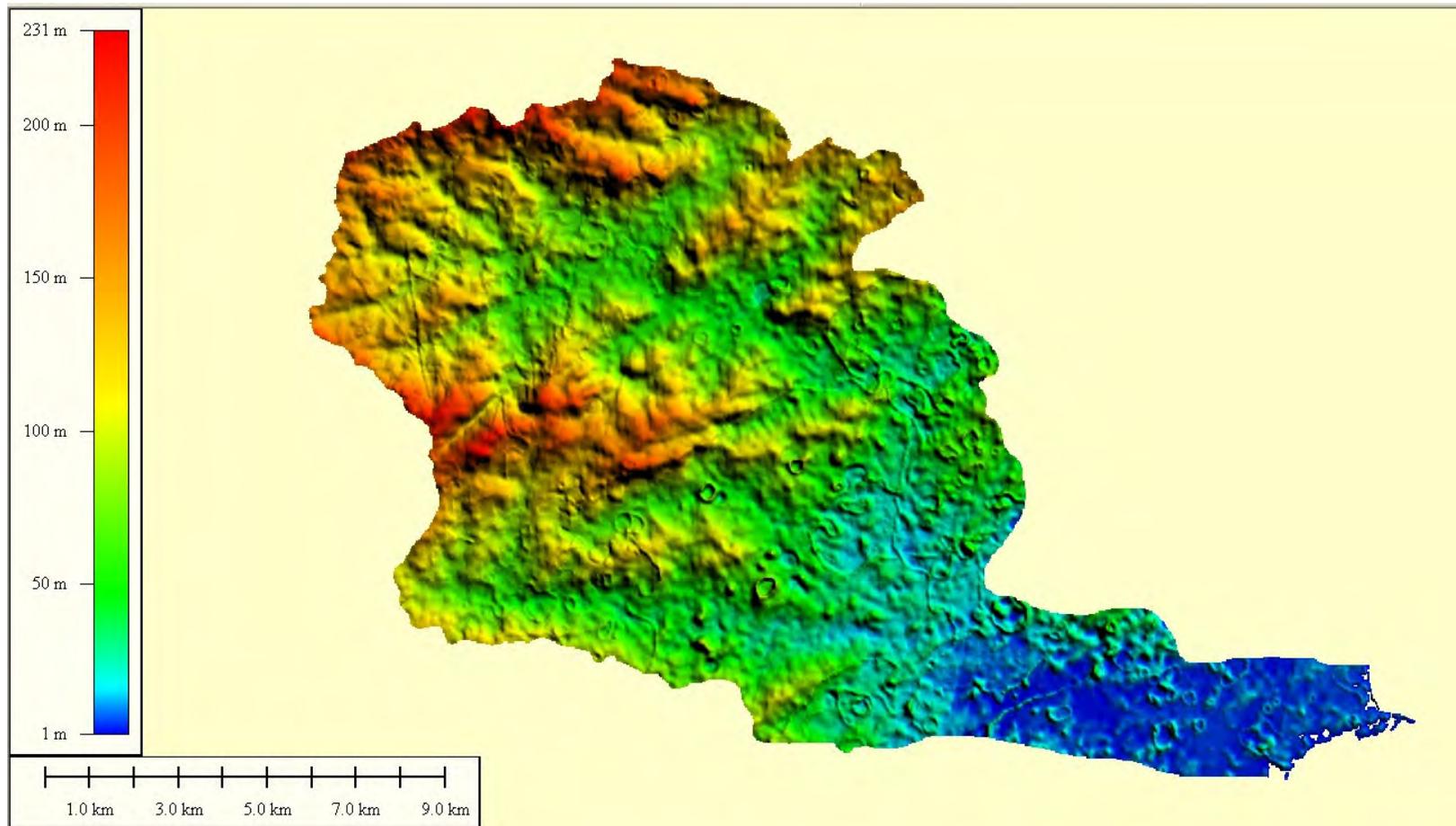


Figura 6.29 - Mapa hipsométrico da bacia do Arroio São Lourenço a partir de dados ASTER /GDEM.

Analisando-se o mapa hipsométrico do município de São Lourenço do Sul tem-se que as maiores altitudes estão localizadas no Planalto Residual Canguçu-Caçapava do Sul no limite com o município de Canguçu. Nesta área as altitudes estão entre 344 e 250 metros. Na área de Planalto Rebaixado Marginal as altitudes variam de 250 a 50 metros, e nas áreas de Planície Aluvio-Coluvionar e na Planície Lagunar as altitudes variam de 50 a 1 metro.

É na área de Planaltos, onde estão os maiores gradientes de altitude e onde estão também às cabeceiras dos cursos de água, sendo que boa parte deles se dirigem à zona de Planícies. As grandes diferenças de gradiente favorecem o transporte de materiais e o escoamento superficial.

A maior parte das áreas de Planícies apresenta altitudes entre 20 e 10 metros, porém pode-se observar no mapa, que há uma espécie de arco de baixas altitudes nestas áreas, voltado em direção a Laguna dos Patos. É aqui também onde estão os menores gradientes de altitudes, sendo, portanto favorável à deposição de materiais e de águas.

Analisando-se a Figura 6.29 nota-se que há uma grande diferença de altitude entre as cabeceiras do Arroio São Lourenço, correspondendo ao seu curso superior, e os trechos referentes aos cursos médio e inferior, sugerindo assim gradientes de altitude acentuados na bacia.

As cabeceiras dos cursos de água estão em altitudes em torno de 231 a 200 metros, mais adiante, no médio curso, a bacia apresenta altitudes que variam de 150 a 100 metros. Já próximo a BR116 as altitudes estão em torno de 30 metros, para finalizar entre 10 e 1 metro na área de Planície Aluvio-Coluvionar, onde o canal do arroio São Lourenço meandra, e onde está localizada a área urbana.

Esta variação de altitudes mostra a grande diferença de gradiente entre as cabeceiras e o baixo curso, sendo que isto faz com que as precipitações que ocorrem nas cabeceiras rapidamente são escoadas para o médio curso, em geral com muita força, na forma de turbilhão e com grande poder de transporte, indo depositar-se no baixo curso onde o gradiente do canal é bastante pequeno. Isto é salientado pela própria forma do canal, meândrica, típico de áreas de planície com gradientes pouco significativos.

Vale lembrar que foi exatamente nas áreas que apresentam os maiores gradientes de altitudes onde ocorreram as precipitações concentradas, na madrugada do dia 9 para 10 de

março, que acabaram dando origem ao evento de inundação na bacia do Arroio São Lourenço.

As Figuras 6.30, 6.31 e 6.32 apresentam os perfis longitudinais da bacia do Arroio São Lourenço.

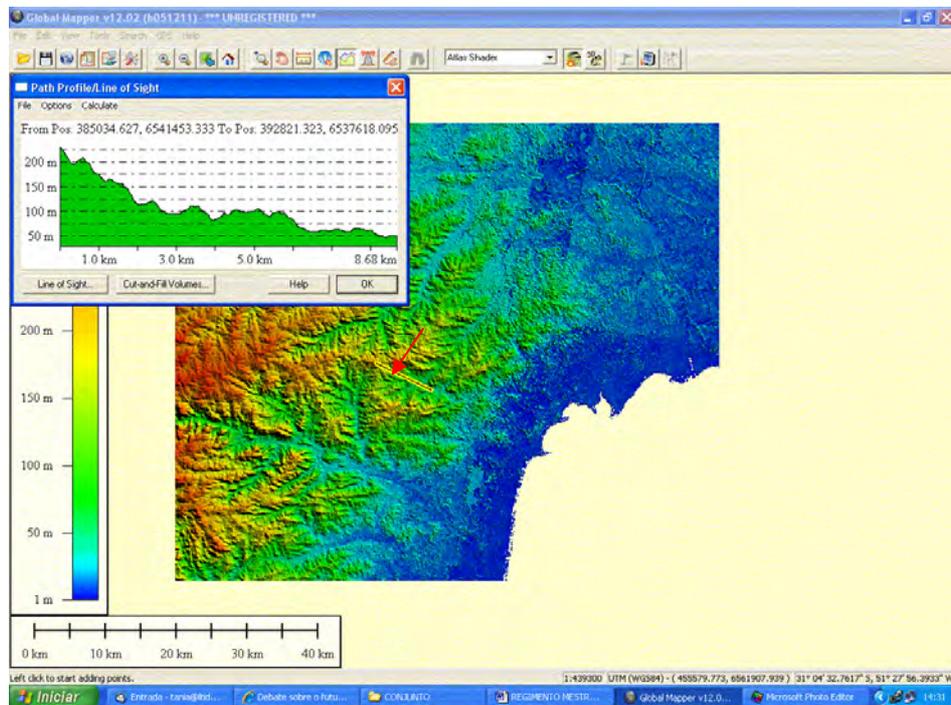


Figura 6.30 - Perfil longitudinal na extensão da bacia do arroio São Lourenço, mostrando que o gradiente varia de mais de 200m na cabeceira até menos 50m no início do médio curso.

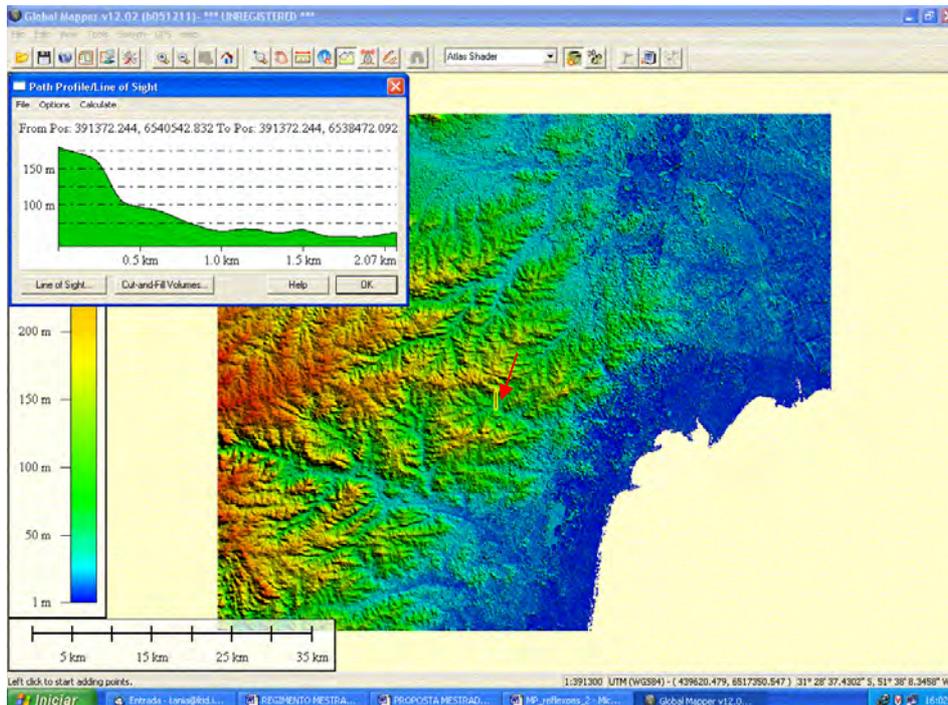


Figura 6.31 - Perfil longitudinal na margem esquerda da bacia do Arroio São Lourenço, onde na borda da bacia o relevo apresenta uma altitude de 150m e próximo ao canal a altitude é abaixo de 50m.

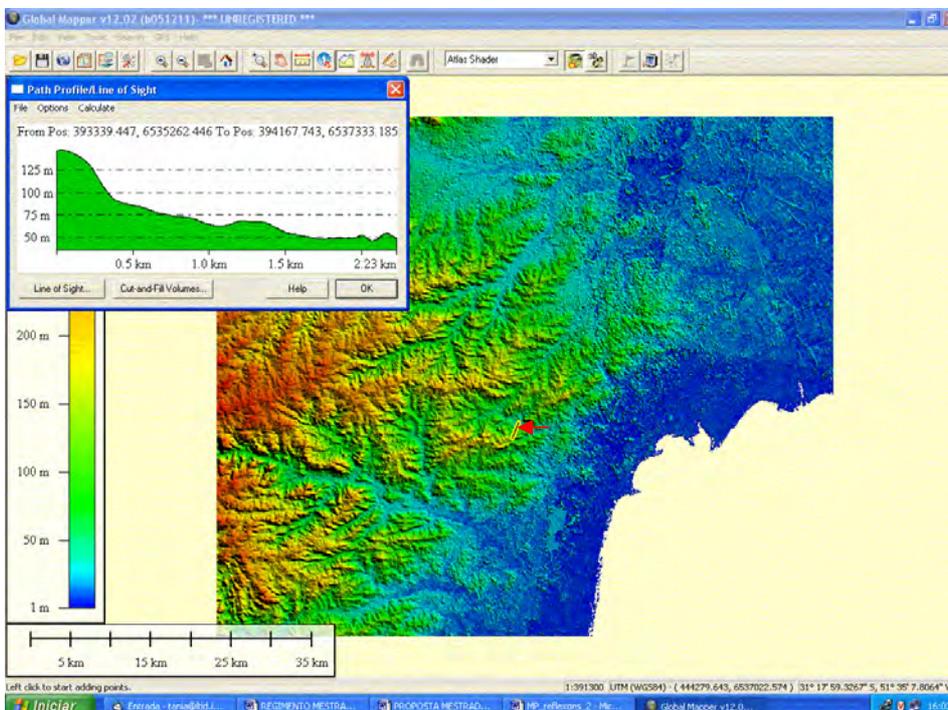


Figura 6.32 - Perfil longitudinal na margem direita da bacia do Arroio São Lourenço, onde na borda da bacia o relevo apresenta uma altitude acima de 125m e próximo ao canal a altitude é em torno de 50m.

6.4 - Mapa de Declividade do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço

Para os mapas de declividade do município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço, foi adotado a classificação da EMBRAPA, 1999. As Figuras 6.33 e 6.34 apresentam os mapas de declividade do município e da bacia respectivamente.

Analisando-se o mapa de declividade do município de São Lourenço do Sul observa-se que na região de planalto predomina as declividades variando de 3 a 45%, referentes a:

- ***Relevo suave-ondulado (3 a 8%)***-correspondendo à superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50m e de 50 a 100 m) apresentando declives suaves. Esta é a classe que predomina em toda a porção de planalto. Na porção oeste do município, no limite com o município de Canguçu, correspondendo principalmente a região de topo de Planalto, que funciona como divisor de águas entre as bacias de drenagem que correm em direção ao mencionado município e as que correm em direção aos municípios de Cristal, São Lourenço do Sul, Turuçu e Pelotas. Em outros trechos do município refere-se as partes da planície alúvio-colúvio.
- ***Relevo ondulado (8 a 20%)***-correspondendo á superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros, apresentando declives moderados;
- ***Relevo forte-ondulado (20 a 45%)***-correspondendo á superfície de topografia movimentada, formada por outeiros ou morros (elevações de 50 a 100m e de 100 a 200m de altitudes relativas) e raramente colinas, com declives fortes.

Já na região de planície predomina as declividades variando de 0 a 8% correspondendo a ***Relevo plano (0 a 3%)*** e ***Relevo suave ondulado (3 a 8%)***, com predomínio da primeira. Porções do município no limite com os municípios de Canguçu e

Cristal, que correspondem às áreas de planície alúvio-coluvionar também apresentam este mesmo tipo de declividade.

Nas declividades de 0 a 5% há a predominância de áreas com declives suaves, onde na maior parte dos solos, *o escoamento superficial é lento ou médio e a erosão hídrica não oferece maiores problemas*. Estas declividades são utilizadas internacionalmente como limite urbano-industrial, este limite é utilizado também pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e da Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo S. A. (EMPLASA) para estudos de planejamento urbano. São áreas favoráveis à ocupação e usos diversos, com exceção daquelas definidas como áreas de preservação e com risco de inundação.

A área urbana de São Lourenço do Sul em sua maior parte está localizada em declividades que variam de 0% a 3% e muito próximo ou em áreas sujeitas a inundação, provocadas pelo Arroio São Lourenço ou pela Laguna dos Patos.

Áreas com declividades variando de **5 – 10%** em geral apresentam pouca restrição de uso e ocupação, exigindo práticas simples de conservação do solo, apresentam a predominância de trechos com superfícies inclinadas, geralmente com relevo ondulado, nos quais o escoamento superficial, para a maior parte dos solos, é médio ou rápido. Em alguns casos, a erosão hídrica oferece pequenos problemas que podem ser controlados com práticas simples, porém na maioria das vezes, práticas complexas de conservação do solo são necessárias para que terras com esse declive possam ser cultivadas intensivamente.

Em áreas com declives entre **10% e 15%** a predominância de áreas inclinadas ou colinosas, onde o escoamento superficial é rápido na maior parte dos solos. Nestes trechos a maior parte das máquinas agrícolas pode ser usada. Esta faixa define o limite máximo do emprego da mecanização na agricultura. Os solos desta classe de declividade são facilmente erodíveis. São recomendadas e necessárias práticas de conservação do solo.

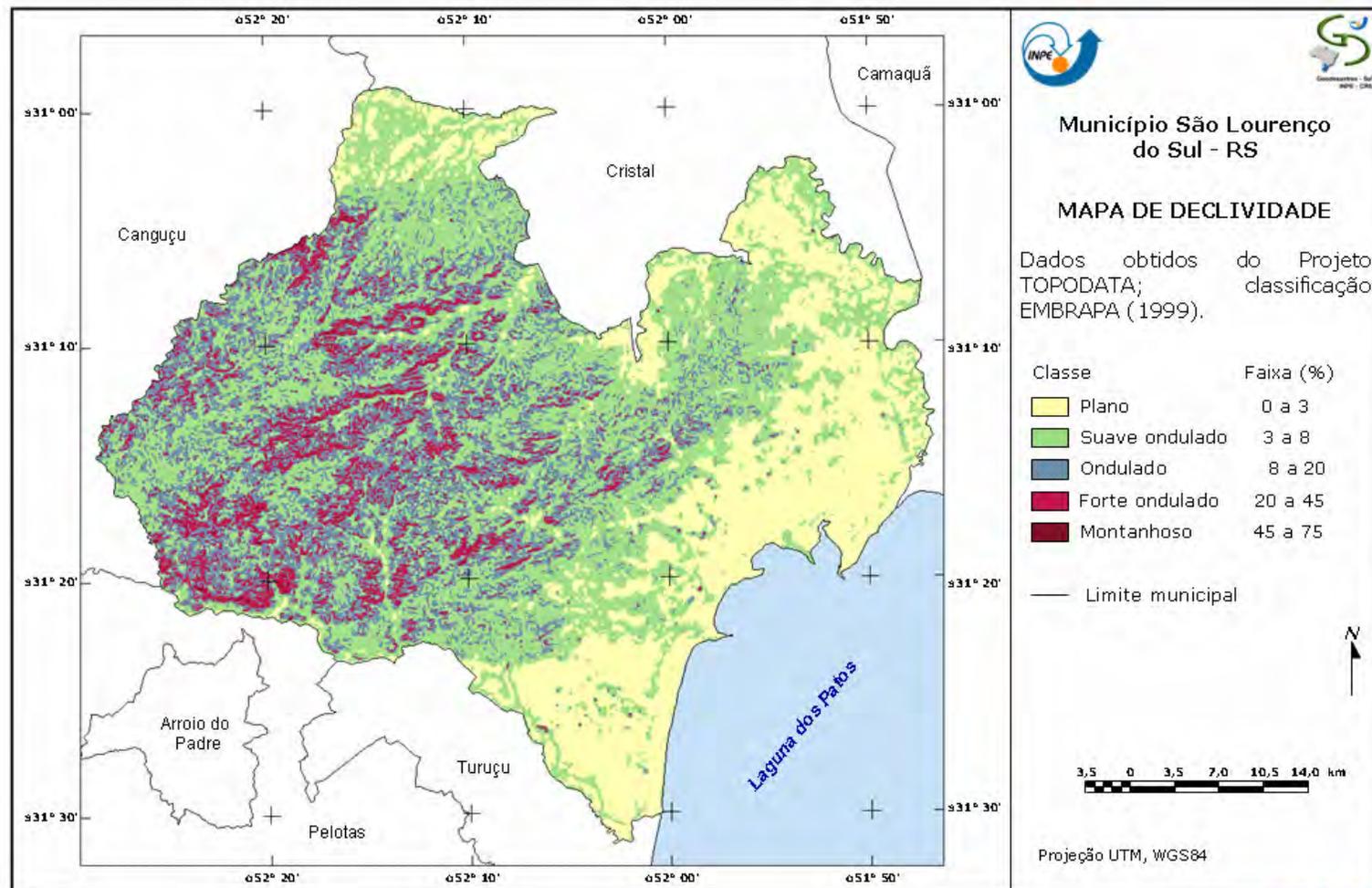


Figura 6.33 – Mapa de declividade do município de São Lourenço do Sul gerado a partir de dados obtidos no projeto TOPODATA

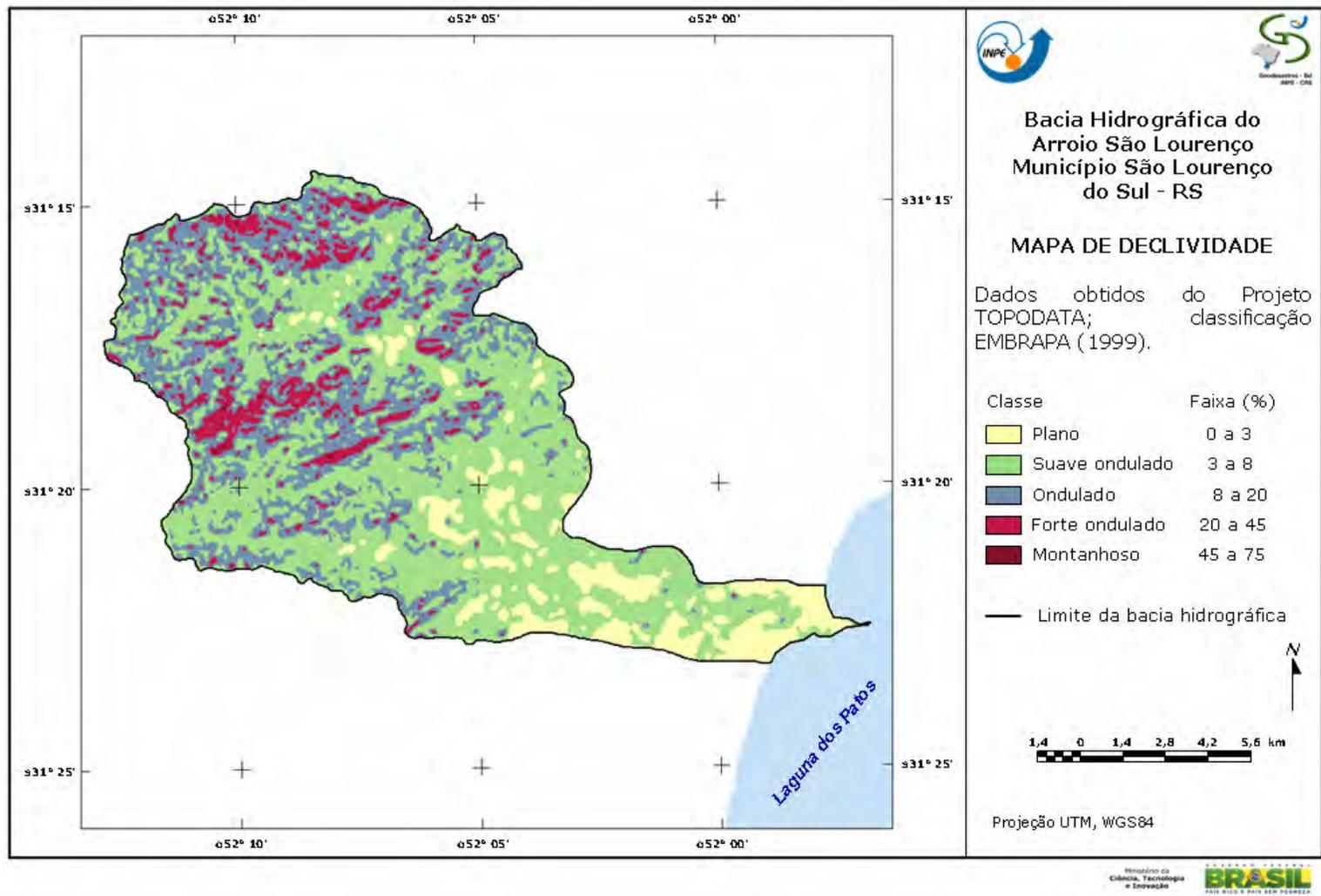


Figura 6.34 – Mapa de declividade da bacia do arroio São Lourenço gerado a partir de dados obtidos no projeto TOPODATA

Nas declividades entre **15% e 30%** há uma predominância de áreas inclinadas a fortemente inclinadas, cujo escoamento superficial é rápido a muito rápido na maior parte dos solos. Estes solos podem ser trabalhados mecanicamente apenas em curvas de nível por máquinas simples de tração animal ou com limitações. Não é recomendável a prática de agricultura intensiva, estas terras são mais indicadas para pastagem natural e/ou silvicultura. O limite de 30% é definido como o limite máximo para urbanização sem restrições, a partir do qual toda e qualquer forma de parcelamento far-se-á através de exigências específicas (De Biasi,).

Já em áreas de **declives entre 30% e 45%** há o predomínio de áreas fortemente inclinadas, cujo escoamento superficial é muito rápido. Os solos podem ser trabalhados mecanicamente somente por máquinas simples de tração animal, assim mesmo com sérias limitações. Estas terras são impróprias para a agricultura e restritas para pastagem, o uso mais indicado é a silvicultura.

Em terrenos onde os **declives são maiores que 45%** predominam áreas íngremes, de regiões montanhosas, onde nenhum tipo de máquina agrícola pode ser utilizado. O escoamento superficial é sempre muito rápido e os solos, extremamente suscetíveis à erosão hídrica. Não podem ser trabalhados mecanicamente, nem mesmo pelas máquinas simples de tração animal são trabalháveis apenas com instrumentos e ferramentas manuais. Este tipo de terrenos é inadequado para o uso agrícola.

O curso superior do arroio São Lourenço está em áreas de declividade que variam de 3% a 45%, sendo que as declividades menores em geral correspondem aos canais dos rios ou topos de morro e as maiores estão em áreas de divisores de água. Já no curso inferior há um predomínio da classe de declividade 0% a 3% , correspondendo a relevo plano.

Para caracterizar melhor o predomínio de cada classe de declividade na bacia do arroio São Lourenço, foi feito o cálculo de área (km²) para cada uma delas:

- 0% - 3 %-relevo plano: 27.27, áreas onde em geral quase não ocorre escoamento superficial, havendo predomínio de deposição das águas;
- 3% - 8%-relevo suave ondulado: 73.68, áreas onde o escoamento superficial é médio ou rápido;
- 8%-20%-relevo ondulado: 79.47, áreas onde o escoamento superficial é rápido a muito rápido;

- 20%-45%-relevo forte ondulado: 7.61, áreas onde o escoamento superficial é muito rápido;
- 45%-75%-relevo montanhoso: 0.08, áreas onde o escoamento superficial é sempre muito rápido.

Assim, observa-se que na bacia do Arroio São Lourenço 42% da área é formada por terrenos com declividades entre 8% a 20%, com escoamento superficial variando de rápido a muito rápido, 39% corresponde a terrenos com declividade entre 3% a 8%, onde ocorre escoamento superficial médio ou rápido e 14,50% corresponde a declividades entre 0% a 3%, onde praticamente não ocorre escoamento superficial.

6.5 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço

Analisando-se as imagens LANDSAT5/TM para os anos de 1995 e 2010 foi possível fazer mapas de uso e cobertura do solo do município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço para estes dois anos possibilitando assim uma comparação entre eles. As Figuras 6.35 e 6.36 apresentam os mapas referentes ao município de São Lourenço do Sul.

Fazendo uma análise dos mapas de uso e cobertura do solo de 1995 e 2010, se observa que algumas classes apresentaram mudanças significativas neste período de 15 anos, tais como a classe Agropecuária, que reduziu de tamanho e a classe Solo que aumentou sua área. Outras apresentaram mudanças, porém muito sutis, tais como as classes Floresta, Agricultura e Cidade. Já as classes Formação pioneira com influencia fluvial e/ou lacustre, Banhado, Areia/vegetação, Areia e Água, também permaneceram sem grandes alterações e estas não devem ter tido influência significativa no episódio de inundação.

A Tabela 6.3 apresenta as medidas de classes de uso e cobertura do solo para os anos de 1995 e 2010 para o município de São Lourenço do Sul.

Tabela 6.3 - Medidas de classes de uso e cobertura do solo do Município de São Lourenço do Sul para os anos de 1995 e 2010.

Classes de uso e cobertura do solo	Município 1995		Município 2010	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Floresta	491,03	24,09	533,32	26,18
Formação pioneira com influencia fluvial e/ou lacustre	28,97	1,42	31,54	1,55
Banhado	7,46	0,37	13,64	0,67
Agropecuária	1317,52	64,64	879,15	43,15
Agricultura	114,00	5,59	118,98	5,84
Solo	40,12	1,97	423,50	20,79
Cidade	4,92	0,24	6,72	0,33
Areia/vegetação	2,19	0,11	2,08	0,10
Areia	4,46	0,22	4,32	0,21
Água	27,45	1,35	24,18	1,19
TOTAL	2038,11	100,00	2037,45	100,00

 Aumento da área entre 1995 e 2010

 Não houve mudanças na área entre 1995 e 2010

 Diminuição da área entre 1995 e 2010

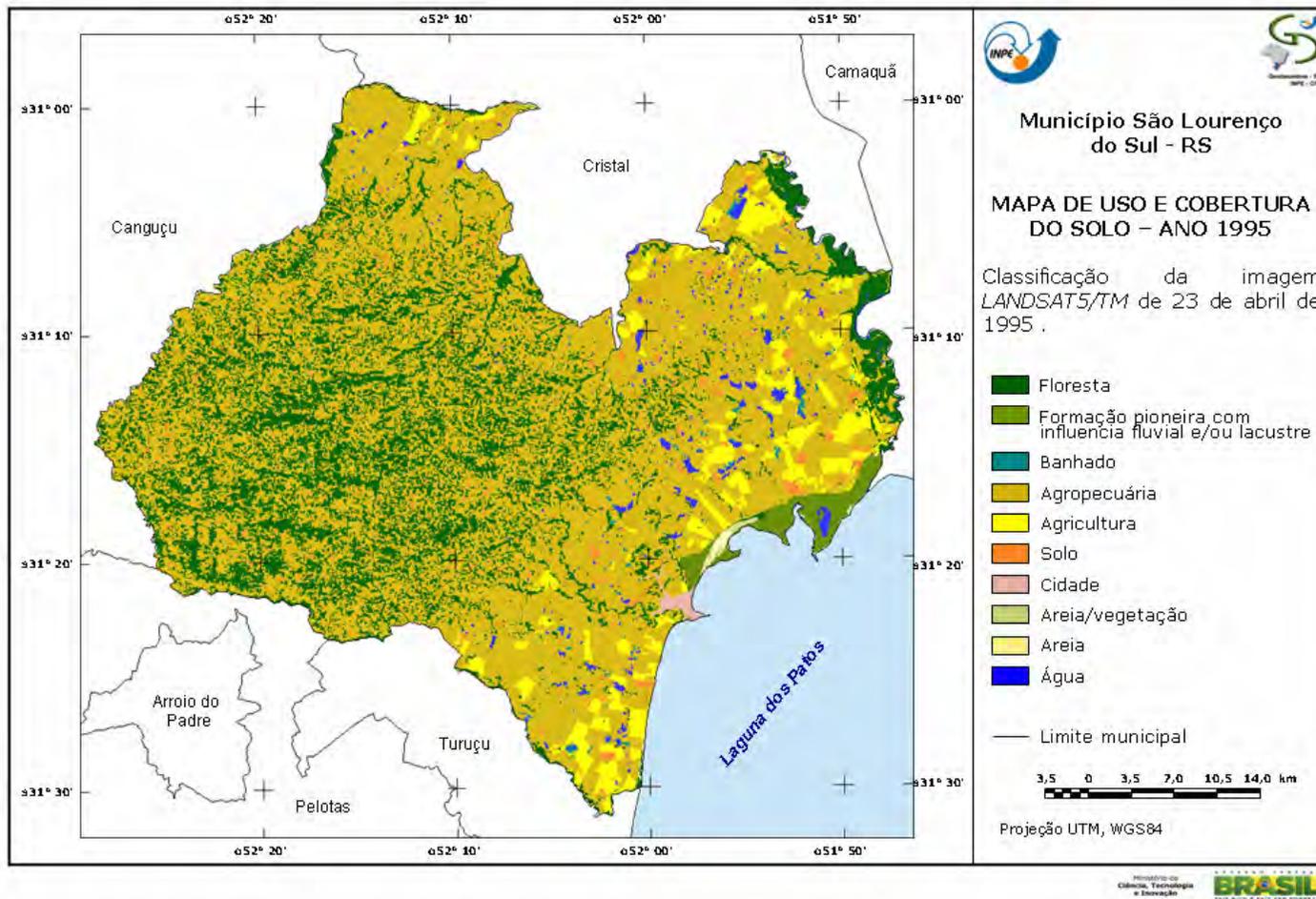


Figura 6.35 – Mapa de uso e cobertura do solo do município de São Lourenço do Sul correspondente a imagem LANDSAT 5/TM de 23 de abril de 1995

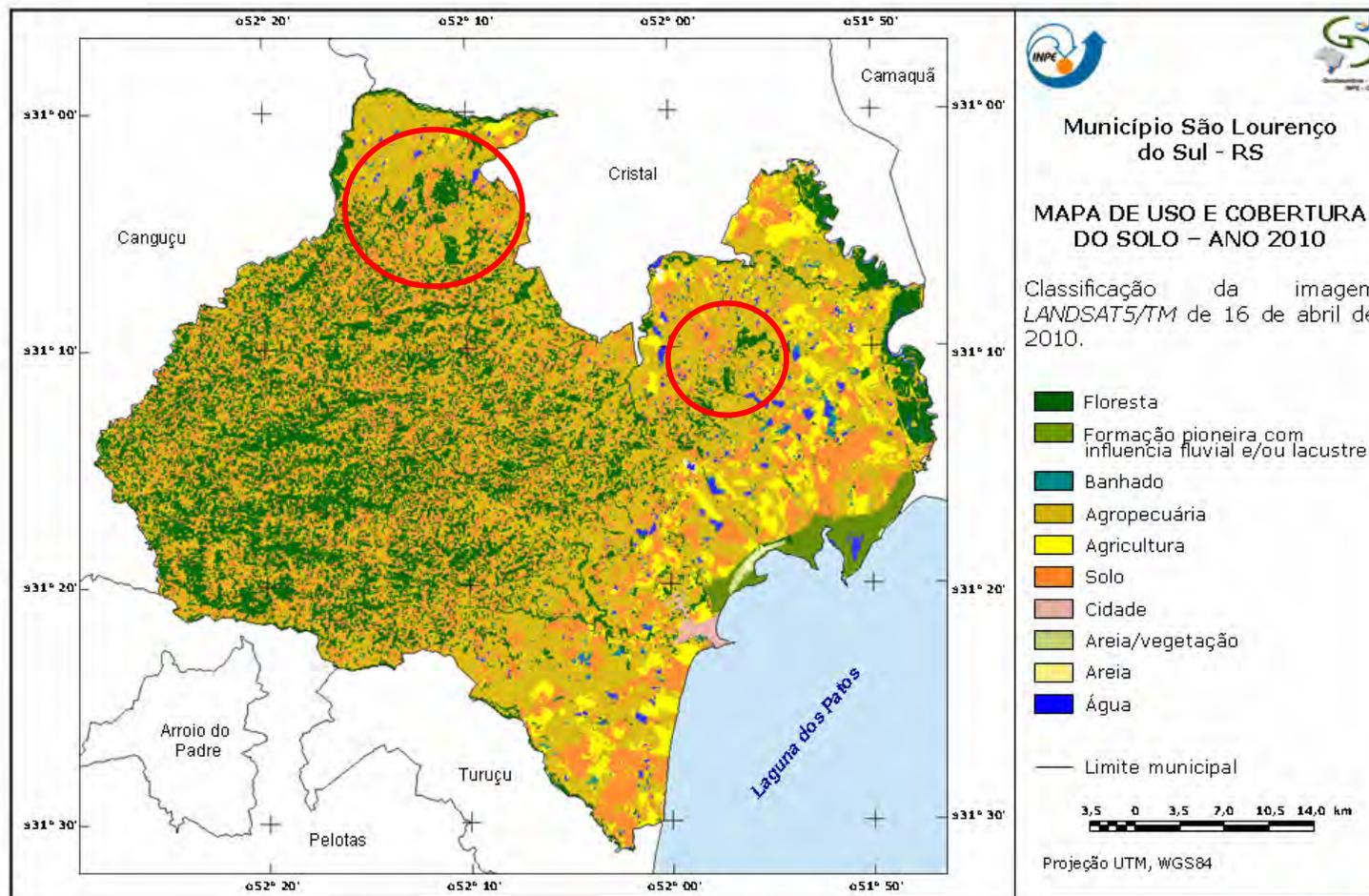


Figura 6.36 – Mapa de uso e cobertura do solo do município de São Lourenço do Sul correspondente à imagem LANDSAT 5/TM de 16 de abril de 2010.

A classe Florestas ocorre principalmente nas áreas de Planalto e ao longo da faixa de meandros do rio Camaquã. Ela aparece também ao longo do canal do Arroio São Lourenço e de outros arroios do município.

No mapa correspondente ao ano de 2010 observa-se que houve um aumento nas áreas de florestas (2,09%) em todo o município, se comparado com 1995, com exceção de alguns trechos na faixa de meandro onde ocorreu desmatamento. Observa-se também a presença de áreas de reflorestamento, que estão salientadas na Figura 6.36 por um círculo vermelho.

Com relação à classe Agropecuária (mixto de áreas agrícolas e pecuária) ela ocupa a maior parte do município, sendo a classe mais expressiva em área tanto em 1995 como em 2010. Porém houve uma redução significativa desta classe de 1995 para 2010 (21,49%).

Nesta classe as áreas agrícolas apresentam em sua maioria parcelas de pequeno tamanho e intercaladas com área de pasto onde é desenvolvida a pecuária. São dois tipos de uso do solo que ocorrem de forma conjugada, sendo um pouco difícil separar uma da outra nas imagens de satélite.

A classe Agricultura refere-se às áreas agrícolas com parcelas de grande tamanho e que podem ser mais facilmente caracterizadas como áreas dedicadas apenas a agricultura, nas imagens de satélite. Tanto no mapa de 1995 como no de 2010 ela ocorre principalmente na área de Planície Aluvio-Coluvionar, onde as declividades não ultrapassam os 8%, sendo, portanto bastante adequada para este tipo de uso do solo. Estas áreas foram facilmente identificadas devido ao seu tamanho e pelo fato do solo não estar totalmente coberto pela vegetação, já que as duas imagens são do mês de abril, período correspondente à época de plantio da batata e feijão, colheita do arroz, milho e soja, sendo que o fumo já está em fase de comercialização. Estes são os principais produtos agrícolas produzidos pelo município. A área ocupada por esta classe apresentou um aumento de apenas 0,25% entre os anos de 1995 e 2010, permanecendo praticamente igual.

Já a classe Solo, corresponde às áreas de solo exposto/solo preparado/solo em pousio. Observa-se que em 1995 esta classe aparece exclusivamente em alguns trechos da Planície Aluvio-Coluvionar ao contrário de 2010 onde ela ocorre de forma bastante significativa na Planície, mas com grande expansão na área de Planalto. De modo geral observa-se um aumento considerável (383,38 km²), o equivalente a 18,82% desta classe

entre os dois anos analisados, principalmente no Planalto, onde as declividades são maiores, e onde não estava presente em 1995. Este avanço ocorreu principalmente sobre a classe agropecuária.

As classes Solo e Agricultura, juntas, apresentaram grande expansão na Planície Aluvio-Coluvionar, no ano de 2010, conforme observado no mapa. A classe Cidade apresentou pouca expansão no período analisado, apenas 0,09%.

Para se ter uma idéia de como a classe Solo se distribui no município de São Lourenço do Sul em relação ao relevo, fez-se uma sobreposição desta com a fusão da imagem *LANDSAT5/TM* com o produto *ASTER/GDEM*, conforme apresentado na Figura 6.37.

Analisando-se esta figura observa-se que as áreas da classe Solo apresentam-se em dois blocos bem distintos:

- Aquelas localizadas na Planície Aluvio-Coluvionar, com parcelas de tamanho grande e o distribuídas quase que paralelas à linha da Laguna dos Patos, indo de um limite a outro do Município, onde os terrenos correspondem aos relevos planos a suave ondulado (0 a 8% de declividade);
- Aquelas localizadas no Planalto, com parcelas de tamanho menor, espalhadas por toda área indistintamente, ocupando muito pouco os vales e as planícies fluviais aí localizadas, onde os terrenos correspondem aos relevos suaves ondulado a forte ondulado (3 a 45% de declividade).

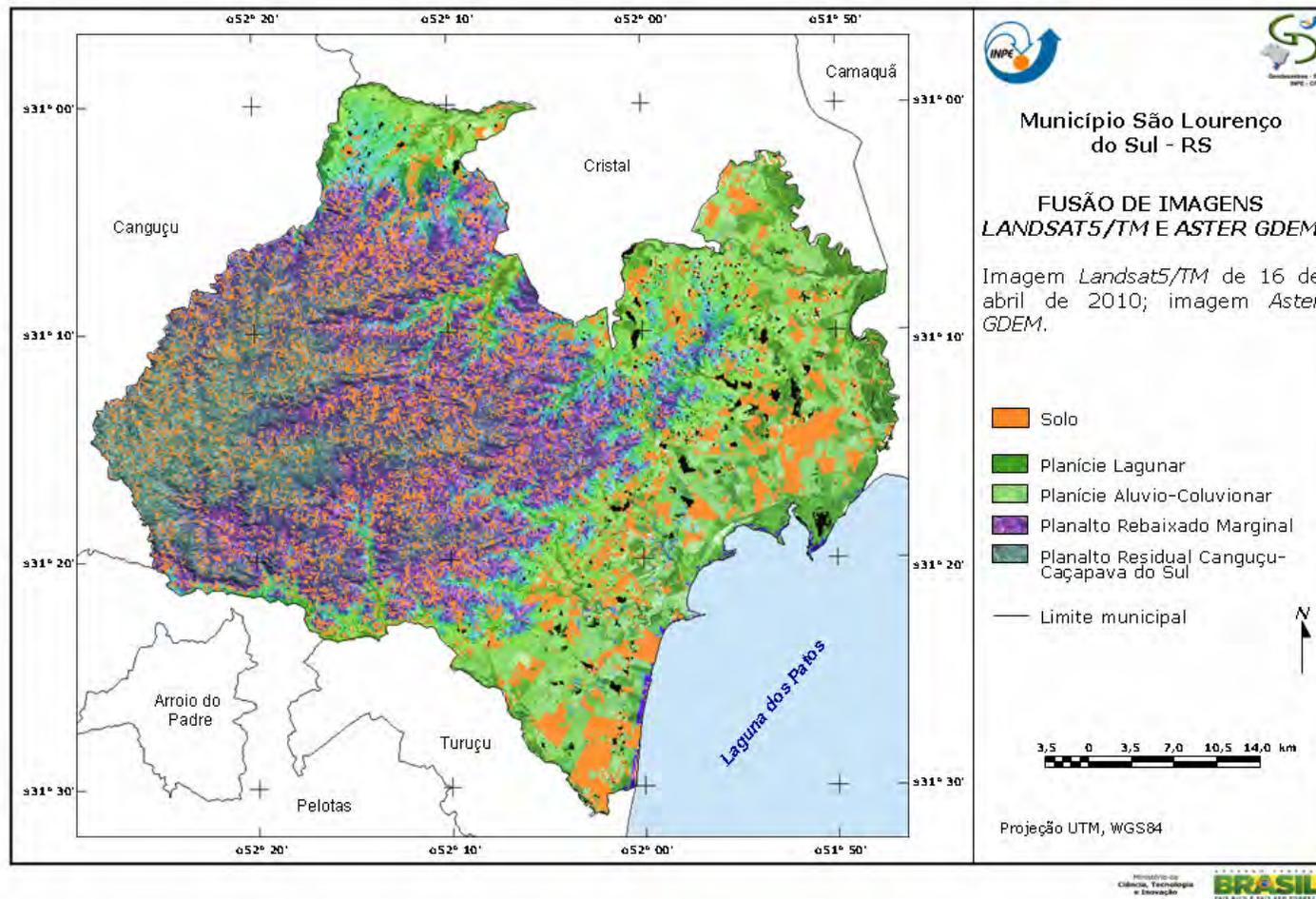


Figura 6.37 - Sobreposição da classe Solo (laranja) com a fusão da imagem *LANDSAT5/TM* com o produto *ASTER/GDEM*, para o município de São Lourenço do Sul.

As Figuras 6.38 e 6.39 apresentam os mapas de uso e cobertura do solo da bacia do Arroio São Lourenço para os anos de 1995 e 2010, respectivamente.

Analisando-se os dois mapas observa-se que na bacia do arroio São Lourenço também houve um incremento da área da classe Solo como observado nos mapas do município de São Lourenço do Sul.

A Tabela 6.4 apresenta as medidas de classes de uso e cobertura do solo para os anos de 1995 e 2010 na bacia do Arroio São Lourenço do Sul.

Tabela 6.4 - Medidas de classes de uso e cobertura do solo na bacia do Arroio São Lourenço para os anos de 1995 e 2010

Classes de uso e cobertura do solo	Bacia 1995		Bacia 2010	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Floresta	52,12	26,86	51,16	26,38
Formação pioneira com influencia fluvial e/ou lacustre	0,00	0,00	0,00	0,00
Banhado	0,16	0,08	1,14	0,59
Agropecuária	131,06	67,55	89,68	46,24
Agricultura	3,13	1,61	5,14	2,65
Solo	3,53	1,82	42,26	21,79
Cidade	3,34	1,72	3,88	2,00
Areia/vegetação	0,00	0,00	0,00	0,00
Areia	0,00	0,00	0,02	0,01
Água	0,67	0,35	0,66	0,34
TOTAL	194,02	100,00	193,94	100,00

■ Aumento da área entre 1995 e 2010

■ Não houve mudanças na área entre 1995 e 2010

■ Diminuição da área entre 1995 e 2010

Analisando-se os dados da Tabela 6.4 e comparando-se os mapas de uso e cobertura do solo dos anos de 1995 e 2010 observa-se que a classe que apresentou maior expansão na bacia do Arroio São Lourenço, foi a classe Solo, que aumentou sua área em 18,26%, o equivalente a 38,73km², assim como ocorreu em todo o município.

Esta expansão ocorreu de forma significativa no baixo curso do Arroio São Lourenço, ao longo do canal, na Planície Aluvio-Coluvionar, onde as declividades são favoráveis a uso agrícola e pecuário. Aqui este tipo de uso do solo instalou-se no trecho compreendido entre a cidade e a BR116, onde o acesso é facilitado para a comunicação e escoamento dos produtos (Figura 6.40).

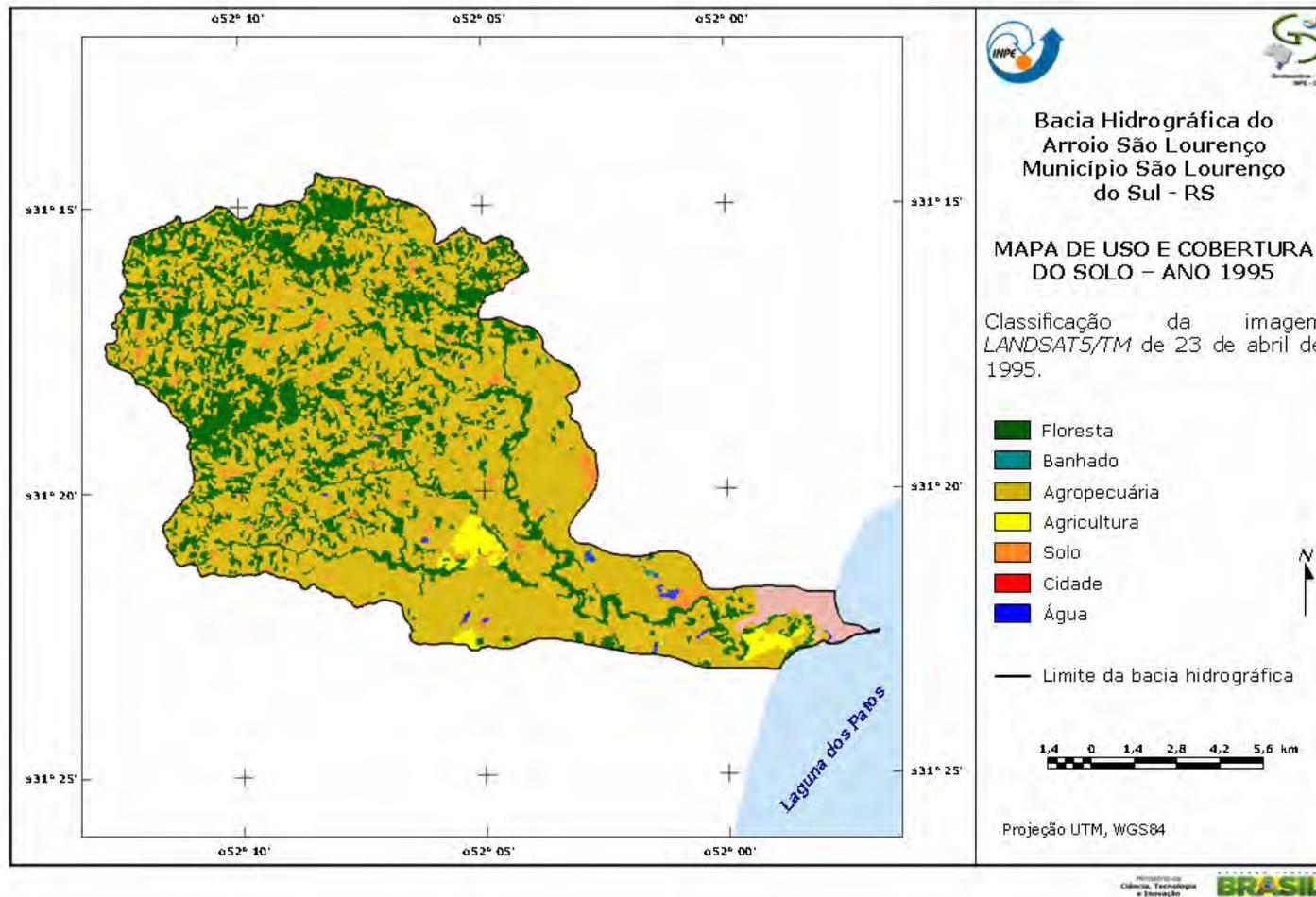


Figura 6. 38 – Mapa de uso e cobertura do solo da bacia do Arroio São Lourenço correspondente a imagem LANDSAT 5/TM de 23 de abril de 1995.

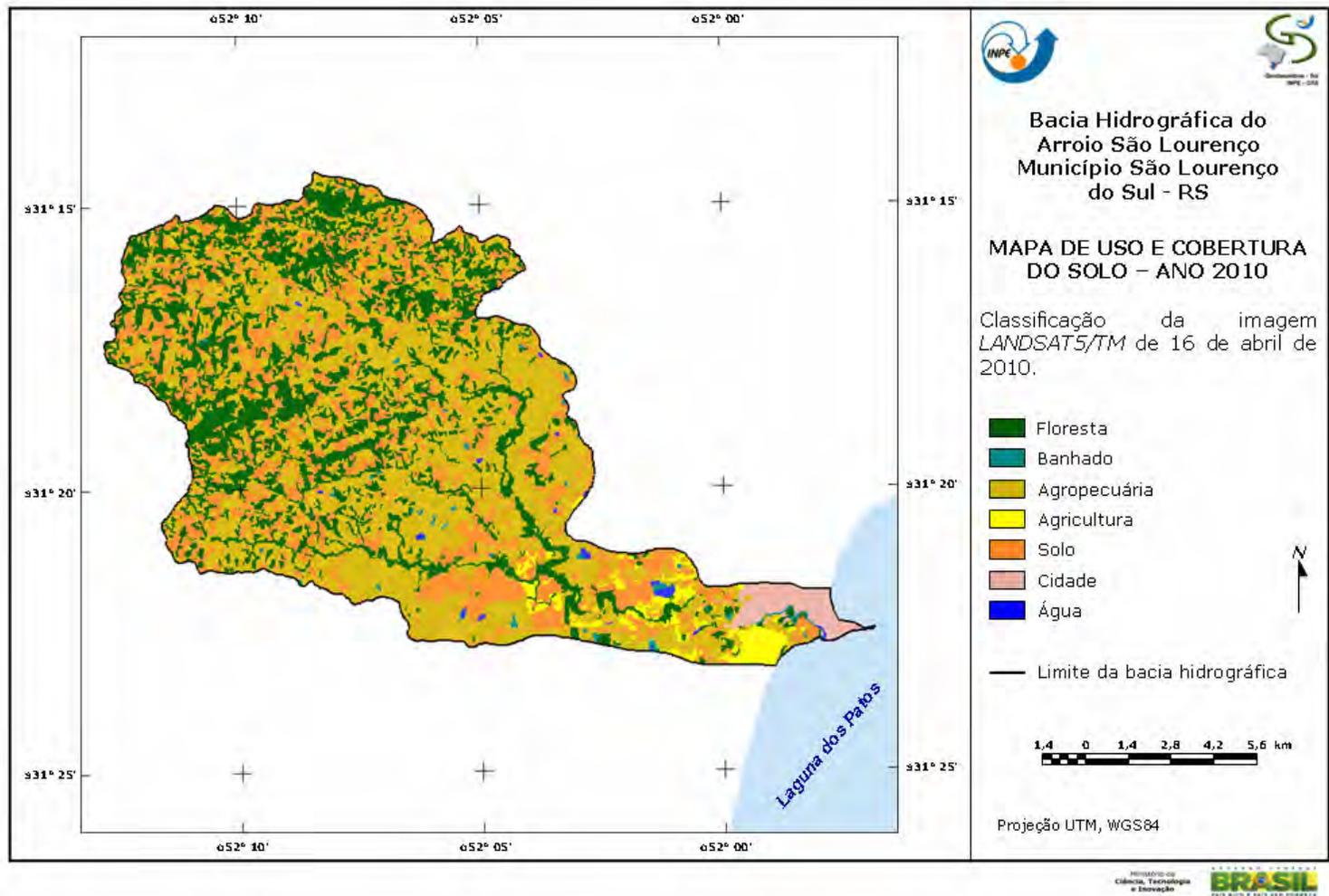


Figura 6.39 – Mapa de uso e cobertura do solo da bacia do Arroio São Lourenço correspondente a imagem LANDSAT 5/TM de 16 de abril de 2010.

A outra área onde ocorreu grande expansão da classe Solo é no alto curso do Arroio São Lourenço na região de Planalto e observa-se que há como uma faixa, exatamente no trecho de transição entre a área de Planalto e a de Planície, onde esta classe praticamente não se instalou, conforme pode ser observado na Figura 6. 41.

Na Figura 6.41 observa-se que na região de Planalto a classe Solo localiza-se fora dos vales ou das planícies fluviais dos arroios que formam a bacia do Arroio São Lourenço, onde estão os terrenos com declividades variando de 8 a 45% , correspondendo às classes de relevo ondulado a forte ondulado.

A classe Agropecuária reduziu o seu tamanho em 41,38km² (21,31%) de 1995 para 2010, sendo que esta redução deve-se principalmente a expansão da classe Solo na bacia. As classes Agricultura e Cidade não apresentaram grandes modificações sendo que a primeira aumentou sua área em 1,04% e a segunda em 0,28%.

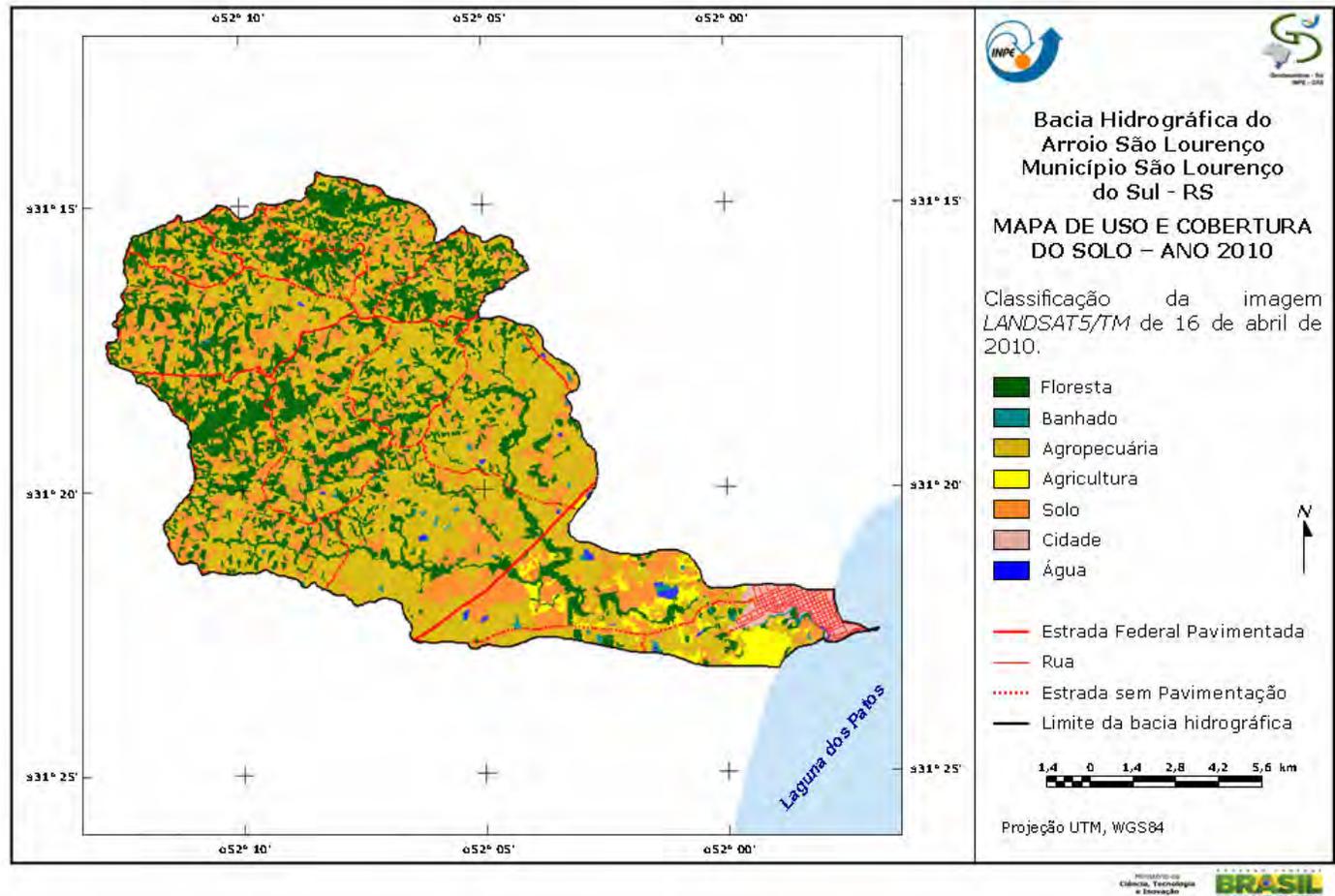


Figura 6.40 – Rede viária na bacia do Arroio São Lourenço e as classes Solo e Agricultura em laranja e amarelo respectivamente, para o ano de 2010.

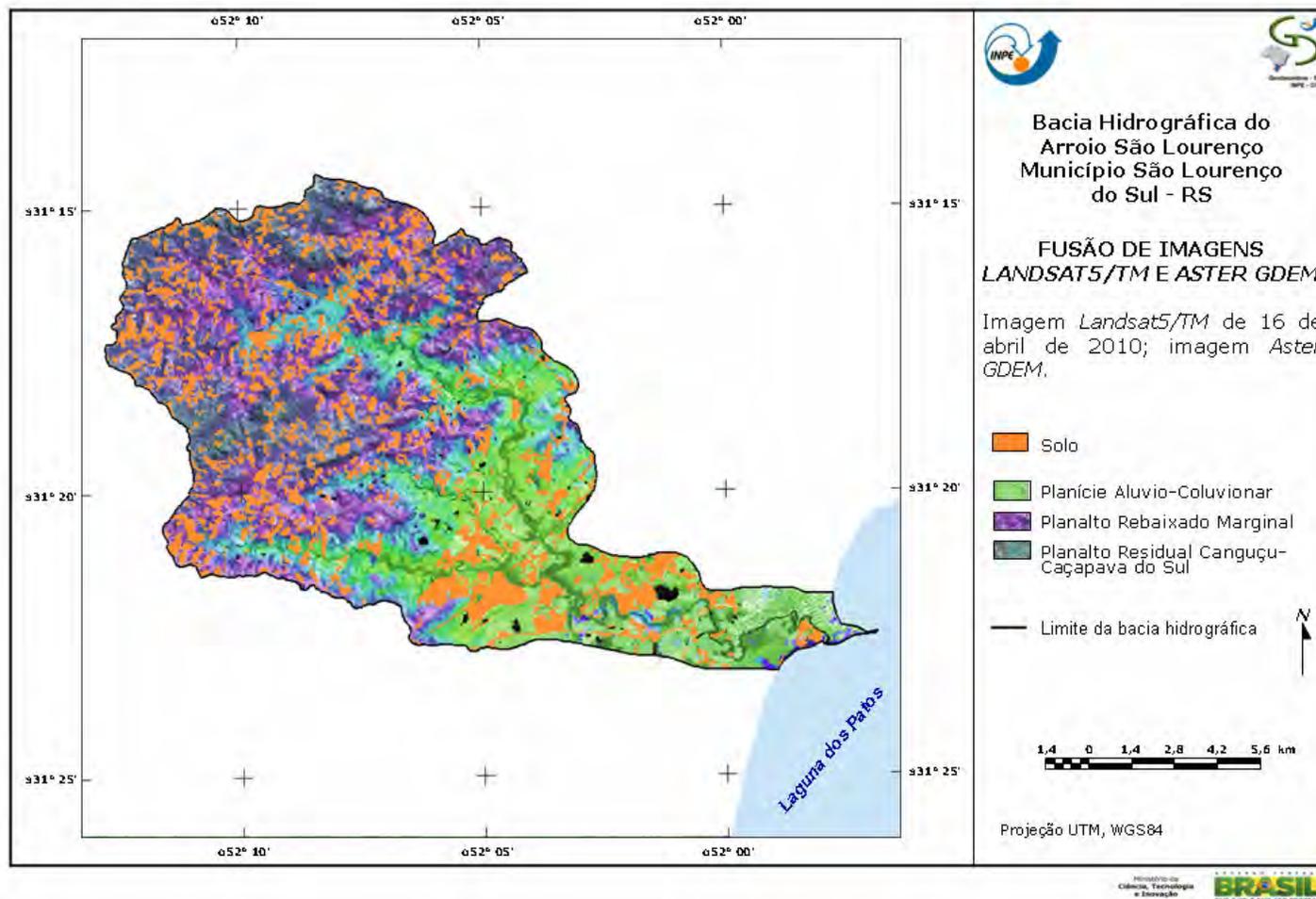


Figura 6.41 - Classe Solo, em cor laranja, sobreposta a fusão da imagem LANDSAT5/TM com o produto ASTER/GDEM.

6.6 - Mapa Curvatura Vertical das vertentes do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço

As encostas podem se apresentar totalmente convexas ou possuir apenas alguns trechos convexos. Este tipo de forma de relevo dispersa os fluxos de águas nas encostas e favorece o escoamento superficial e o transporte de material. Já a forma côncava faz convergir os fluxos de água, facilitando o acúmulo de água e do material transportado. Tal como a forma convexa ela pode ocorrer em toda uma encosta ou apenas em um trecho desta (Guerra e Guerra, 2005).

Esta variável está relacionada aos processos de migração e acúmulo de água e também apresenta grande potencial para a segmentação do terreno em unidades homogêneas. A Figura 6.42 apresenta o mapa de curvatura vertical do município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço, respectivamente.

Analisando-se o mapa de curvatura vertical do município de São Lourenço do Sul observa-se uma segmentação do terreno, em duas unidades bem definidas:

- Uma, configurando a região de Planalto, onde ocorrem principalmente as vertentes muito convexas, nas áreas de interflúvios e as vertentes muito côncavas, correspondendo aos cursos de água. Este dois tipos de vertentes estão bem caracterizados no mapa possibilitando assim identificar-se onde ocorre o transporte de material e o escoamento superficial de forma mais efetiva (vertente muito convexa) e onde ocorre a acumulação do material e do escoamento superficial (vertentes côncavas) originado nas vertentes convexas.
- A outra, configurando a região de Planície, onde ocorrem as formas de vertente côncavo, retilíneo e convexo. Nesta unidade não há predominância ou definição tão clara de um tipo específico de vertente como na unidade anterior. É nesta unidade que é depositado o material transportado e as águas do escoamento superficial originados na unidade anterior.

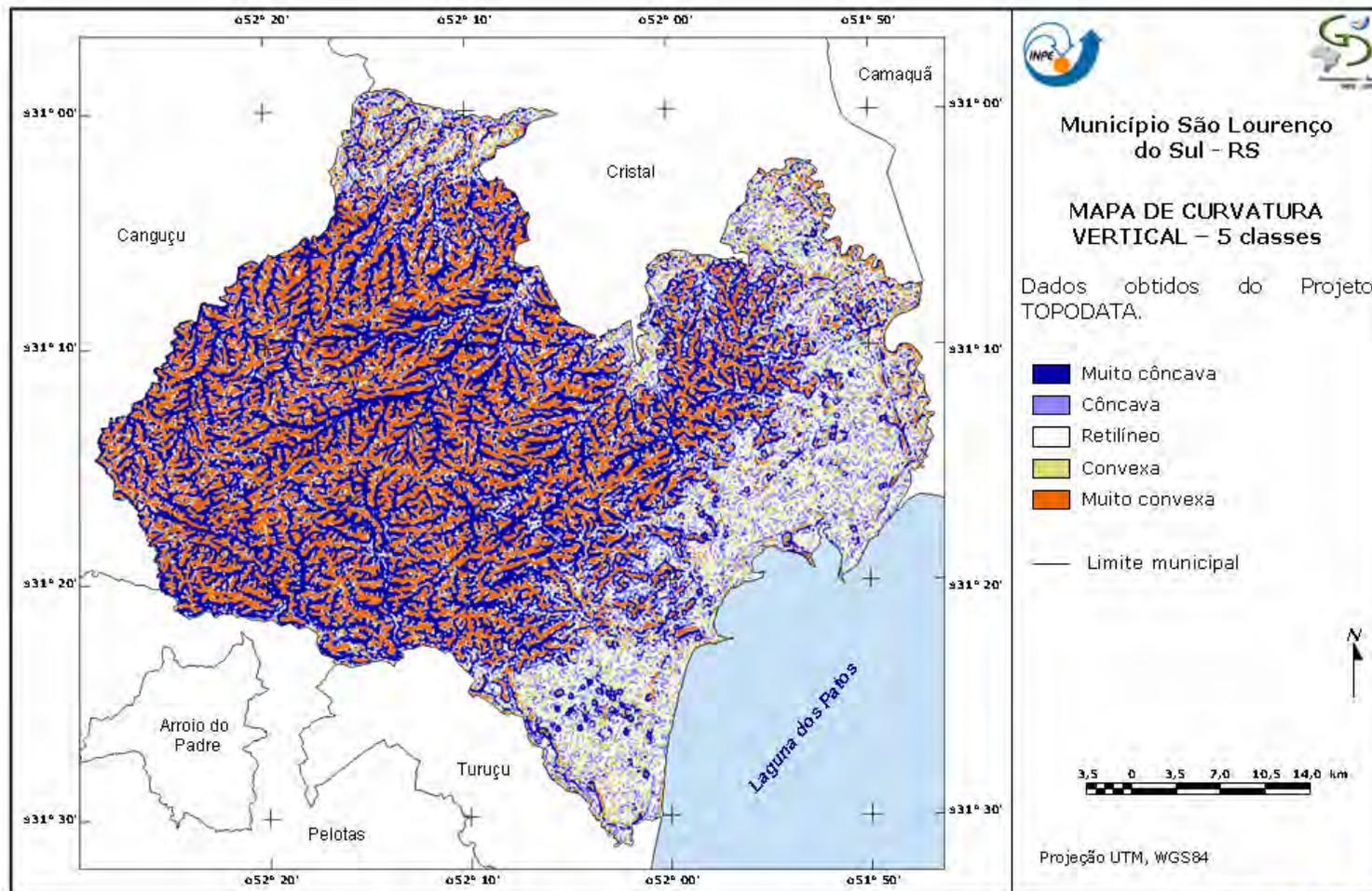


Figura 6.42 - Mapa de curvatura vertical das vertentes, em 5 classes, do município de São Lourenço do Sul gerado a partir de dados do Projeto TOPODATA.

A Figura 6.43 apresenta o mapa com a integração da classe Solo com as classes de curvatura vertical. Para facilitar a identificação da classe Solo, nesta figura ela está em cor verde, não se confundindo assim, com a cor laranja da classe Muito Convexa do mapa de Curvatura Vertical.

Analisando-se a Figura 6.43 nota-se que na região de Planalto onde predominam as vertentes com formas muito convexa, convexa, côncava e muito côncava, portanto onde ocorrem principalmente o transporte de material e o escoamento superficial e acumulação do material, é onde também estão localizadas as parcelas da classe Solo com áreas menores, e onde esta classe apresentou a sua maior expansão. Nota-se também que a maioria delas está localizada nas áreas de interflúvios, correspondendo as vertentes com forma muito convexa e convexa.

No trecho de Planície onde predominam as vertentes com formas côncava, retilínea e convexa, e onde ocorre a deposição do material transportado e as águas do escoamento superficial originado na unidade anterior, as parcelas da classe Solo apresentam-se bem maiores e formando como uma faixa, em forma de arco, ao longo de toda a Planície. O fato de esta área apresentar vertentes retilíneas facilita a presença de parcelas maiores e a mecanização da agricultura.

A Tabela 6.5 apresenta Classes de Uso e Cobertura do Solo x Curvatura Vertical 5 classes em Km² e em porcentagem do Município São Lourenço do Sul

Analisando-se esta Tabela observa-se que a classe Agropecuária predomina em todas as cinco classes de curvatura vertical, com um total de 1094,40 km², sendo mais expressiva nas classes Muito Côncava (46,05%) e Côncava (45,74%).

A classe Floresta, a segunda mais representativa, correspondendo a 651,94 km² sendo mais expressiva nas classes Muito Convexa (35,05%) e Muito Côncava (32,18%). Já a classe Solo, que corresponde a 530 km², apresenta suas maiores extensões nas classes Muito Côncava (116,89 km²) e Muito Convexa (115,45 km²), sendo que nesta última é onde proporcionalmente é mais expressiva (24,60%) e na primeira é onde, proporcionalmente ela é menos significativa, correspondendo apenas a 17,31%. Porém, apesar de ocupar apenas 65,87 km² da classe Retilíneo, proporcionalmente esta é a segunda classe de curvatura vertical onde a classe Solo é mais significativa, correspondendo a 22,58% da área.

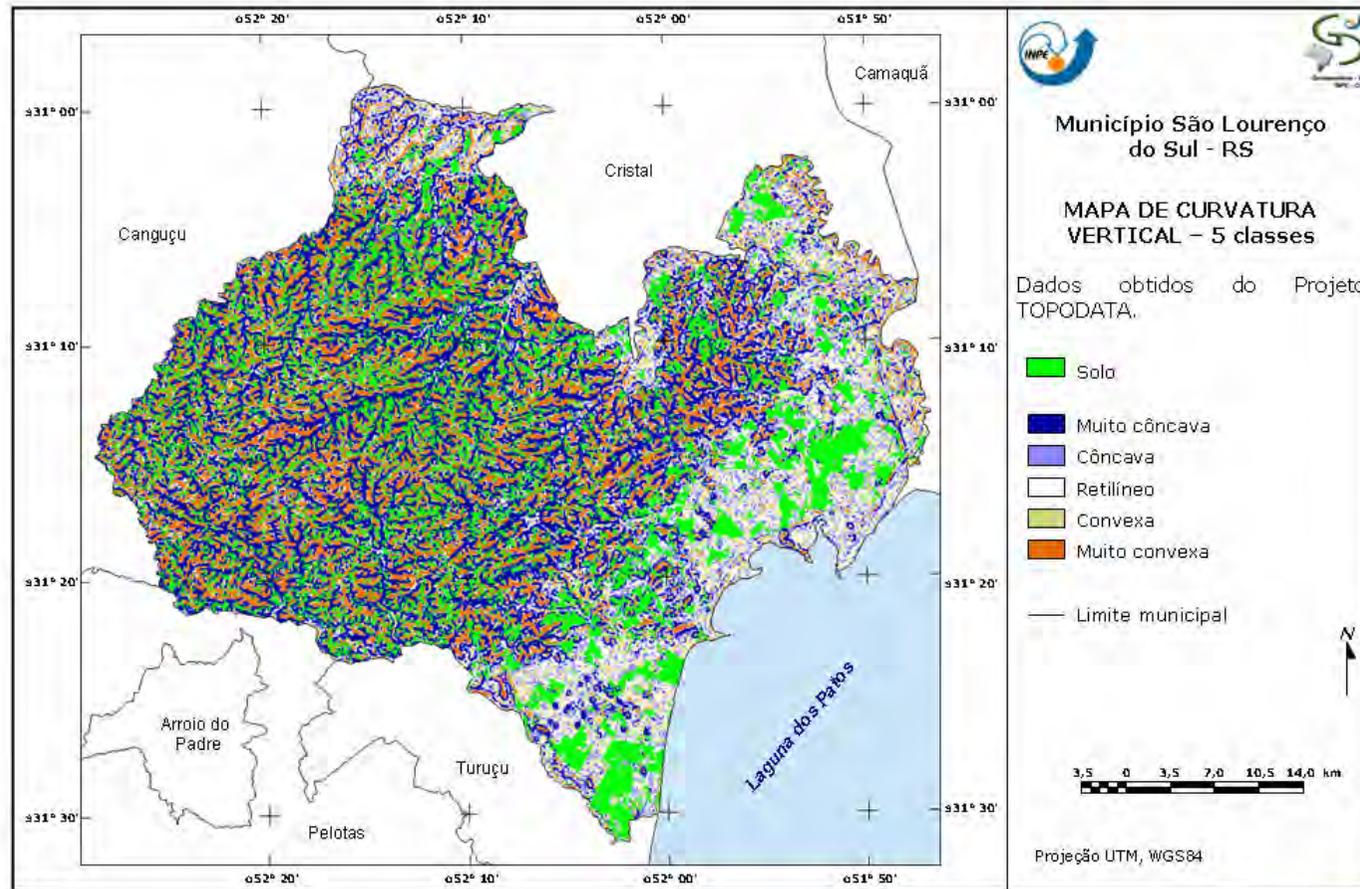


Figura 6.43 - Sobreposição da classe Solo, em cor verde, do ano de 2010, sobre o mapa de Curvatura Vertical do município de São Lourenço do Sul.

Tabela 6.5 – Classes de Uso e Cobertura do Solo x Curvatura Vertical em Km² e em porcentagem do Município São Lourenço do Sul

Classes	Muito Côncava		Côncava		Retilíneo		Convexa		Muito Convexa	
	(km ²)	(%)								
Floresta	217,32	32,18	56,61	16,66	40,85	14,00	54,14	20,65	164,48	35,05
Formação pioneira com influencia fluvial e/ou lacustre	2,37	0,35	9,54	2,81	11,47	3,93	6,69	2,55	1,48	0,31
Banhado	4,07	0,60	3,85	1,13	2,73	0,94	1,94	0,74	1,05	0,22
Agropecuária	311,00	46,05	155,41	45,74	125,24	42,94	111,44	42,49	176,48	37,61
Agricultura	13,09	1,94	35,47	10,44	38,62	13,24	25,85	9,86	6,23	1,33
Solo	116,89	17,31	69,79	20,54	65,87	22,58	55,71	21,24	115,45	24,60
Cidade	1,21	0,18	1,89	0,56	1,46	0,50	1,38	0,53	0,67	0,14
Areia/vegetação	0,04	0,01	0,51	0,15	0,73	0,25	0,72	0,27	0,09	0,02
Areia	0,90	0,13	1,17	0,34	0,90	0,31	0,85	0,32	0,45	0,10
Água	8,43	1,25	5,49	1,62	3,81	1,31	3,54	1,35	2,91	0,62
TOTAL	675,31	100,00	339,74	100,00	291,68	100,00	262,26	100,00	469,29	100,00

A Figura 6.44 apresenta o mapa de Curvatura Vertical da bacia do Arroio São Lourenço

Analisando-se esta Figura observa-se que em todo o curso superior e médio do Arroio São Lourenço há o predomínio das classes Muito Côncava, Côncava, Convexa e Muito Convexa. No curso inferior que corresponde à área de Planície ocorrem as formas de vertente convexa, retilínea e côncava.

Assim, nos dois primeiros trechos da bacia há um predomínio dos processos que facilitam o transporte do material e o escoamento superficial e no trecho inferior há o predomínio dos processos de deposição do material.

Para caracterizar melhor o predomínio de cada tipo de vertente na bacia do Arroio São Lourenço, foi feito o cálculo de área (km²) para cada uma das classes:

- Muito Côncava: 77.94;
- Côncava: 28.19;
- Retilíneo: 17.79;
- Convexa: 20.19;
- Muito Convexa: 49.88.

As duas classes predominantes são a Muito Côncava e Muito Convexa e elas ocupam 127,82km², correspondendo a 47% da área da bacia do Arroio São Lourenço.

A Figura 6.45, apresenta o mapa com a integração da classe Solo com as classes de Curvatura Vertical para a bacia do Arroio São Lourenço. Tal como foi feito no mapa do município, aqui também a classe Solo está em cor verde para facilitar a identificação, não se confundindo assim, com a cor laranja da classe Muito Convexa do mapa de Curvatura Vertical.

Assim como foi observado no mapa do município de São Lourenço do Sul, também na bacia do Arroio São Lourenço, na área correspondente a Planície Alúvio-Coluviar e em parte do trecho de transição entre a Planície e o Planalto são encontradas parcelas de tamanho maior para a classe Solo, principalmente ao longo do canal do arroio São Lourenço. No trecho de Planalto as parcelas são em grande número e em tamanho menor.

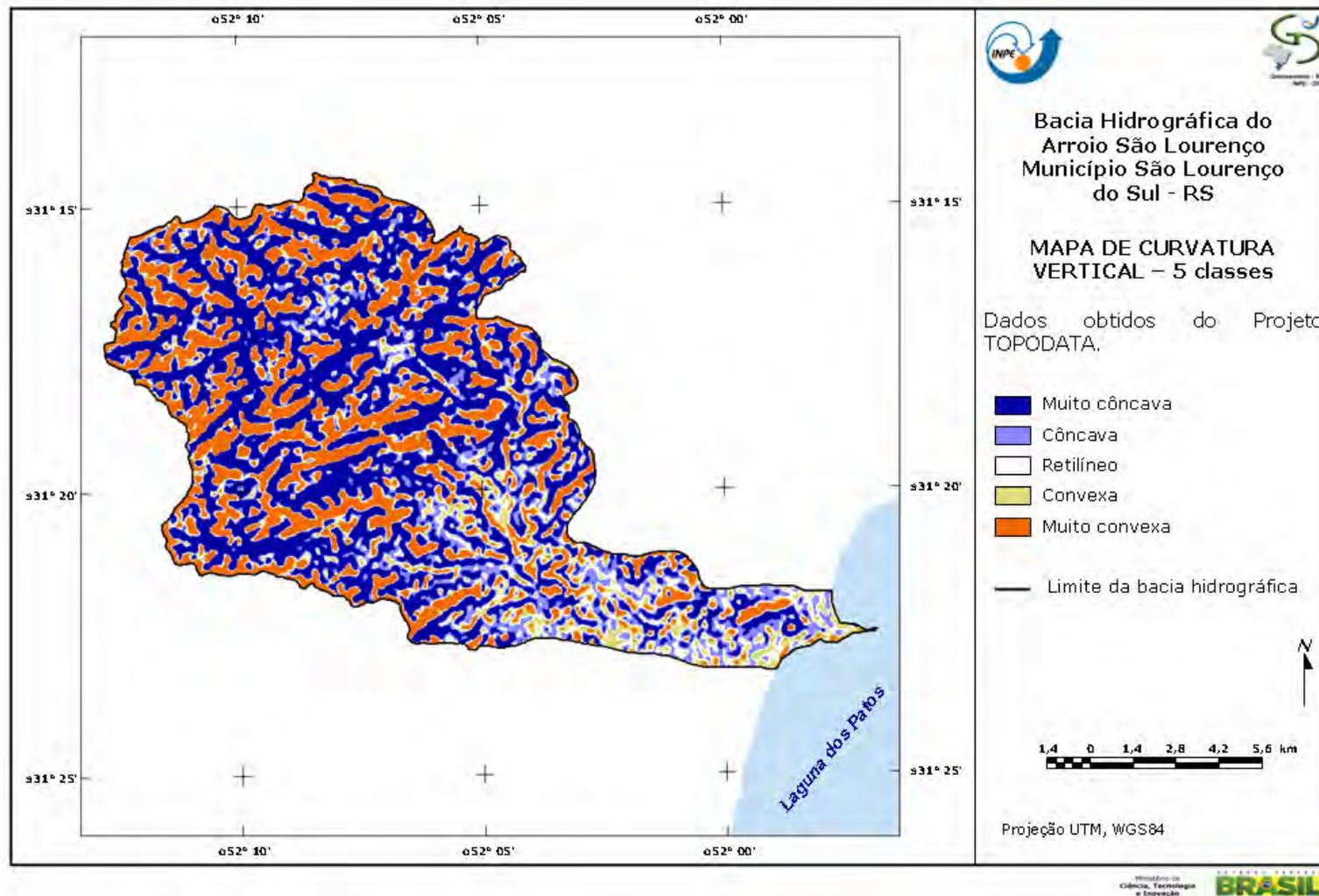


Figura 6.44 - Mapa de curvatura vertical das vertentes, em 5 classes, da bacia do Arroio São Lourenço gerado a partir de dados do Projeto TOPODATA.

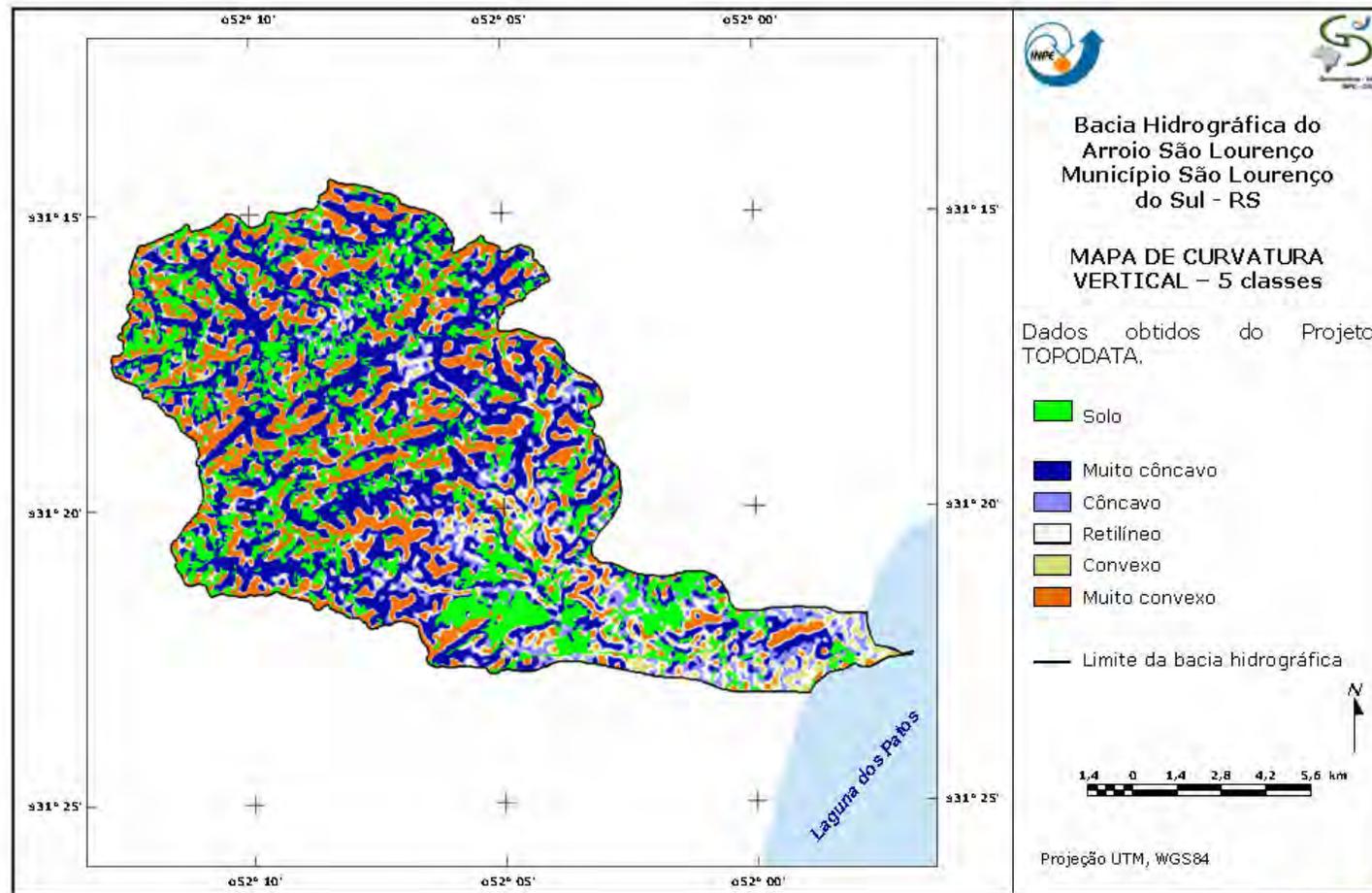


Figura 6.45 - Sobreposição da classe Solo, em cor verde, sobre o mapa de Curvatura Vertical da bacia do arroio São Lourenço.

Na área de Planalto em sua maioria elas correspondem às áreas onde as vertentes têm a forma Muito Convexa e Convexa. Esta forma de vertente facilita o transporte de material e o escoamento superficial na bacia. A classe Solo corresponde a solo exposto/solo preparado/solo em pousio, por ocasião do evento de chuvas intensas ocorrido em março de 2011, estas áreas estariam sem cobertura vegetal, portanto desprotegidas e poderiam facilitar o escoamento superficial bem como o transporte de materiais.

A Tabela 6.6 apresenta as classes de uso e cobertura do solo x curvatura vertical 5 classes em Km² e em porcentagem da bacia do Arroio São Lourenço.

Tabela 6.6 - Classes de Uso e Cobertura do Solo x Curvatura Vertical em Km² e em porcentagem da bacia do Arroio São Lourenço

Classes	Muito Côncava		Côncava		Retilíneo		Convexa		Muito Convexa	
	(km ²)	(%)								
Floresta	22,44	28,78	5,64	19,99	3,48	19,53	4,71	23,35	14,93	29,97
Banhado	0,48	0,62	0,26	0,93	0,15	0,83	0,12	0,58	0,14	0,27
Agropecuária	39,19	50,27	13,89	49,28	8,09	45,34	8,50	42,12	20,02	40,19
Agricultura	0,79	1,02	1,30	4,62	1,17	6,56	1,22	6,04	0,65	1,31
Solo	14,26	18,30	5,91	20,97	3,91	21,92	4,75	23,53	13,43	26,96
Cidade	0,58	0,75	1,06	3,75	0,93	5,23	0,77	3,84	0,55	1,10
Água	0,21	0,27	0,13	0,47	0,11	0,60	0,11	0,54	0,10	0,20
TOTAL	77,95	100,00	28,19	100,00	17,84	100,00	20,17	100,00	49,82	100,00

6.7 - Mapa de Curvatura Horizontal do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço

Esta variável está relacionada à intensidade dos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade. Tal como a curvatura vertical das vertentes esta variável desempenha um importante papel sobre o balanço hídrico e o equilíbrio entre os processos de pedogênese e morfogênese. Esta variável permite identificar em que local os fluxos de matéria sobre o terreno convergem ou divergem, indicando assim onde há migração ou acúmulo de água através da superfície. Este tipo de informação auxilia no planejamento de ocupação e preservação em áreas de bacias de drenagem.

As Figuras 6.46 e 6.47 apresentam os mapas de curvatura horizontal do município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço, respectivamente. Analisando-se estas figuras observa-se que no município de São Lourenço do Sul que há dois segmentos bem definidos:

- Um correspondendo à região de planalto, onde é possível notar um maior espaçamento entre os interflúvios que correspondem às classes Divergente e Muito Divergente, isto é, onde há o predomínio da migração dos fluxos de matéria ou de água. Nos trechos correspondentes aos cursos de água ocorrem as classes Convergente e Muito Convergente, isto é, onde há o predomínio do acúmulo dos fluxos de matéria ou de água. Em algumas pequenas áreas é possível identificar-se a classe planar, onde não tem o predomínio da migração ou acúmulo de fluxos de matéria ou de água, provavelmente estes trechos devem correspondem às áreas de topo de morro ou pequenos terraços;
- O outro segmento corresponde às regiões de planície onde se observa que o espaçamento entre os interflúvios são menor, correspondem também as classes Divergente e Muito Divergente e nos cursos de água ocorrem as classes Convergente e Muito Convergentes. Na área de interseção entre a Planície Aluvio-Coluvionar e a Planície Laguna podem-se notar como uma linha representada principalmente pelas classes Divergente, Muito Divergente e Planar.

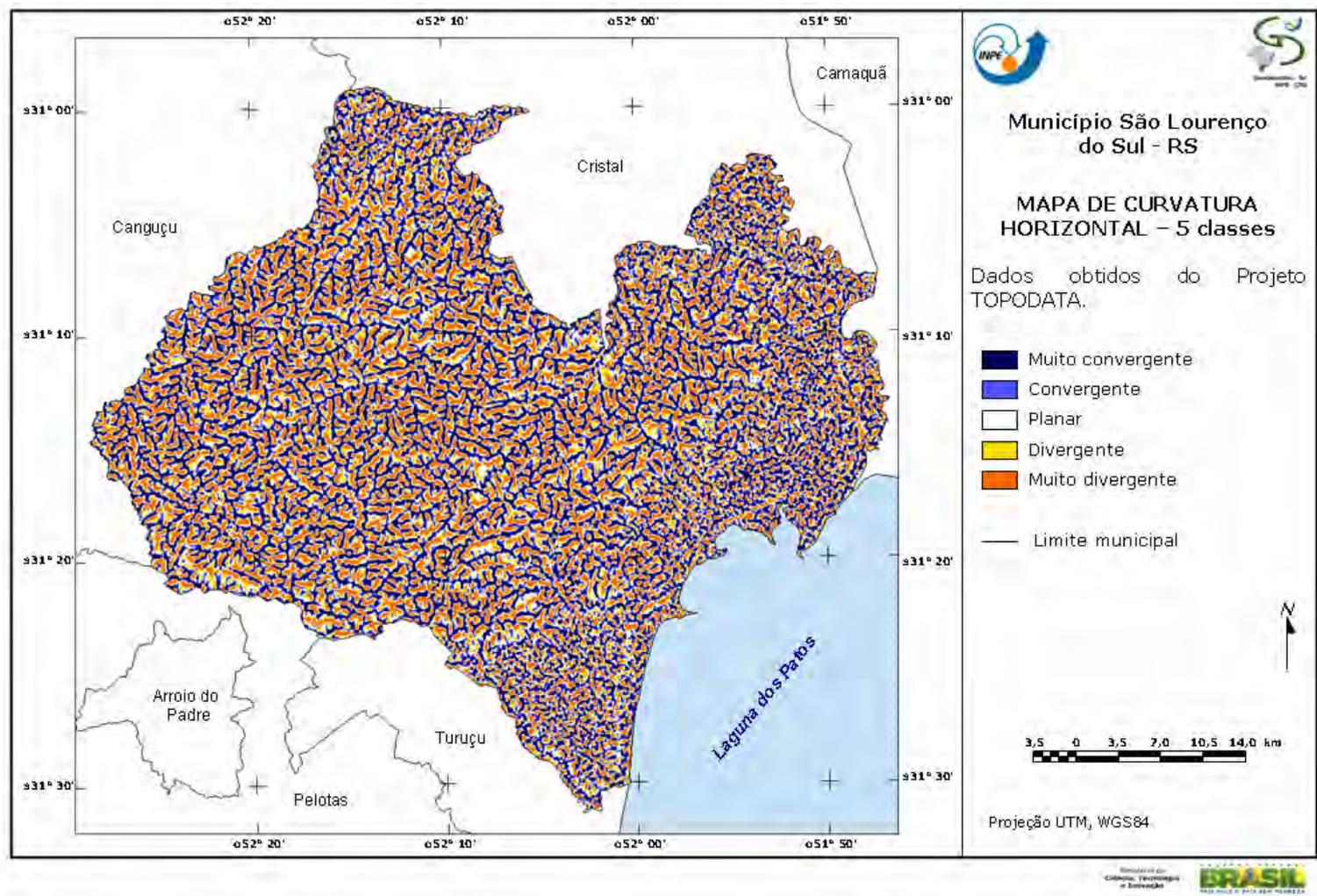


Figura 6.46 - Mapa de Curvatura Horizontal das vertentes do Município de São Lourenço, gerado a partir de dados do Projeto TOPODATA.

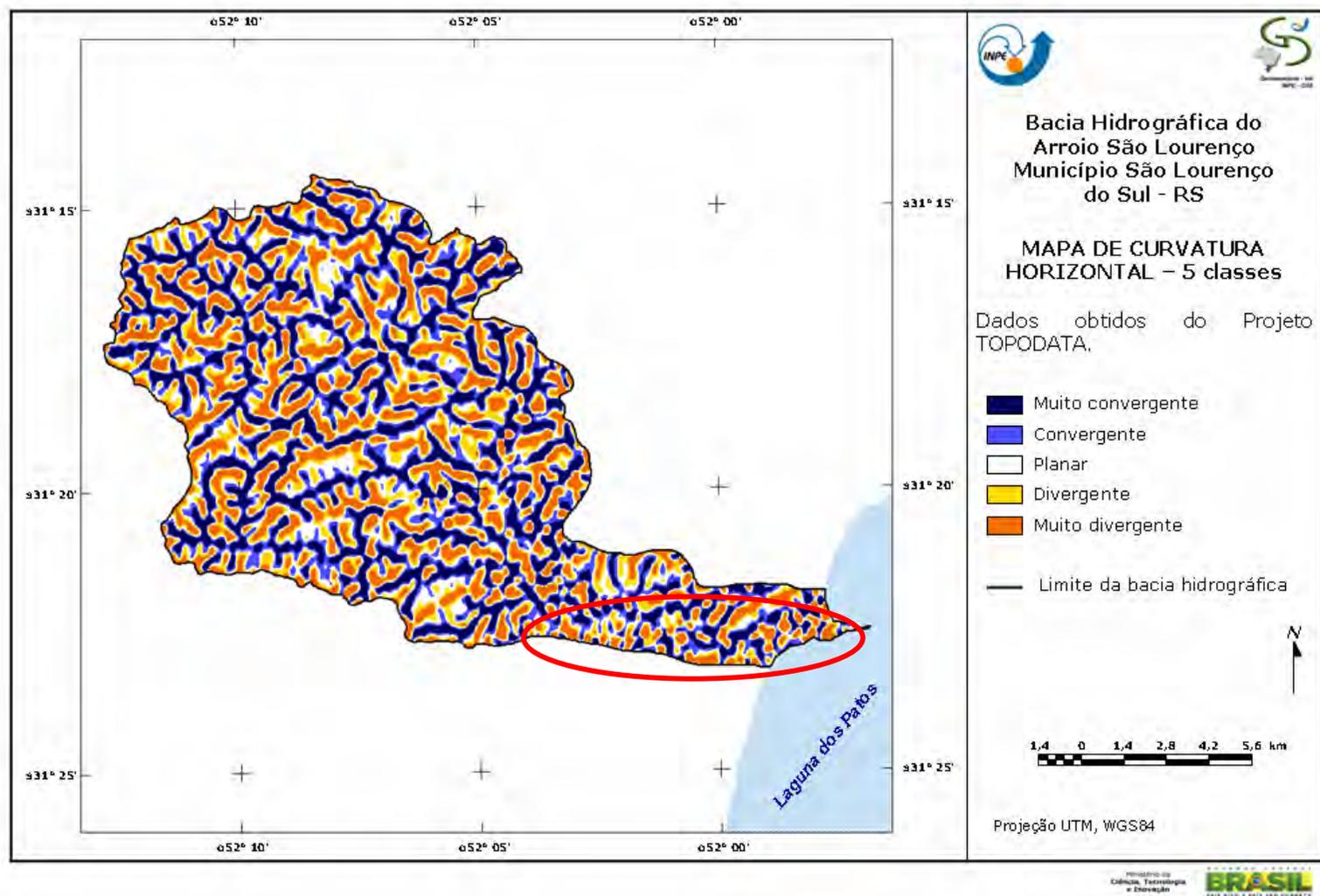


Figura 6.47 - Mapa de Curvatura Horizontal das vertentes da bacia do Arroio São Lourenço do Sul gerado a partir de dados do Projeto TOPODATA.

O espaçamento entre os interflúvios dá uma idéia da distância percorrida pelas águas pluviais para atingir o curso de água. Quanto maior for este espaçamento maior é a distância percorrida e maior será a capacidade de escoamento superficial.

Analisando-se a bacia do Arroio São Lourenço observa-se que apenas em pequenos trechos do curso inferior do arroio São Lourenço os interflúvios são menos espaçados, em toda a bacia predominam interflúvios mais amplos sugerindo áreas de maior escoamento superficial.

Para caracterizar melhor o predomínio de cada tipo de curvatura horizontal na bacia do Arroio São Lourenço, foi feito o cálculo de área (km²) para cada uma das classes:

- Muito Convergente: 45.36;
- Convergente: 36.94;
- Planar: 35.57;
- Divergente: 33.69;
- Muito Divergente: 42.45

Como esperado há um predomínio em toda a bacia das classes Muito Divergente, correspondente aos interflúvios e Muito Convergente correspondente aos cursos de água. Em alguns trechos da bacia há a ocorrência da classe Planar que provavelmente referem-se a topos de morro ou a áreas de terraços.

6.8 - Formas do Terreno do Município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço

Esta variável é uma combinação das variáveis Curvatura Vertical e Curvatura Horizontal, estando associadas às propriedades hidrológicas e de transporte de sólidos da área. Para este mapa foram considerados apenas os casos extremos de combinações de curvatura do terreno que são:

- Côncavo-Convergente, que representa a máxima concentração de acúmulo do escoamento superficial;
- Convexa-Divergente, que representa a máxima dispersão do escoamento superficial.

Foi adotada também uma terceira classe a Planar-Retilíneo que representaria a classe referente aos trechos onde não há o predomínio nem do escoamento e nem da acumulação.

As Figuras 6.48 e 6.49 apresentam os mapas de forma do terreno do município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço, respectivamente.

Analisando-se estas figuras observa-se que novamente o município foi dividido em dois segmentos bem definidos:

- Um correspondendo a região de Planalto onde predominam as classes Côncavo-Convergente e Convexa-Divergente, mostrando que as formas de terreno que favorecem o escoamento superficial e a sua acumulação, estão concentradas neste segmento;
- O outro segmento corresponde as áreas de Planícies, é onde está predominantemente localizada a classe Planar-Retilineo não havendo portanto nem o predomínio do escoamento superficial ou da acumulação deste. Esta é essencialmente uma área de deposição tanto das águas, transportadas pelas formas anteriormente mencionadas, como de material sólido, que possa ter sido originado no segmento anterior e trazido até esta área de Planície.

Analisando-se a bacia do Arroio São Lourenço, observa-se que em todo o seu curso superior há o predomínio das classes Côncavo-Convergente e Convexa-Divergente, mostrando assim que as formas de terreno que favorecem o escoamento superficial e a acumulação deste estão concentradas nesta área. Já a forma Retilíneo-Planar está concentrado no médio e baixo curso do arroio, bem como ao longo de quase todo o curso do Arroio São Lourenço e de alguns de seus afluentes.

Para caracterizar melhor o predomínio de cada tipo de forma de terreno na bacia do Arroio São Lourenço, foi feito o cálculo de área (km²) para cada uma das classes:

- Convergente Côncavo: 37.40
- Planar Retilíneo: 15.77
- Divergente Convexo: 33.64

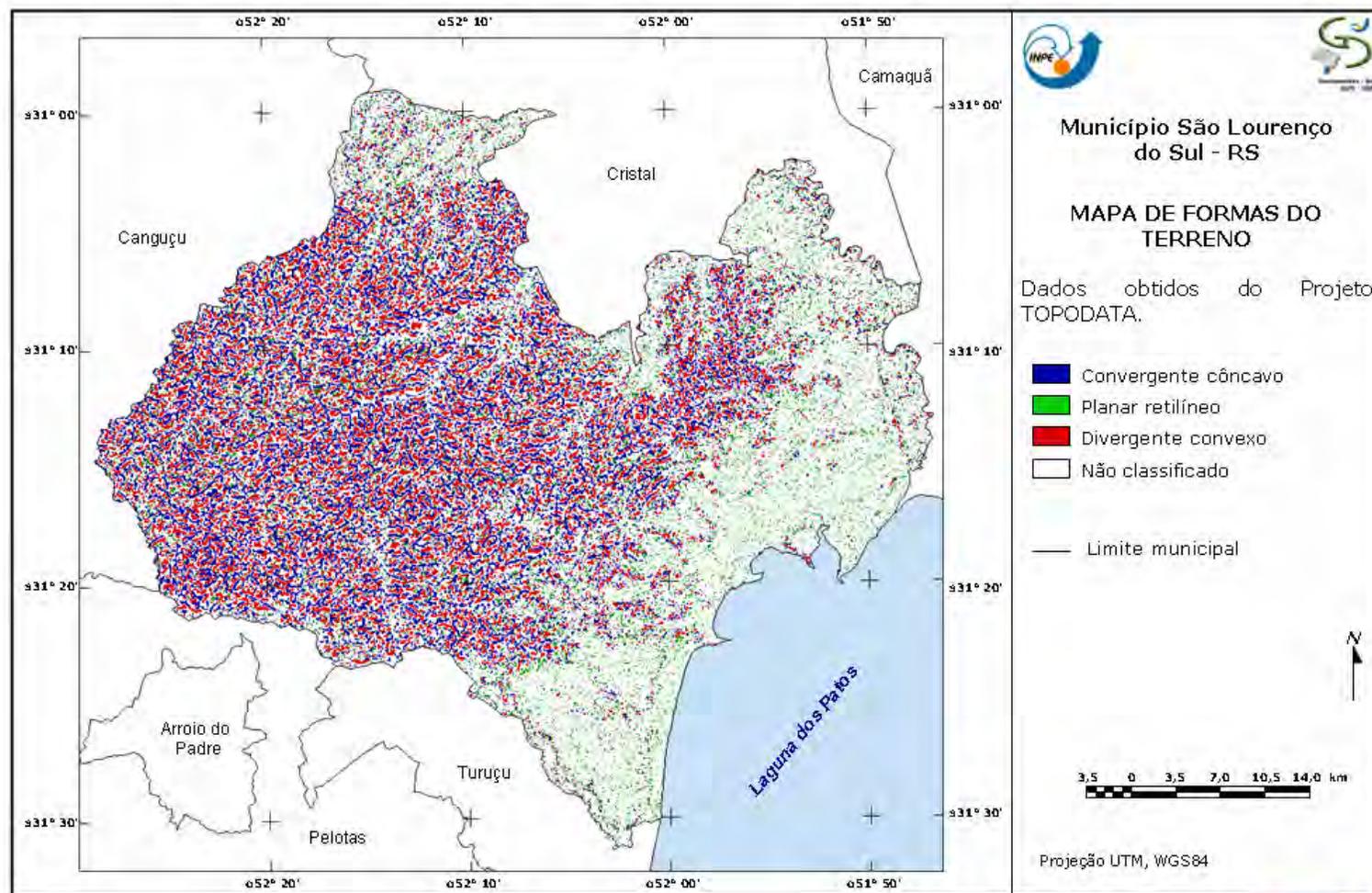


Figura 6.48 - Mapa de Formas do Terreno do Município de São Lourenço, gerado a partir de dados do Projeto TOPODATA.

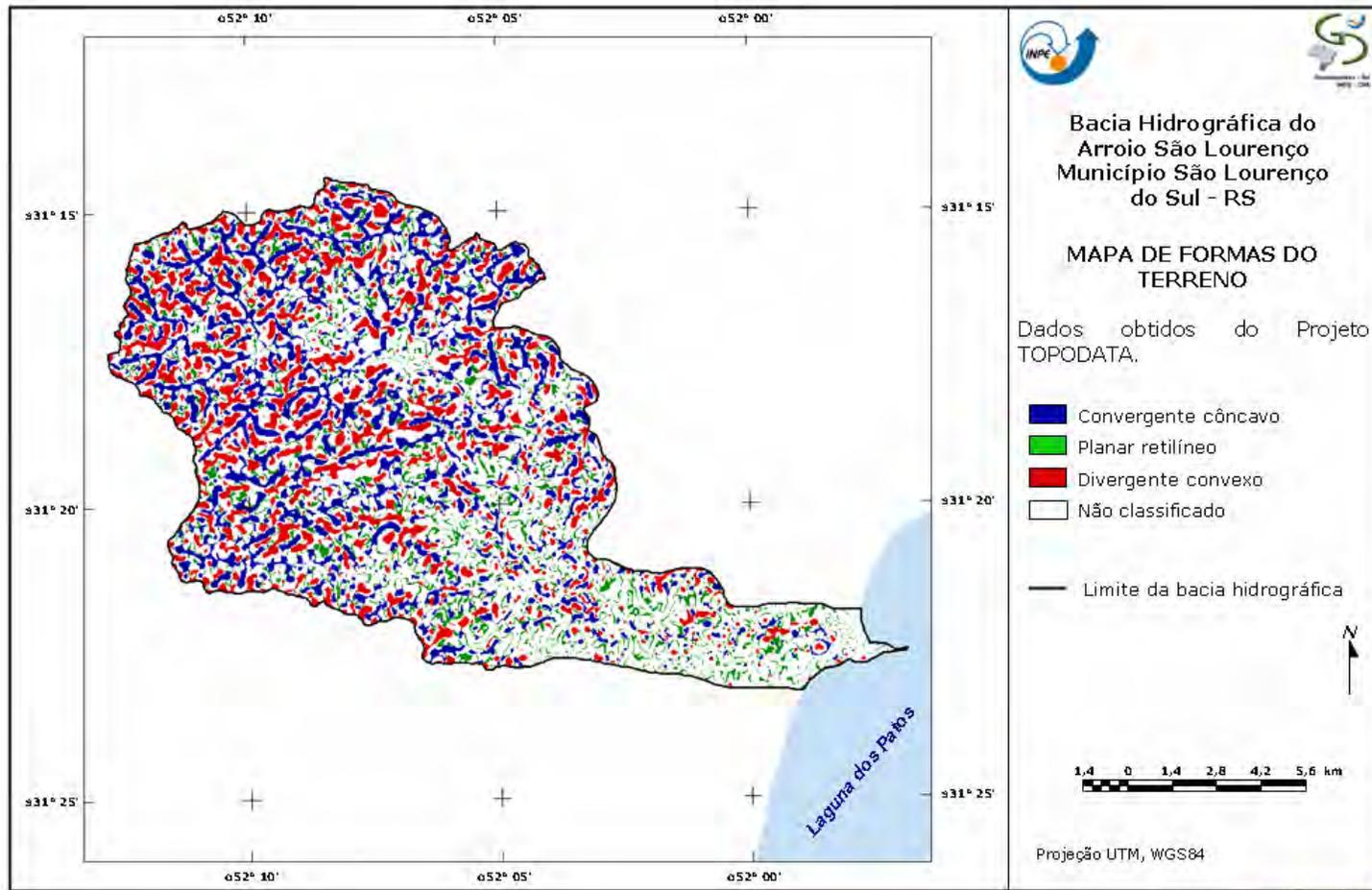


Figura 6.49 - Mapa de Formas do Terreno da bacia do Arroio São Lourenço do Sul gerado a partir de dados do Projeto TOPODATA.

6.9 - Medidas da largura do canal do Arroio São Lourenço:

Por ocasião do evento de enxurrada o canal do arroio São Lourenço apresentava uma grande quantidade de vegetação aquática. Este tipo de vegetação cresce com bastante facilidade enraizando-se nas margens do canal. Apesar de elas estarem no nível mais superficial da água, por causa do seu sistema de raízes e por ser densa ela tem capacidade de reter o material sólido (sedimentos) trazido pela água, dando origem assim a uma margem secundária, em nível inferior a margem original, que gradativamente vai estreitando a largura do canal, obstruindo o escoamento da água e dificultando a navegação.

Por ocasião do trabalho de campo em São Lourenço do Sul vários relatos davam conta de que este tipo de vegetação era um grande empecilho à navegação, e que após a enxurrada praticamente toda ela foi arrastada pela força das águas o que acabou desobstruindo o canal. Em função disto foram feitas duas medidas na largura do canal do arroio São Lourenço em 13 seções transversais, uma correspondendo a margem original e outra correspondendo a esta margem secundária originada pela vegetação aquática. A Figura 6.50 apresenta a localização das seções transversais e a Tabela 6.7 apresenta as medidas feitas na largura do canal do arroio São Lourenço.

Tabela 6.7 - Medidas da largura do canal do arroio São Lourenço.

Seção Transversal	Largura original do canal m	Largura do canal com vegetação m	Medida da redução da largura do canal m
A	22,92	09,11	13,81
B	05,27	02,59	02,68
C	22,48	Canal ficou totalmente coberto pela vegetação	-
D	21,31	12,00	09,31
E	32,02	11,70	20,32
F	30,48	13,55	16,93
G	26,69	05,35	26,15
H	39,68	08,51	31,17
I	31,87	02,45	29,42
J	40,58	02,11	38,47
L	22,38	03,46	18,92
M	32,75	02,13	30,62
N	34,79	02,77	32,02



Figura 6.50 – Recorte da imagem Google Earth com a localização das 13 seções transversais ao longo do canal do Arroio São Lourenço.

Analisando-se as medidas nas seções transversais observa-se que houve um grande estreitamento do canal do Arroio São Lourenço em função da presença de vegetação aquática. Na maioria das seções medidas o canal passou a ter menos da metade da largura original, conforme observado nos pontos J, N, H, M e I sendo que o trecho que apresentou o maior estreitamento é onde está localizada a seção J, onde houve uma redução de 38,47 metros na largura do canal, estando o canal com menos de 1% da sua largura original no momento do evento de enxurrada.

Na seção H, que foi o ponto onde as águas extravasaram o canal e começou a invadir a área urbana de São Lourenço do Sul, a redução da largura do canal foi de 31,17 m. Além do estreitamento neste local a curva do meandro é quase em 90° formando assim um cotovelo de drenagem conforme mencionado anteriormente.

A retirada da vegetação aquática do canal era uma reivindicação antiga da população de São Lourenço do Sul, principalmente dos pescadores e dos donos de barcos de recreação.

As Figuras 6.51 e 6.52 apresentam o canal do arroio São Lourenço nas décadas de 40 e 50 totalmente livre de vegetação aquática, em sua foz e no centro da cidade.



Figura 6.51 - Foz do arroio São Lourenço na década de 40 onde se pode observar o canal sem a presença de vegetação. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).



Figura 6.52 - Vista do arroio São Lourenço no centro da cidade onde se pode observar o canal totalmente sem vegetação aquática. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011)

6.10 – Medida da altura do nível das marcas de água em fachadas de imóveis

Durante o trabalho de campo foram realizadas 87 medidas da altura do nível das marcas de água em fachadas de imóveis. A Tabela 6.8 apresenta as coordenadas geográficas e as medidas da altura do nível das marcas de água obtidas em cada um dos pontos.

Tabela 6.8 - Medidas da altura do nível das marcas de água obtidas em cada um dos pontos.

Ponto	Latitude Sul	Longitude Oeste	Nível da Água (m)
1	31° 21' 44",40	51° 58' 13",00	0,70
2	31° 21' 41",40	51° 58' 7",20	0,72
3	31° 21' 41",00	51° 58' 4",70	0,70
4	31° 21' 39",10	51° 57' 58",50	0,52
5	31° 21' 39",60	51° 57' 44",90	0,20
6	31° 21' 44",50	51° 58' 0",30	0,67
7	31° 21' 43",60	51° 58' 1",50	0,64
8	31° 21' 46",20	51° 58' 6",50	0,66
9	31° 21' 46",40	51° 58' 7",10	0,91
10	31° 21' 47",10	51° 58' 10",10	0,70
11	31° 22' 39",00	52° 0' 10",90	8,00
12	31° 22' 18",80	51° 59' 21",10	2,23
13	31° 22' 18",60	51° 59' 19",70	2,16
14	31° 22' 18",60	51° 59' 18",50	2,21
15	31° 22' 18",50	51° 59' 18",10	2,70
16	31° 22' 16",80	51° 59' 13",80	2,90
17	31° 22' 16",70	51° 59' 13",40	2,73
18	31° 22' 15",50	51° 59' 11",60	3,15
19	31° 22' 8",90	51° 58' 55",20	0,20
20	31° 22' 3",40	51° 58' 37",50	1,60
21	31° 22' 1",10	51° 58' 33",70	0,58
22	31° 22' 0",40	51° 58' 33",00	0,80
23	31° 22' 0",00	51° 58' 30",80	1,49
24	31° 21' 59",10	51° 58' 28",30	2,01
25	31° 21' 56",90	51° 58' 24",80	1,26
26	31° 21' 55",00	51° 58' 18",30	1,20
27	31° 21' 55",00	51° 58' 17",90	1,50
28	31° 21' 54",50	51° 58' 16",60	1,22
29	31° 21' 53",40	51° 58' 16",10	1,45
30	31° 21' 54",20	51° 58' 13",20	1,03
31	31° 21' 54",40	51° 58' 12",80	1,35
32	31° 21' 50",20	51° 58' 5",00	1,20
33	31° 21' 51",00	51° 58' 3",40	0,80
34	31° 21' 48",50	51° 58' 2",00	1,10
35	31° 21' 47",80	51° 58' 0",20	0,70
36	31° 21' 45",20	51° 57' 56",40	0,56
37	31° 21' 42",20	51° 57' 50",70	0,50
38	31° 21' 42",10	51° 57' 47",00	0,20
39	31° 21' 48",20	51° 57' 50",90	0,61

40	31° 21' 51",90	51° 57' 58",70	0,50
41	31° 21' 51",80	51° 58' 0",10	0,41
42	31° 21' 52",70	51° 58' 0",70	0,82
43	31° 21' 53",20	51° 58' 1",60	1,15
44	31° 21' 53",20	51° 58' 1",70	1,11
45	31° 21' 53",30	51° 58' 2",40	1,15
46	31° 21' 54",60	51° 58' 5",50	1,15
47	31° 21' 55",20	51° 58' 6",90	1,20
48	31° 21' 55",70	51° 58' 10",90	1,45
49	31° 21' 55",80	51° 58' 11",50	2,07
50	31° 21' 57",00	51° 58' 11",00	1,75
51	31° 22' 0",20	51° 58' 19",50	2,47
52	31° 22' 2",10	51° 58' 24",10	2,64
53	31° 22' 2",70	51° 58' 26",00	2,17
54	31° 22' 4",20	51° 58' 30",90	1,58
55	31° 22' 4",80	51° 58' 31",90	2,06
56	31° 22' 5",10	51° 58' 33",30	2,14
57	31° 22' 5",60	51° 58' 33",00	2,33
58	31° 22' 6",70	51° 58' 35",40	2,70
59	31° 22' 22",50	51° 59' 19",80	2,30
60	31° 22' 8",10	51° 58' 27",10	1,90
61	31° 22' 6",60	51° 58' 27",80	1,68
62	31° 22' 6",70	51° 58' 25",00	2,29
63	31° 22' 5",50	51° 58' 23",00	2,27
64	31° 22' 4",90	51° 58' 21",20	2,10
65	31° 22' 4",40	51° 58' 20",30	2,15
66	31° 22' 4",80	51° 58' 19",10	0,64
67	31° 22' 3",30	51° 58' 16",60	1,89
68	31° 22' 2",00	51° 58' 13",60	2,12
69	31° 22' 1",30	51° 58' 10",40	2,55
70	31° 21' 59",00	51° 58' 9",20	2,01
71	31° 21' 59",20	51° 58' 6",60	1,78
72	31° 21' 59",30	51° 58' 5",00	1,80
73	31° 22' 0",20	51° 58' 4",10	1,60
74	31° 22' 1",00	51° 58' 3",30	1,37
75	31° 21' 56",40	51° 57' 58",00	1,54
76	31° 22' 2",60	51° 58' 3",40	1,48
77	31° 22' 3",00	51° 58' 4",40	1,56
78	31° 22' 3",10	51° 58' 4",80	1,37
79	31° 22' 5",90	51° 58' 11",80	1,65
80	31° 22' 5",90	51° 58' 12",10	2,07
81	31° 22' 8",00	51° 58' 15",80	1,60
82	31° 22' 8",80	51° 58' 17",70	1,75
83	31° 22' 9",90	51° 58' 24",90	2,50
84	31° 22' 11",90	51° 58' 30",90	2,20
85	31° 22' 14",90	51° 58' 31",80	1,60
86	31° 22' 15",30	51° 58' 28",90	2,20
87	31° 22' 18",20	51° 58' 31",00	3,50

Nesta Tabela está salientado na cor vermelho o local onde a água alcançou a maior altura, 8 metros, ponto n° 11, na estação da CORSAN, que está localizado as

margens do Arroio São Lourenço, conforme relato do técnico responsável pela estação (Figura 6.53). Próximo a este local a correnteza foi tão forte e veio com tanta violência, como uma onda, que a água não conseguiu seguir o curso do rio, que é meandrante e simplesmente extravasou o canal e seguiu reto, escoando por ai parte do volume de água.



Figura 6.53 – Altura máxima atingida pela água na estação da CORSAN as margens do arroio São Lourenço. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março, 2011)

Na cor verde estão salientados os locais onde a água ultrapassou os 3 metros de altura e na cor amarelo os locais onde a água ultrapassou os 2 metros de altura.

A Figura 6.54 apresenta a localização dos pontos onde estas medidas foram feitas. A Figura 6.55 apresenta parte da cidade de São Lourenço do Sul inundada no dia 10 de março de 2011. As áreas onde ocorreram as maiores alturas da água são aquelas que estão mais próximas ao Arroio São Lourenço.



Figura 6.54 - Recorte de imagem CBERS2/HRC com a localização e a numeração dos pontos GPS onde foram feitas as medidas de altura da marca de água em fachada de imóveis, em vermelho é onde a água atingiu 8 metros, em verde onde ela ultrapassou os 3 metros e em amarelo alguns trechos da cidade onde ela ultrapassou os 2 metros.



Figura 6.55 - Área urbana de São Lourenço do Sul inundada no dia 10 de março de 2011. Foto: Acervo Zero Hora (março, 2010)

6.11 - Avaliação de danos decorrentes da inundação em 10 de março de 2011, em São Lourenço do Sul

Os prejuízos diretos causados pela inundação do rio São Lourenço somaram um montante de R\$ 165.251.357,86. Esse total representa praticamente 34% do PIB (Produto Interno Bruto) do município do ano de 2008. De acordo com a Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul, os setores mais afetados foram da habitação, agricultura e turismo. A descrição dos prejuízos a seguir foi elaborada a partir das informações do relatório de Avaliação de Danos, documento elaborado pela Coordenadoria de Defesa Civil de São Lourenço do Sul, das entrevistas realizadas e dados coletados em campo.

Os bairros mais duramente afetados foram o Centro, Centro Sul e a Lomba, todos às margens do Arroio São Lourenço.

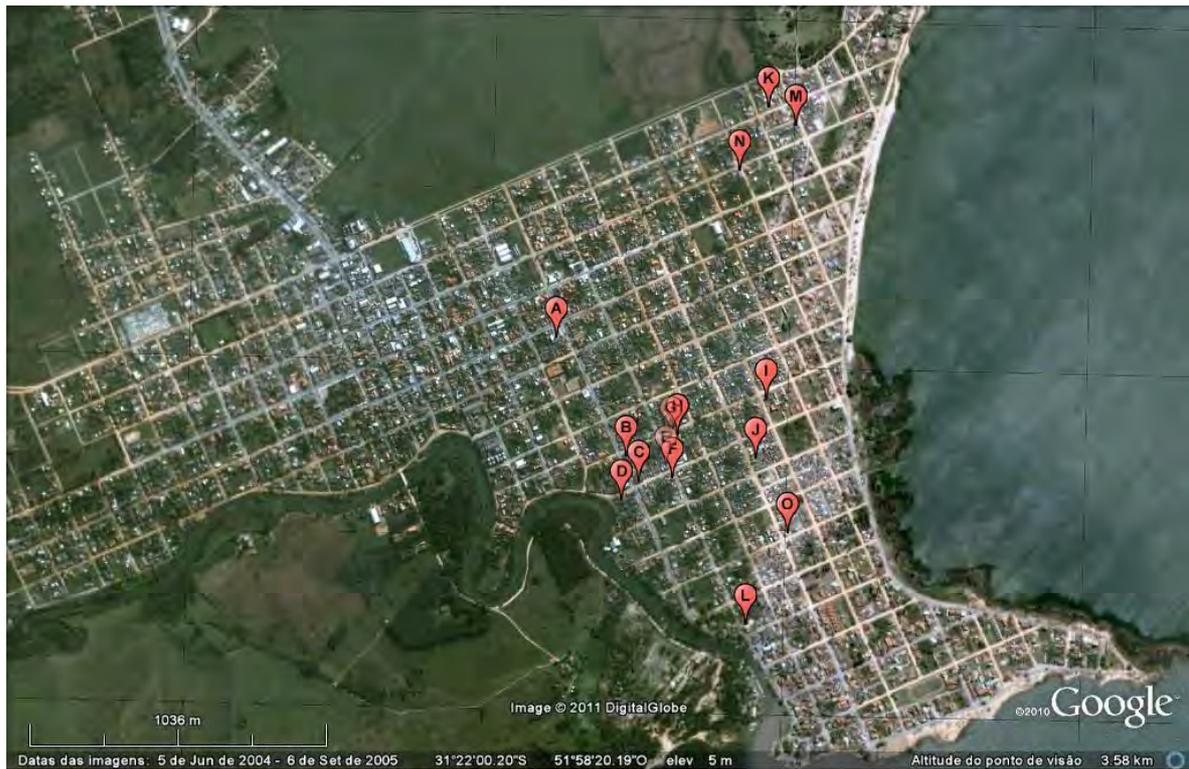
6.11.1 - Comércio, Serviços e Lazer

A inundação atingiu tanto construções residenciais como comerciais (Figura 6.56 e 6.57) e ocasionou generalizada perda de bens, como móveis e eletrodomésticos. Em prédios comerciais, os prejuízos estavam relacionados com perda de equipamentos como balanças, computadores, além da mobília e produtos em estoque.



Figura 6.56 - Loja em cruzamento das ruas Floriano Peixoto e Duque de Caxias, no Centro de São Lourenço do Sul. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011)

Um dos maiores supermercados da cidade ficou completamente inundado, assim como fruteiras, armazéns, e lojas. A grande maioria destes estabelecimentos perdeu toda sua mercadoria, causando grandes prejuízos e desabastecimento na cidade (Figura 6.58 A e B).



- A - Quadra 104, rua Júlio de Castilhos, nº 1224 (Supermercado Jepsen);
- B - Quadra 114, Av. Santos Abreu, nº 617 (Casa Verde);
- C - Quadra 114, Av. Santos Abreu, nº 515 (Fruteira e Atacado Brina);
- D - Quadra 99, rua Sete de Setembro, nº 870 (Vinicius Mengue);
- E - Quadra 114, rua Duque de Caxias, nº 612 (Mercado Fritz);
- F - Quadra 113, rua Duque de Caxias, nº 568 (Padaria Degar);
- G - Quadra 128, rua Gal. Argolo, nº 644 (Padaria 3 Irmãs);
- H - Quadra 128, rua Gal. Argolo, nº 636 (Padaria da Vovó);
- I - Quadra 183, rua Anchieta, n.º 1251 (Mercado Goularte);
- J - Quadra 165, rua Isolina Passos, nº 1095 (Nilo Hellwig);
- K - Quadra 215, rua Mariz Barros, nº 487 (Mercado ABC);
- L - Quadra 123, rua Duque de Caxias, nº 07 (Mercado Pescador);
- M - Quadra 221, rua Borges de Medeiros, nº 2040 (Valdir Strider);
- N - Quadra 202, rua Almirante Barroso, nº 548 (Mercado Ponto Certo);
- O - Quadra 164, rua Izolina Passos, nº 827 (Mercado Jeske).

Figura 6.57 - Localização dos estabelecimentos afetados pela inundação do dia 10 de março. Fonte: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 20110)



Figura 6.58 A e B- Supermercado no centro da cidade completamente inundado (A) e depois da inundação com a rua com restos de lama (B). Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul.

O setor de serviços e lazer também foi duramente afetado, com prédio inundados, equipamentos danificados, como uma academia de ginástica que fazia pouco tempo que havia sido inaugurada, antes da inundação. Ela teve todos os seus equipamentos danificados pelas águas, num prejuízo de R\$ 25.000,00 (Figura 6.59).



Figura 6.59 – Equipamentos de academia de ginástica sobre a calçada para limpeza depois que o estabelecimento foi invadido pelas águas, no dia 10 de março, de 2011. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).

O jornal da cidade O Lourenciano, localizado na rua Dr. Pio Ferreira, no centro da cidade, também foi inundado como pode ser observado na Figura 6.60.



Figura 6.60 - Sede do jornal O Lourenciano completamente inundado no dia 10 de março de 2011. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).

Conforme entrevista com o diretor do jornal Sr. David Baini, “*ao redor das 05h00min ele ouviu o aviso de que o Arroio São Lourenço estava inundando, como a sede do jornal fica próximo ao arroio, ele foi até lá e não notou nada de anormal*”. “*Por volta das 05h25min quando retornou ao jornal o prédio já estava inundado. Foram perdidos móveis, equipamento fotográfico, computadores, acervo fotográfico e de jornal. Havia lama por todos os lados, os móveis moveram-se de lugar, ele ficou extremamente impressionado com a força da água. Foram necessários quatro dias para limpar o local e o mau cheiro nos móveis era muito grande*” (Figura 6.61).



Figura 6.61 - A linha vermelha salienta a altura que a água atingiu na sede do jornal O Lourenciano. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março de 2011)

Seguindo o relato, “*o jornal está localizado neste local há 25 anos e nunca foi atingido anteriormente pelas inundações do Arroio São Lourenço*”. Como a rua onde o prédio do jornal se localiza é inclinada, ele não esperava que a água chegasse até ali. *No dia seguinte a inundação o jornal foi publicado em sua casa, uma vez que todas as instalações estavam danificadas e sujas pela lama* (Figura 6.62).



Figura 6.62 - Altura atingida pela água no escritório do jornal O Lourenciano. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março de 2011)

O lazer foi outro setor duramente afetado. Clubes tradicionais da cidade tiveram suas instalações e equipamentos totalmente destruídos, assim como quadras de esporte, salões de festas, etc. (Figura 6.63 e 6.64).



Figura 6.63 – Interior do Grêmio Esportivo Lourenciano danificado pela inundação, é possível ver na parede a altura atingida pela água. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março, 2011)



Figura 6.64 – Salão de festas totalmente inundado no dia 10 de março de 2011. Foto: Acervo Prefeitura Municipal (março, 2011).

Serviços essenciais também foram duramente afetados como o prédio da CEEE, encarregada do fornecimento de energia e viaturas da Brigada Militar, bem como o próprio quartel (Figura 6.65 e 6.66).



Figura 6.65 - Prédio da CEEE afetado pela inundação do dia 10 de março de 2011. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).



Figura 6.66 – Viatura da Brigada Militar afetada pela inundação no dia 10 de março de 2011. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011)

6.11.2 - Residências

No bairro Lomba, constatou-se que, em geral, as habitações eram dotadas de baixa infraestrutura, em sua grande maioria feitas de madeira. Por consequência, algumas não resistiram a força da inundação e foram completamente destruídas (Figura 6.67).



Figura 6.67 - No centro da foto, moradia completamente destruída localizada na rua General Osório, bairro Lomba, em São Lourenço do Sul. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011)

Em bairros mais afastados do rio, também foram registrados danos, como em Navegantes e na Barrinha. As ruas, transversas ao rio, funcionaram como corredores para o escoamento do fluxo. A água que invadiu as residências também provocou vultosos prejuízos aos moradores e comerciantes.

No total, em todo o município foram destruídas 50 residências populares e 1.500 foram danificadas. Outras 3.500 residências não populares também foram danificadas, somando um prejuízo de R\$ 96 milhões. Somados aos prejuízos das residências não populares, esse valor totalizou R\$ 100,8 milhões. As Figuras 6.68, 6.69, 6.70, 6.71 e 6.72 mostram os danos causados às moradias.



Figura 6.68 - Casa localizada às margens da rodovia Pelotas–Porto Alegre, na BR 116 próxima a ponte do Km 468, destruída pela força da correnteza do Arroio Viúva Tereza, no dia 10 de março de 2011. Foto: Acervo Zero Hora (março, 2011)



Figura 6.69 - De acordo com o relato do jovem que morava nesta residência, por volta de 1h15min do dia 10 de março, ele, a mãe e os dois sobrinhos que moram na casa tiveram que sair porque a água começou a invadir o local Foto: Acervo Zero Hora, Crédito: Nauro Junior (março, 2011)



Figura 6.70 - Mesma propriedade no dia 31 de março de 2011, já completamente destruída. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março de 2011)



Figura 6.71 - Moradia bastante danificada às margens do arroio São Lourenço. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março, 2011)



Figura 6.72 - Interior de uma residência coberta de lodo e totalmente destruída pela inundação do dia 10 de março, de 2011. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011)

6.11.3 - Zona Rural

No meio rural, as maiores perdas estiveram relacionadas com as benfeitorias que somaram prejuízo de R\$ 15 milhões. Além das perdas com as culturas em lavoura, como arroz, fumo, soja e milho, que somaram prejuízo de quase R\$ 2 milhões, conforme relatório da EMATER (2011), apresentado na Tabela 6.9.

Tabela 6.9 - Prejuízos no meio rural em São Lourenço do Sul

ITEM	QUANTIDADE	PREJUÍZO
Leite	35000l/dia	R\$ 22.750,00
Bovinos	150 cabeças	R\$ 67.5000,00
Ovinos	150 cabeças	R\$ 27.000,00
Arroz na lavoura	116 hectares	R\$ 348.000,00
Fumo na lavoura	800 hectares	R\$ 720.000,00
Soja na lavoura	300 hectares	R\$ 630.000,00
Milho na lavoura	150 hectares	R\$ 252.000,00
Fumo em estufas e galpões	-	R\$1.500.000,00
Benfeitorias rurais	500 propriedades	R\$15.000.000,00

Fonte: EMATER (2011)

6.11.4 - Cooperativas

As cooperativas de arroz e cereais do município também foram duramente afetadas. Além do produto estocado e pronto para ser comercializado, foram ainda registrados prejuízos em maquinários, embalagens, insumos e veículos. Estima-se que em 30 dias, deixou-se de beneficiar 25 mil fardos de arroz na Cooperativa de Arroz de São Lourenço do Sul e 30 mil fardos na Cooperativa Armazenadora de Cereais Ltda. Se somados, o valor total estimado do prejuízo das duas cooperativas foi de R\$ 7,5 milhões.

A Figura 6.73 mostra a altura que a água atingiu na Cooperativa Armazenadora de Cereais Ltda.



Figura 6.73 - Prédio da Cooperativa Armazenadora de Cereais Ltda. Afetado pela inundação. A linha mostra a altura atingida pela água. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março, 2011)

A atividade de pesca no município foi duramente atingida pela inundação, com perdas consideráveis na vila dos pescadores, com destruição de barcos, trapiches, galpões, casas e equipamentos. Cerca de 300 famílias vivem da pesca e provavelmente todas foram afetadas de alguma maneira (Figura 6.74).

Por ocasião dos trabalhos de campo realizados pela equipe do GEODESASTRES –SUL no final do mês de março, aproximadamente 20 dias após a inundação, os barcos ainda não conseguiam navegar pelo canal do arroio São Lourenço devido ao assoreamento da foz, provocado pelo material arrastado pelas águas. Estava sendo negociado com a direção do porto de Rio Grande, para obter a cessão de uma draga para fazer a dragagem do canal.

Em entrevista com o Sr. Dida, um dos pescadores foi relatado que ele havia “perdido bote, rede de pesca, trapiche, carroça, rede de camarão, botijão de gás, óleo, salva-vidas, a caixa e o motor do barco, 550 bóias de rede”, enfim tudo que ele havia adquirido em uma vida inteira de trabalho. Ele calculava que havia sofrido um prejuízo de R\$20.000,00.



Figura 6.74 – Vila dos pescadores, as margens do Arroio São Lourenço, parcialmente destruída pela inundação. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março, 2011)

As cooperativas de pesca profissional e artesanal registraram prejuízo de pouco mais de R\$ 1 milhão. Além de embarcações e dos trapiches, foram perdidos os estoques de pescados, bem como equipamentos diversos como balanças eletrônicas, freezer e computadores. A cooperativa (COOPESCA) e a indústria de pesca (JAPESCA) aí localizadas também foram seriamente afetadas. Ambas foram totalmente inundadas conforme pode ser observado nas Figuras 6.75 e 6.76. Nas câmaras de gelo da COOPESCA a água atingiu um máximo de 1,82 metros e depois baixou para 1,40 metros (Figura 6.77).

De acordo com informações obtidas na Secretaria Municipal de Turismo, Indústria e Comércio, houve perda total de 7 embarcações e 32 foram danificadas, 15 galpões foram levados pela correnteza assim como 25 trapiches, além de 1290 redes, malha 50 e 938 rede, malha 80. Na ocasião a Secretaria Municipal estava pleiteando junto ao Ministério da Pesca um apoio de R\$1.200.000,00



Figura 6.75 - Vila dos pescadores e instalações da Coopesca inundadas. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).



Figura 6.76 – Prédio da indústria de pesca JAPESCA. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).



Figura 6.77 - Funcionário da COOPESCA indica a altura máxima (vermelho) da lâmina de água nas câmaras frias. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março 2011).

Os estaleiros localizados as margens do Arroio São Lourenço tiveram grandes prejuízos, pois além da destruição das instalações, barcos que já estavam prontos para serem entregues assim como outros que estavam no local apenas para reparos, foram também destruídos. Alguns deles foram arrastados pela correnteza em direção a Laguna dos Patos (Figura 6.78 e 6.79).



Figura 6.78 – Instalações do estaleiro destruídas pela enxurrada. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março 2011).



Figura 6.79 – Funcionário do estaleiro mostrando a altura atingida pela água. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março 2011).

6.11.5 - Turismo

São Lourenço do Sul possui economia fortemente voltada ao setor turístico. Conforme documento fornecido pela Prefeitura Municipal, a cidade apóia e é uma das principais protagonistas do projeto Costa Doce, e que recebe este nome por causa de suas belas praias de água doce, tendo investido em infra-estrutura básica como a melhoria na sinalização turística, o embelezamento e a pavimentação da orla da praia, assim como em pontos de informações para visitantes.

A Praia da Barrinha, na costa nordeste de São Lourenço do Sul, é uma praia de águas calmas e rasas, perfeitas para o lazer familiar. Conta com boa urbanização, que foi melhorada com a construção de um calçadão que permite aos turistas percorrer toda a sua orla. É o berço do turismo popular no município.

Sua paisagem é emoldurada por centenárias figueiras, plátanos, coqueiros e juncais. Mais de 50% da sua área total é de balneário. Entre esta e a próxima área de balneário, existem áreas de proteção permanente, de esportes náuticos, de pesca artesanal amadora e profissional, com uma extensão aproximada de 2.500m.

Além das praias São Lourenço do Sul tem também o Camping Municipal, que é mantido pela Prefeitura e dispõe de uma área de aproximadamente 12 hectares, tendo em seu interior diferentes espécies de árvores nativas. O turista que dele desfruta além de estar em meio a uma bela paisagem, pode banhar-se na Laguna dos Patos com suas praias calmas e limpas.

No camping foi construída uma moderna infra-estrutura, com cantina e supermercado para compras, área de lazer com praça de brinquedos para crianças até dez anos e canchas de voleibol, futebol e bocha. Foram também construídas em toda sua extensão diversas churrasqueiras individuais e duas coletivas, além de sanitários coletivos e individuais. Nesta área foram ainda disponibilizados tanques e pias, para lavagem de roupas e utensílios domésticos e duchas espalhadas por diferentes pontos.

Tradicionalmente no segundo final de semana do mês de março São Lourenço do Sul organiza o Reponte da Canção, que é sediado no Galpão Crioulo que fica dentro do Camping Municipal. Este galpão é construído em madeira e é o único no gênero no Estado e um dos maiores da América Latina. Neste evento circulam em torno de 20 a 25 mil pessoas, gerando uma renda significativa para a economia do município.

As conseqüências do evento de enxurrada no turismo local foram desastrosas e os prejuízos vultosos considerando-se a economia do município. A primeira delas foi o

esvaziamento dos hotéis da cidade, inclusive com cancelamento de reservas para o final do ano quando ocorre a alta temporada de turismo.

Estima-se que os prejuízos no setor hoteleiro foram de R\$ 314.000,00, relacionados especialmente com o cancelamento de reservas. O comércio local, por consequência, também absorveu os impactos dessa redução do número de turistas.

Além disso, devem ser considerados os danos causados a infraestrutura turística, uma vez que os dois mais importantes pontos turísticos do município, a praia da Barrinha e o Camping Municipal foram quase que totalmente destruídos pela força das águas.

A praia da Barrinha foi devastada pelo desastre ocorrido em 10 de março de 2011. De acordo com relatório apresentado pela Prefeitura Municipal e visita feita ao local pelos pesquisadores do GEODESASTRES-SUL, as fortes correntezas vindas do Arroio São Lourenço e que se formaram pelas vias de acesso à orla da laguna criaram crateras à beira da praia, destruíram a pavimentação, o calçamento e a vegetação, arrancando árvores, inundaram residências, danificaram móveis e utensílios, atingiram pousadas a beira-mar, e redesenharam a praia através da grande quantidade de areia, saibro e cascalho deslocados em direção a Laguna dos Patos (Figuras 6.80, 6.81, 6.82 e 6.83).



Figura 6.80 - Cratera no calçamento da praia da Barrinha provocada pela força das águas do Arroio São Lourenço. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).



Figura 6.81 – Parte do calçadão destruído e árvores tombadas na praia da Barrinha como consequência da enxurrada do dia 10 de março de 2011. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).



Figura 6.82 - A linha vermelha marca a altura atingida pelas águas que invadiram casas e destruíram parte da praia da Barrinha no evento de enxurrada do Arroio São Lourenço. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).



Figura 6.83 - Parte da praia da Barrinha remodelada pela grande quantidade de areia arrastada pela enxurrada. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).

A enxurrada também causou grandes danos na infraestrutura do Camping Municipal da Laguna dos Patos, uma vez que ele está localizado as margens do Arroio São Lourenço. Foi necessária a reconstrução da estrada de acesso ao camping; de dois trapiches de travessia ao camping; reforma e construção de três módulos de banheiros sanitários; recuperação da mata ciliar e da mata nativa, rede elétrica, banheiros, entre outros (Figura 6.84, 6.85 e 6.86).



Figura 6.84 - Camping de São Lourenço do Sul inundado pela enxurrada de 10 de março de 2011. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).



Figura 6.85 - Infraestrutura do camping destruída pela enxurrada de 10 de março de 2011. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).



Figura 6.86 - Trailers destruídos no camping pela enxurrada de 10 de março de 2011.
Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).

Alguns trailers que estavam no camping acabaram sendo arrastados para a Laguna dos Patos pelas águas (Figura 6.87)



Figura 6.87 - Trailer sendo arrastado pela correnteza do Arroio São Lourenço, para dentro da Laguna dos Patos. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).

Os danos ambientais também foram consideráveis conforme pode ser observado na Figura 6.88 onde as raízes das árvores acabaram ficando expostas uma vez que a cobertura de solo foi arrancada pela correnteza das águas. Adicionalmente vários locais, tais como cursos de água secundários e próximos ao Arroio São Lourenço foram erodidos de forma violenta, arrastando uma grande quantidade de sedimentos (Figura 6.89).



Figura 6.88 - Raízes das árvores expostas devido a erosão provocada pela enxurrada ocorrida em 10 de março de 2011. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).



Figura 6.89 - Cursos de água erodidos pela enxurrada ocorrida no dia 10 de março de 2011. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).

A 27ª Edição do Reponte da Canção estava marcada para ser realizada no Camping Municipal no período de 09 a 12 de março de 2011 exatamente nos dias em que ocorreu o evento de inundação brusca no município. Ele foi inicialmente reprogramado para o período de 31 de março a 03 de abril, porém devido à magnitude dos danos causados pela inundação ele acabou sendo realizado no período de 01 a 05 de junho de 2011.

De acordo com informações prestadas pela Prefeitura Municipal para a reconstrução da praia da Barrinha e do Camping Municipal seria necessário um total de R\$ 1.607.500,00

Além do adiamento do Reponte da Canção outro evento turístico importante também foi cancelado, é o Motolagoa promovido pelo Motoclube, que deveria ter ocorrido no dia 10 de março. Este evento em geral reúne em torno de 5.000 pessoas, movimentando de forma decisiva a economia da cidade, em termos de ocupação de hotéis e restaurante. Ele foi realizado simbolicamente no período de 25 a 27 de março, quando o número de participantes foi drasticamente reduzido, tendo sido mais um encontro solidário.

Adicionalmente outras atividades turísticas no município também sofreram reveses, tais como o caminho Pomerano cujos acessos foram bastante afetados.

O Iate Clube da cidade também foi duramente afetado, com vários barcos sendo danificados e até mesmo arrastados para dentro da Laguna dos Patos (Figura 6.90).

Os barcos de turismo deixaram de fazer passeios uma vez que o canal do Arroio São Lourenço teve que ser dragado. Embarcações de pesca também foram arrastadas pela enxurrada e acabaram nas margens do arroio São Lourenço (Figura 6.91).



Figura 6.90 - Barcos de lazer arrastados pela enxurrada que atingiu São Lourenço do Sul em 10 de março de 2011. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).



Figura 6:91 - Embarcação arrastada pela força do fluxo da inundação. Foto: Acervo Zero Hora (março, 2011)

6.11.6 - Infraestrutura pública-Pontes, Vias urbanas e Estradas Vicinais

A infraestrutura pública foi amplamente afetada pela inundação. No total, foram 22 pontes municipais destruídas e outras 3 danificadas. Para a reconstrução das pontes destruídas serão necessários R\$5.232.500,00 e para recuperar as que foram danificadas serão necessários R\$60.200,00, totalizando um prejuízo de R\$ 5.292.700,00.

Na madrugada do dia 10 de março, dois trechos na BR-116 foram interditados, devido ao fato de que duas pontes foram danificadas pela inundação, bloqueando o acesso entre Porto Alegre, a capital do estado a Pelotas, no sul do estado.

De acordo com informações da Polícia Rodoviária Federal, a ponte sobre o arroio Viúva Tereza, no km 471 da BR 116, em São Lourenço do Sul, foi interditada a partir das 23h15min do dia 9 de março, chegando a água a ultrapassar a pista em 1,5 metros. As duas pontes ficaram submersas (Figura 6.92).

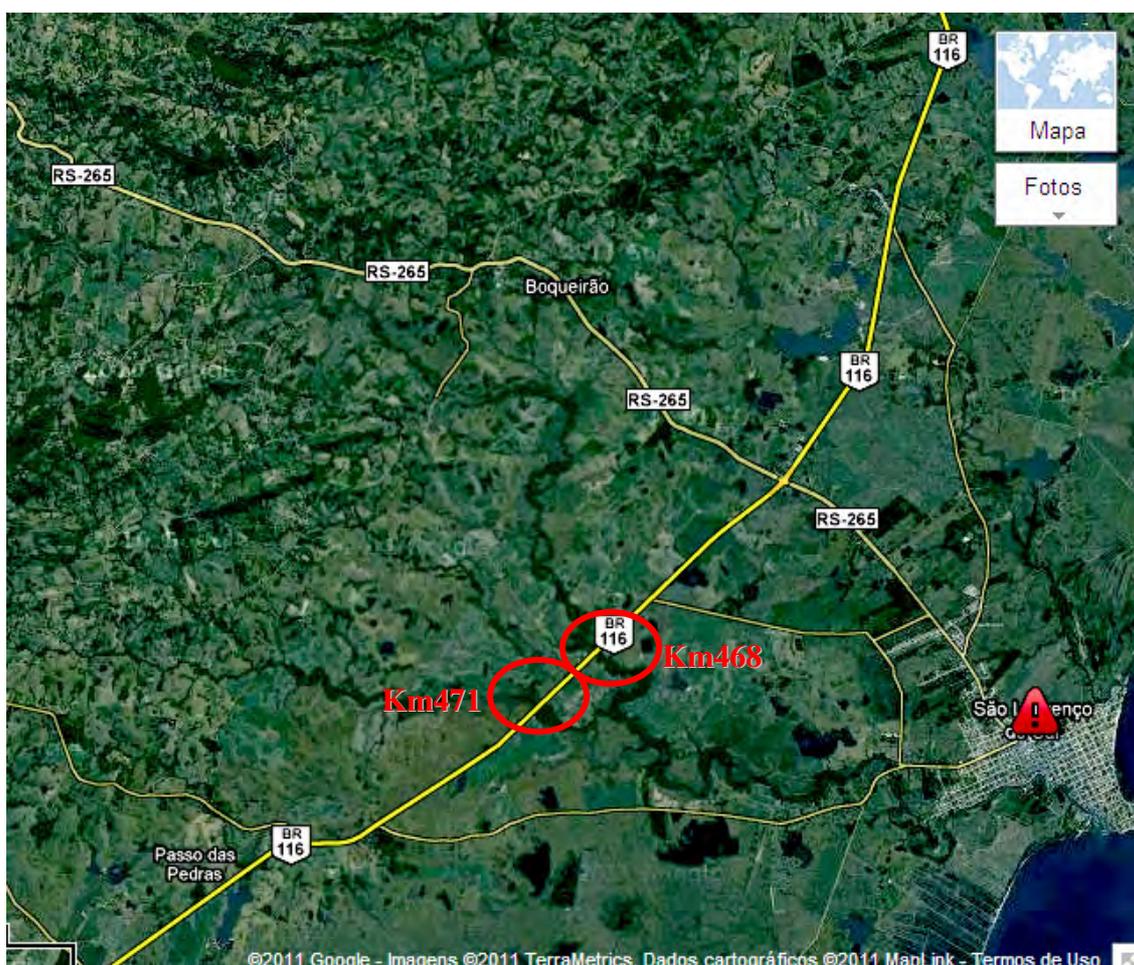


Figura 6.92 - Recorte de imagem Google Earth com a localização das pontes dos km 471 e 468 da BR116 que foram danificadas pela inundação em São Lourenço do Sul ocorrida em 10 de março de 2011

A água acumulada fez com que rios e arroios transbordassem, provocando, às 23h15min, a interdição da rodovia Porto Alegre-Pelotas (BR-116) na altura do km 471,4 em ambos os sentidos. Por volta das 2h, a Polícia Rodoviária Federal (PRF) informou que outros dois trechos da estrada foram bloqueados, no km 480, onde também há uma ponte, e no km 468, deixando a cidade de São Lourenço isolada e afetando a comunicação entre a capital do Estado e a cidade de Pelotas.

Em entrevista com o Chefe da Defesa Civil Municipal e com o Prefeito, foi relatado que “o prefeito de São Lourenço do Sul, Sr. José Nunes, que reside próximo a Ponte do Passo do Pinto, por volta da 23 horas e 30 minutos do dia 09 de março, por telefone, informou ao chefe da Defesa Civil Municipal, que se encontrava na cidade, de que o arroio, que é um afluente do arroio São Lourenço, estava enchendo rapidamente e que ele estava muito preocupado, pois esta água chegaria até a área urbana do município”. A partir daí a Brigada Militar começou a monitorar o arroio São Lourenço.

Em entrevista com o Prefeito que participou das operações de busca aos moradores isolados no interior do município, foi relatado que “a largura do canal do Arroio Passo do Pinto se multiplicou com o excesso de água, que em situações normais o arroio tem uns 15 metros de largura e na ocasião parecia que tinha um quilômetro” (Figura 6.93).

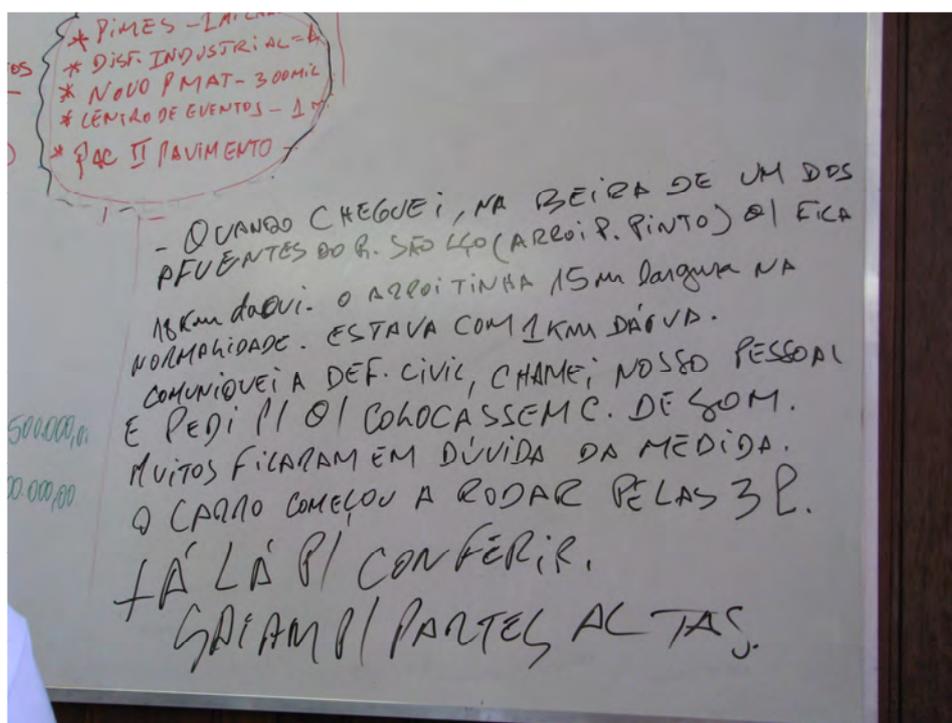


Figura 6.93 – Trechos da entrevista com o Prefeito de São Lourenço do Sul. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março, 2011).

Motoristas relatam que ao chegar a região de São Lourenço do Sul, pela BR116, por volta das 06h00min do dia 10 de março “depararam-se com uma cratera na ponte do arroio Pinto” o que impediu que eles prosseguissem viagem (<http://zerohora.clicrbs.com.br/>, acesso 10/03/2001). As cabeceiras das duas pontes foram danificadas, no km 471, na ponte sobre o arroio Viúva Teresa, os danos foram superficiais. Já no km 468, a cabeceira da ponte sobre o arroio do Pinto desmoronou cerca de cinco metros no sentido Pelotas-Camaquã (Figura 6.94)



Figura 6.94 - Ponte do arroio do Pinto, no Km 468 da BR116 danificada pela força da correnteza. Foto: Acervo Zero Hora, Crédito: Nauro Júnior, (março, 2011)

Foi construído um desvio de cerca de 80 metros de extensão para regularizar o tráfego no Km 468 da BR116 (Figuras 6.95 e 6.96).



Figura 6.95 - Ponte do Passo do Pinto, no Km 468 da BR 116, em processo de reconstrução, vista de outro ângulo, no dia 31 de março de 2011. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL, 31 de março de 2011.



Figura 6.96 - Desvio no Km 468 da BR 116, onde a ponte sobre o arroio do Pinto desmoronou, que foi utilizado para permitir o tráfego enquanto a ponte estava em reconstrução, no dia 31 de março de 2011. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL, (março de 2011)

Veículos que trafegavam pela rodovia durante a madrugada ficaram ilhados entre os km 471 e 468, pois as águas dos arroios Viúva Teresa e Pinto subiram rapidamente e deixaram as pontes submersas. No km 471, havia carros parados por cerca de 5 km dos dois lados da ponte, Figura 6.97, (<http://zerohora.clicrbs.com.br/>, acesso 10/03/2001).



Figura 6.97 - Interdição da BR-116 devido ao rompimento de parte da via. Foto: Acervo Zero Hora (março, 2011).

Dois caminhões caíram no arroio do Pinto, por volta das 3 horas do dia 10 de março, os condutores não viram que a cabeceira da ponte rompeu no local e acabaram dentro da água. Um deles conseguiu sair sozinho, mas o outro ficou em cima do capô do veículo e aguardou o socorro dos bombeiros de Pelotas. Quando foi retirado com a ajuda de cordas e bóias, foi levado ao Pronto Socorro Municipal de Pelotas, pois apresentava sinais de hipotermia, de onde foi liberado às 7h53min.

De acordo com informações fornecidas pela Defesa Civil Municipal “*a ponte do arroio Pinto foi planejada para uma vazão de 10m/s. Ela suporta uma precipitação em torno de 250 mm, uma vez que precipitações de 100 a 200 mmm não são raras na região, sendo absorvidas pela própria estrada e pelos drenos. Porém, a precipitação no município de São Lourenço do Sul foi muito superior a isto, fazendo com que um grande volume de água chegasse até ela, que acabou funcionando como uma taipa de açude e potencializando a enxurrada. Neste local a água atingiu em torno de 2 a 3 metros de altura, depois que a ponte rompeu a vazão do arroio foi muito maior, vindo como um onda, de grande intensidade, em direção a cidade*”. A Tabela 6.10 apresenta a

relação das pontes destruídas e danificadas por ocasião da inundação no município de São Lourenço do Sul.

Tabela 6.10 – Informação sobre os danos sofridos e valores estimado para a reconstrução das 25 pontes destruídas e danificadas pela inundação em São Lourenço do Sul

Ponte a serem reconstruídas totalmente	Comprimento m	Largura m	Altura m	Situação	Valor estimado de reconstrução R\$
Passo do Candombe (Entrada Fortaleza)	19	5	3	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	332.500,00
Ponte Picada Moinhos (Salão da Loira)	7	5	5	Perda total, a inundação levou toda a estrutura. Foi colocado aterro provisório para proporcionar passagem emergencial	133.000,00
Estrada Bom Jesus (Abatedouro Marilanda Meltz)	8	5	5	Perda total, a inundação levou toda a estrutura.	152.000,00
Picada das Antas (Valnei Schuartz)	8	5	2,50	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	152.000,00
Picada das Antas (Moinho Loescher)	9	5	1,50	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	171.000,00
Ponte Harmonia (Percio Leitzke)	5	5	3	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	95.000,00
Santana-Sesmaria (Geraldo Hinz)	42	5	5	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	735.000,00
Santana (Vino Kohler)	9	5	5	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	171.000,00
Fortaleza (Viúva Tereza)	7	5	3	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	171.000,00
Monte Alegre (Saída Nelson Bartz)	12	5	5,50	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	210.000,00
Picada Sabão (Travessão Picada Feliz)	11	5	4,50	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	209.000,00
Picada Sabão 1 (Arno Hirzel)	7	5	2,50	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	133.000,00

Picada Sabão 2 (Tanguart Schneid)	6	5	3	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	114.000,00
Passo dos Baios	55	5	8	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	962.000,00
Travessão Wasckow	12	5	6	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	210.000,00
Picada Sabão (Ordeni Duarte)	6	5	6	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	114.000,00
Ponte Pinheiros (Walter Peglow)	4	5	4	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	76.000,00
Esquina da Reserva	12	5	4	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	210.000,00
Hübner (Cerro Chato II)	8	5	2,50	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	152.000,00
Treptow	15	5	4	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	262.500,00
Curi	18	5	3,50	Perda total, a inundação levou toda a estrutura	315.000,00
Gusmão	6	5	3	Perda parcial, refazer a meso-estrutura e super-estrutura em concreto armado	45.200,00
Reserva (Curtume Brächer)	Sem informação	Sem informação	Sem informação	Refazer alvenaria em pedras graníticas	5.000,00
Santana 2 (Edison Behling)	Sem informação	Sem informação	Sem informação	Refazer alvenaria em pedras graníticas	10.000,00

A ponte do Passo dos Baios, que fica mais próximo a cidade, foi totalmente destruída e por muito pouco não atingiu a casa de um agricultor que vive em suas cercanias. Foi necessário passar um cabo sobre o canal do arroio para levar energia elétrica aos moradores que ficaram isolados pela queda da ponte. Além disso, houve a necessidade também de disponibilizar um serviço de barco para fazer transporte dos moradores da região entre as duas margens do curso de água (Figura 6.98 e 6.99).



Figura 6.98 – Ponte do Passo dos Baios, totalmente destruída pela inundação do dia 10 de março de 2011. A seta vermelha mostra a distância da casa que chegou a água do arroio. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março, 2011).



Figura 6.99 – Serviço de barco para o transporte dos moradores da região da ponte do Passo dos Baios que ruiu com a inundação do dia 10 de março de 2011. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março, 2011).

A Figura 6.100 apresenta a localização das pontes afetadas no município de São Lourenço do Sul e a Figura 6.101 apresenta a localização das pontes afetadas na bacia do Arroio São Lourenço

Em vermelho são as pontes destruídas e que devem ser totalmente reconstruídas, em branco as pontes danificadas e que devem ser recuperadas e em preto as pontes da BR 116 que foram atingidas pela inundação.

A grande maioria das pontes destruídas está na área de Planalto, onde ocorreram as maiores precipitações e onde ocorre o maior escoamento superficial de toda a água originada pelas chuvas. Devido a forma do relevo no Planalto, a maioria da água que precipita escoar para os cursos de água, que devem ter gradientes elevados, fazendo com que ela escorra em direção as regiões mais planas, com muita força, principalmente em episódios de chuva intensa e concentrada como foi este em São Lourenço do Sul.

Seguramente neste dia a água corria pelos cursos de água de forma violenta, potencializada pela chuva intensa e o gradiente elevado dos cursos de água, e facilmente deve ter destruído e danificado a estrutura das pontes.

As pontes da BR 116 e do Passo do Baio estão na área de Planície, onde, ao contrário do relevo no Planalto, aqui predomina o processo de acumulação e deposição das águas.

Considerando os relatos ouvidos, a quantidade de precipitação ocorrida e a forma do relevo do município, pode-se dizer que um grande volume de água desceu da região de serra de forma rápida, intensa e violenta, no caminho encontrou pontes que não comportavam a vazão de água que ocorria no momento e que funcionaram num primeiro momento como uma barreira para o escoamento desta.

O volume de água foi de tal ordem que forçou o rompimento de pontes, no primeiro momento a do Passo do Pinto, e toda a água ali acumulada veio em direção a cidade de São Lourenço em forma de onda e com grande força.

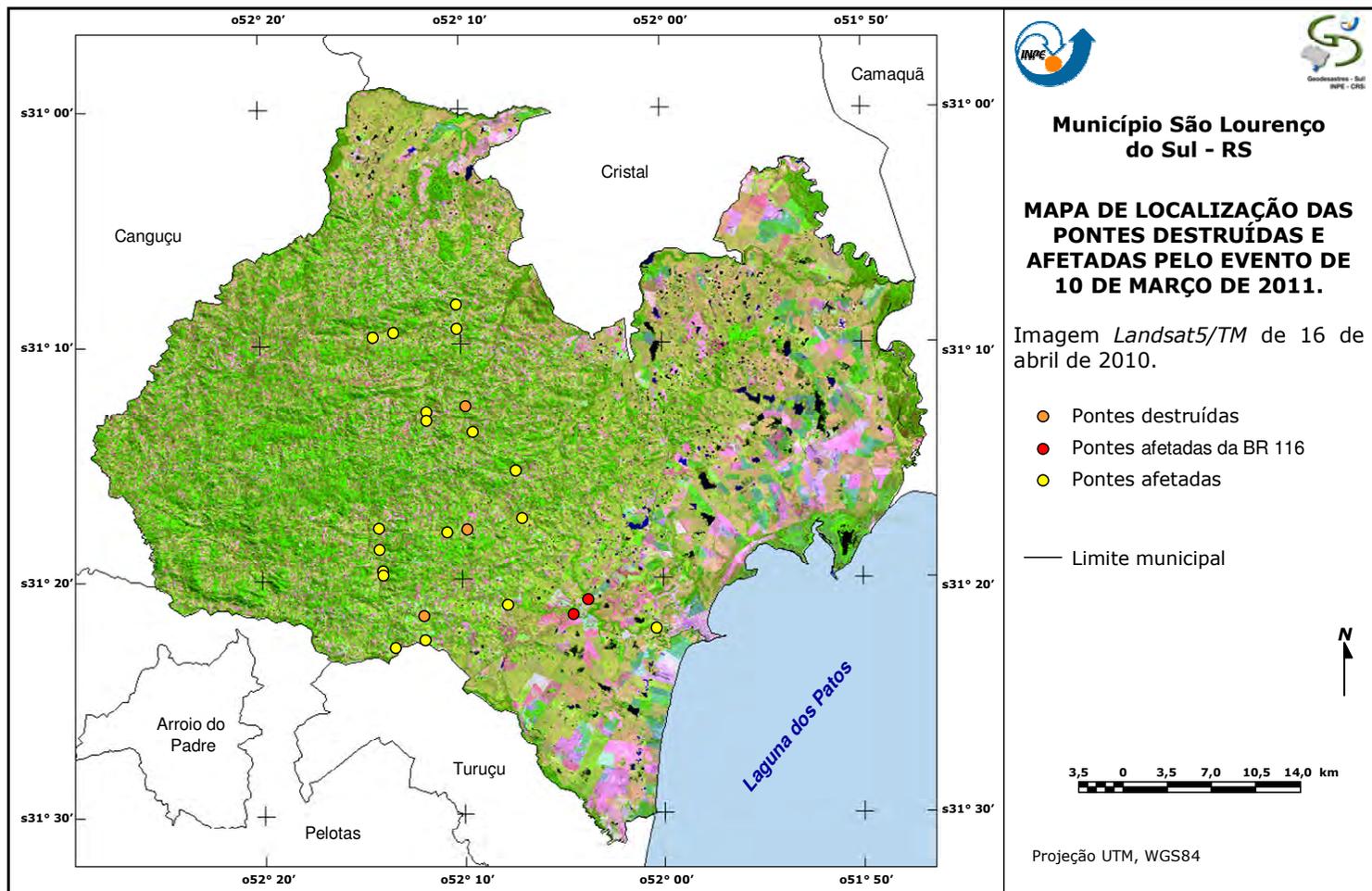


Figura 6.100 – Mapa de localização das pontes destruídas e afetadas pela enxurrada no município de São Lourenço do Sul.

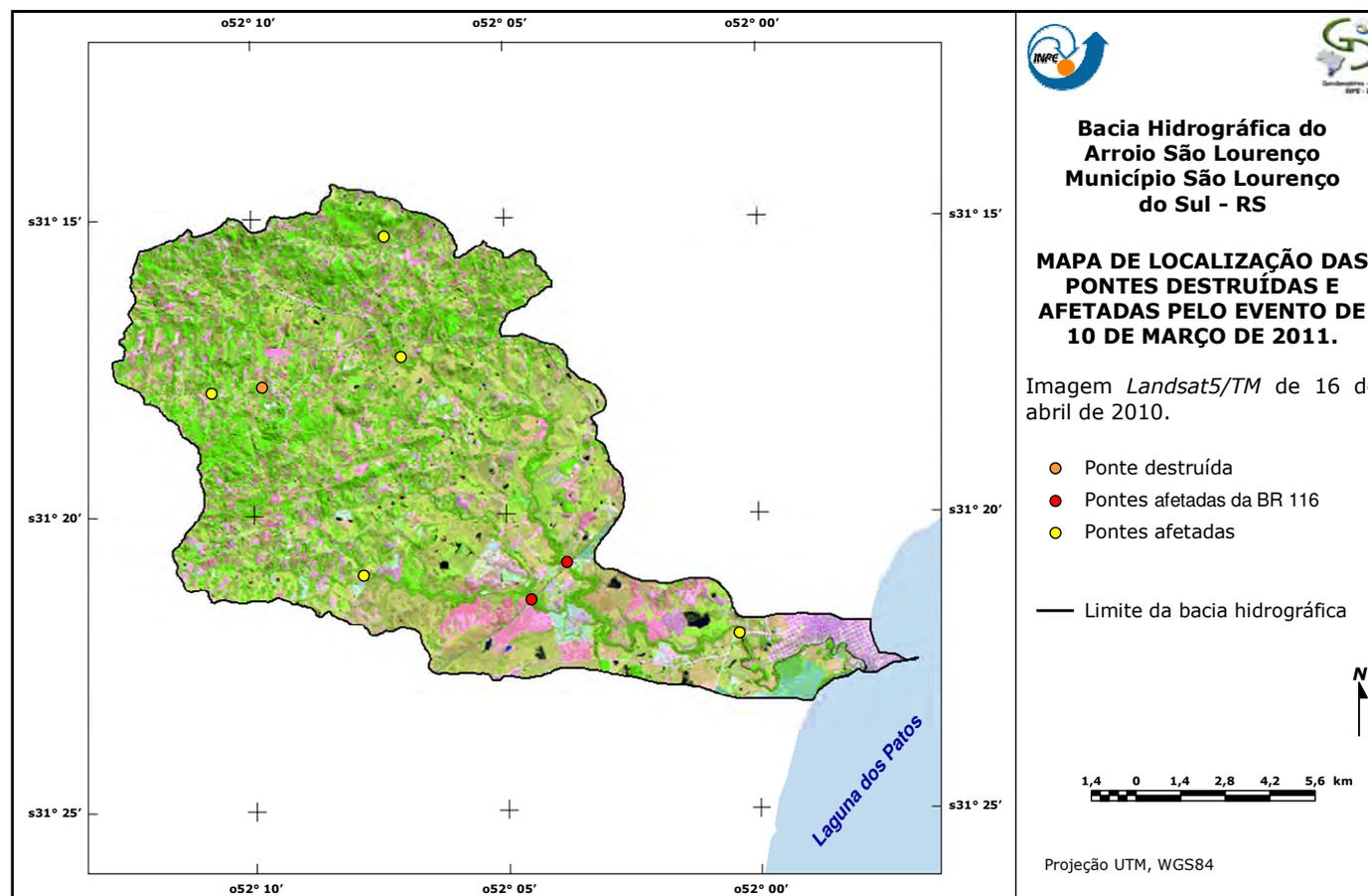


Figura 6.101 – Mapa de localização das pontes destruídas e afetadas pela enxurrada na bacia do Arroio São Lourenço.

Isto pode ser observado no trabalho de campo onde toda a vegetação ribeirinha foi arrancada, destruída, arrastada ou tombada pela força da correnteza do Arroio São Lourenço (Figura 6.102).



Figura 6.102 – Vegetação as margens do arroio São Lourenço arrancada pela força da correnteza. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março, 2011)

6.11.7 - Pavimentação urbana e estradas vicinais

A pavimentação das vias urbanas também sofreu severos danos, calcula-se que 323.286m² tenham sido danificados. Os trechos afetados foram àqueles feitos de paralelepípedo, que em geral formavam como que uma lombada em linha reta ao longo da via, como mostra a Figura 6.103.



Figura 6.103 - Rua na área urbana de São Lourenço do Sul danificada devido a inundação.
Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março, 2011).

Parte das vias urbanas de São Lourenço do Sul não é pavimentada e foram também bastante danificadas, sendo algumas delas erodidas pela correnteza da água, assim como várias calçadas e estradas vicinais (Figura 6.104, 6.105 e 6.106).



Figura 6.104 - Via urbana não pavimentada danificada pela inundação. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011)



Figura 6.105 – Calçada destruída pela inundação em São Lourenço do Sul. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março, 2011).



Figura 6.106 - Estrada vicinal danificada pela inundação em São Lourenço do Sul. Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).

No bairro Barrinha as vias marginais à praia também foram danificadas, prejudicando o acesso de moradores e turistas (Figura 6.107).



Figura 6.107 - No bairro Barrinha, as ruas foram danificadas com o fluxo da inundação. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março, 2011)

6.11.8 - Danos Humanos

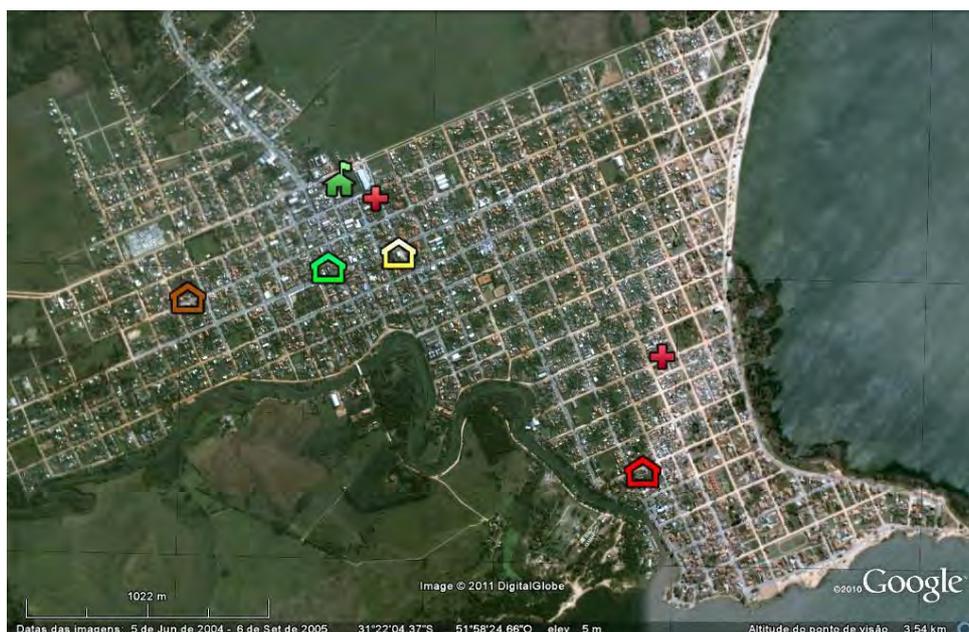
Quanto aos danos humanos, foram registradas sete mortes, das quais cinco eram idosos com dificuldade de locomoção ou cardíacos, uma senhora de 52 anos que faleceu junto com sua mãe e uma criança de 13 anos arrastada pela correnteza. O número de desalojados foi de 11.018 pessoas, acolhidos em quatro abrigos temporários na cidade. Outras 1.345 pessoas também tiveram que sair de suas moradias, mas foram para casa de familiares, vizinhos ou amigos (Figura 6.108).



Figura 6.108 - Desalojados pela inundação dividem espaço em salão da Igreja matriz de São Lourenço do Sul (RS). Foto: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).

As aulas foram suspensas em algumas escolas, pois funcionaram de abrigo ou porque foram afetadas pela inundação (Figura 6.109). A estimativa foi de 8.221 alunos sem aula por dia e o prejuízo para Secretaria de Educação, somou R\$ 503.906,60.

Cerca de 3.600 pessoas adoeceram em decorrência da inundação, além de 4.000 levemente feridas e outras 1.170 gravemente feridas. Outras consequências causadas relacionadas à saúde da população foram os traumas psicológicos gerados



-  Abrigo Salão da Matriz (Centro);
-  Abrigo Salão 3 de Maio (Centro);
-  Abrigo Salão Nossa Senhora de Fátima (Lomba);
-  Abrigo Salão N. Senhora dos Navegantes (Navegantes);
-  QG Defesa Civil - Esporte Clube São Lourenço (Centro);
-  UBS Central;
-  UBS Navegantes.

Figura 6.109 - Localização dos abrigos para a população afetada pela inundação e do QG da Defesa Civil. Fonte: Acervo Prefeitura Municipal de São Lourenço do Sul (março, 2011).

Os prejuízos causados pela inundação em São Lourenço do Sul certamente ultrapassam aqueles estimados pelos órgãos oficiais. Atividades relacionadas ao turismo foram duramente afetadas, com a redução do número de turistas circulando pela cidade.

6.11.9 - Análise dos questionários

Entre os dias 30 de março e 1 de abril de 2011 foram realizadas entrevistas com os moradores e comerciantes da área urbana de São Lourenço do Sul, afetados pela inundação ocorrida no dia 10 de março. No total, foram 25 entrevistas em residências e 7 em comércio. O formulário era constituído de 41 questões de múltipla escolha, mistas e

abertas, as quais abrangiam aspectos socioeconômicos e de percepção ambiental dos moradores.

Os comerciantes entrevistados eram do ramo hoteleiro, de supermercados, ferragens, bar, estaleiro e oficina mecânica, dos bairros Navegantes, Centro e Lomba. Os maiores prejuízos foram com a perda em mobília, computadores e equipamentos como balanças, compressoras e freezer. A maior parte dos entrevistados teve prejuízos entre R\$ 2.700 a 5.400,00, mas outros comércios apresentaram valores bem superiores. O ramo hoteleiro foi afetado pela queda do número de hóspedes. Na ocasião, em uma das entrevistas, foi informado que todas as reservas para o feriado de Páscoa haviam sido canceladas. Além do temor pela nova ocorrência de um evento como aquele de 10 de março, a beleza cênica da Laguna dos Patos havia sido duramente afetada, como demonstra a Figura 6.110, o que contribuíram para o cancelamento das reservas.



Figura 6.110 - Margens da Laguna dos Patos duramente afetada pela inundação do dia 11 de março de 2011. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março, 2011)

Ainda em relação aos prejuízos, foi relatado que no ramo supermercadista os reflexos com a queda do movimento seria registrado ainda pelos próximos 3 a 4 meses. Prevvia-se a queda da venda de bens ditos como supérfluos. Outro relato foi dado por uma proprietária de um bar que notou a queda acentuada do movimento. Antes do evento, a

média diária de vendas era de R\$70,00 e que por ocasião do trabalho de campo, as vendas não ultrapassavam R\$10,00. A comerciante ainda notou a mudança do comportamento de seus clientes, como falta de motivação e tristeza. Em outra entrevista, uma artesã relatou que perdeu quantia considerável da matéria-prima de suas encomendas (Figura 6.111).



Figura 6.111 - Ateliê de artesanato afetado pela inundação. A lâmina de água chegou a 1,20m de altura. Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março, 2011)

Dentre os sete comércios entrevistados, três possuíam seguro. Contudo, dois não puderam acioná-lo. No primeiro caso, a cobertura não atendia situações como queda do número de hóspedes e no segundo caso, o seguro feito previa adversidades como vendavais e incêndios, mas não inundações.

Na área residencial foram feitas 18 entrevistas nos bairros Barrinha, Centro, Navegantes e Lomba. O tempo médio de moradia dos entrevistados foi de 14 anos, três moradores dentre aqueles que residiam há mais de 30 anos, dois relataram já terem passado por outra inundação, mas nada semelhante ao ocorrido no dia 10. Por causa da inundação, 78% dos moradores tiveram que sair de suas residências e a maioria procuraram se abrigar em casa de parentes e amigos.

A maior parte dos prejuízos sofridos pelos entrevistados da área residencial era relacionada com a mobília, como cama, guarda-roupas e sofá. Ainda foram registrados prejuízos a eletrodomésticos como geladeira, lavadora de roupas e microondas; 78% dos entrevistados tiveram pelo menos um móvel ou eletrodoméstico inutilizado.

Os entrevistados que tiveram prejuízos com veículos ou motocicletas totalizaram 33%. Dada a rapidez da subida do nível da água, muitos se refugiaram no andar superior ou nos telhados de suas casas, e não optaram por fugir com seus veículos. A avaria mais comum foi relacionada com a parte elétrica e dois entrevistados relataram que tiveram perda total de seus automóveis: um Fusca, avaliado em R\$4.000,00 e um Astra, de R\$30.000,00.

Em relação à perda de dias de trabalho, 56% dos entrevistados afirmaram que tiveram que se afastar pelo menos um dia de suas atividades profissionais. A média foi de 8 dias paralisados. Dentre os depoimentos coletados, todos relataram que os empregadores compreenderam a situação adversa que os levou a se ausentar do trabalho.

A partir das entrevistas foi possível constatar que os moradores não possuem percepção de risco frente às inundações. Dentre os entrevistados da área residencial, nenhum morador possuía seguro contra inundações. Quando indagados a respeito da possibilidade de adquirirem apólice de seguro, apenas 17% dos entrevistados expressaram ter interesse. Contraditoriamente, 61% dos entrevistados afirmaram que reconhecem que moram em área de risco (Figura 6.112). O principal motivo apontado para não contratar um seguro residencial foi o alto valor que poderia comprometer a renda familiar.



Figura 6.112 - Gráfico sobre a porcentagem de pessoas que moram ou não em área de risco

Constatou-se durante as entrevistas que alguns moradores ainda estavam bastante aterrorizados com o ocorrido, alguns sob efeito de medicação (Figura 6.113). Muitos ainda se emocionavam ao relatar sua experiência durante a inundação e quando indagados sobre se em algum momento temiam pela sua própria vida, a grande maioria respondeu positivamente.



Figura 6.113 - Medicamento de uso controlado como apoio para o trauma sofrido pelos moradores de São Lourenço do Sul Foto: Acervo GEODESASTRES-SUL (março 2011)

7. Considerações Finais

Ao término deste estudo pode-se observar que:

- As chuvas abundantes, localizadas e em curto espaço de tempo, como as que ocorreram na madrugada de 09 para 10 de março de 2011, em São Lourenço do Sul, são típicas desta época do ano, elas podem ocorrer em um local específico do município e não ocorrerem em outros. Este foi um evento localizado e singular, podendo ou não repetir-se;
- Este episódio de chuvas abundantes foi o desencadeador do processo de inundação brusca ocorrido na bacia do Arroio São Lourenço, em cujas cabeceiras se localizaram os grandes volumes de precipitação, ao contrário da cidade onde não choveu ou o total de precipitação não foi suficiente para provocar este tipo de desastre natural;
- O relevo do município e da bacia do Arroio São Lourenço, com trechos em vertentes muito convexas a convexas, que facilitam a dispersão das águas, bem como a grande diferença de gradiente entre as áreas de cabeceiras e o trecho inferior do arroio, favorecem o escoamento superficial, de forma rápida, com grande potencia e em grandes quantidades, fatores estes que, aliados às chuvas concentradas, contribuem decisivamente para eventos de inundação brusca (enxurrada), como ocorrido em São Lourenço do Sul;
- O fato do Arroio São Lourenço em seu trecho inferior apresentar o padrão meandrante, portanto um canal com baixo gradiente, e cotovelos de drenagem são fatores que contribuem para o acúmulo e lento escoamento da água, que aliados ao aporte em grandes volumes, como ocorreu no dia 10 de março, facilitam o extravasamento desta e a ocorrência de inundações;

- A bacia do Arroio São Lourenço tem 81% de sua área em terrenos cuja declividade favorece o escoamento superficial variando de médio a muito rápido e 14,50% onde praticamente não ocorre escoamento superficial, e sim a deposição das águas;
- A bacia do Arroio São Lourenço, principalmente em seu curso superior e médio, apresenta formas de vertentes que favorecem o escoamento superficial (muito divergente e divergente) e o acúmulo de águas (muito convergente e convergente) nos canais de drenagem, o que facilita tanto o transporte de água e de materiais, bem como o acúmulo destes nos canais, fatores estes que contribuem não só para inundações bruscas, mas também para inundações graduais, como as que já ocorreram anteriormente no município;
- O curso superior do Arroio São Lourenço apresenta predominantemente formas de relevo convexo-divergente (onde ocorre a máxima dispersão de escoamento) e côncavo-convergente (onde ocorre a máxima concentração e acúmulo de escoamento). A primeira refere-se às áreas de interflúvios e a segunda aos canais de drenagem, ambas tem papel relevante no transporte de materiais e no escoamento superficial. Nos cursos médios e inferior há o predomínio da forma de relevo planar-retilíneo que facilita a deposição tanto dos materiais como das águas;
- A expansão da classe Solo, de forma geral, em todo o município de São Lourenço do Sul e na bacia do Arroio São Lourenço, (solo exposto/solo preparado/solo em pousio) permitiu identificar quais áreas ficam descobertas de vegetação no período de março/abril, quando ocorreu o episódio de chuvas concentradas e que corresponde ao período de transição entre as culturas de verão e inverno. As informações contidas no mapa de uso e cobertura do solo referem-se ao ano de 2010, mas não deve haver grandes diferenças destas para o ano de 2011, quando houve o evento de enxurrada. Assim, as chuvas concentradas ocorreram em um período em que o solo estava desprotegido de vegetação, por corresponder ao término de colheita e início de preparação do solo para a próxima safra;

- As imagens de satélite GOES 12 permitiram caracterizar de forma clara como se formou e se desenvolveu o evento de chuvas concentradas em São Lourenço. É possível acompanhar nas imagens, o deslocamento do sistema que deu origem as chuvas abundantes no Sul do Rio Grande do Sul, bem como se desenvolveu o evento sobre o município de São Lourenço do Sul. Esta informação foi importante para entender como se formou a inundação brusca na bacia do Arroio São Lourenço.
- As imagens de satélite e os dados do Projeto TOPODATA possibilitaram que fosse feita uma radiografia completa do município em termos de rede de drenagem, relevo, declividade, formas das vertentes, formas de relevo, uso e cobertura do solo. Estas informações auxiliaram na caracterização do município de São Lourenço do Sul e da bacia do Arroio São Lourenço, possibilitando a identificação dos fatores que contribuíram para a ocorrência de inundação brusca;
- A conjugação de chuvas abundantes, tipo de relevo, padrão de drenagem, gradiente do relevo e uso e cobertura do solo, foram decisivos para a ocorrência do evento de inundação brusca na bacia do Arroio São Lourenço;
- O grande volume de água que foi represado pela ponte no Passo do Pinto acabou potencializando o poder de destruição da água trazida do curso superior, em grande volume. Esta, após o rompimento da ponte, passou a escoar de forma violenta e em onda, com enorme capacidade de arrancar e carregar para diante o que encontrou por diante, e ao chegar ao curso inferior do arroio, que é na forma de meandro, teve sua capacidade de escoamento bastante diminuída, o que facilitou o extravasamento das águas em direção à cidade;
- O estreitamento no canal do arroio São Lourenço devido a presença de vegetação aquática deve ter dificultado o escoamento do grande volume de água recebido por este curso de água e contribuído para o extravasamento deste de seu leito em direção a área urbana, provocando dessa forma o evento de inundação.

- Este foi um episódio inesperado, difícil de ser previsto, de grande magnitude, e completamente diverso das inundações regulares e graduais já ocorridas na bacia do Arroio São Lourenço.
- Sugere-se que com as informações fornecidas neste estudo seja elaborado um plano de prevenção, manejo e mitigação de desastres para o município de São Lourenço do Sul e para a bacia do Arroio São Lourenço, que leve em consideração as variáveis mencionadas anteriormente.

8. Referências Bibliográficas

ASTER Global Digital Elevation Model,

<http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/2.html#application>, acessado em 12/03/2011

Caminhões caem dentro do arroio na BR 116, em São Lourenço do Sul-Um dos motoristas ficou em cima do capô até ser socorrido pelos bombeiros

<http://www.correiodopovo.com.br/Noticias/?Noticia=266539>

CASTRO, A. L. C. *Glossário de Defesa Civil: estudos de riscos e medicina de desastres*. Brasília: MPO, 1998. 283 p.

CHRISTOFOLETTI, A.; Geomorfologia, Ed. Edgard Blucher Ltda., São Paulo, SP, 1974, pp. 149;

Chuva causa estragos e deixa famílias ilhadas em cidades do RS, <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/886759-chuva-causa-estragos-e-deixa-familias-ilhadas-em-cidades-do-rs.shtml>, Folha.com, DE SÃO PAULO, 10/03/2011 - 06h40, acessado em 11/03/2011.

Chuva danifica cabeceiras de pontes na BR-116 em São Lourenço do Sul e rodovia segue bloqueada

<http://zerohora.clicrbs.com.br/zerohora/jsp/default.jsp?uf=1&local=1§ion=Geral&newSID=a3234902.xml> acessado em 10/03/2011

Chuva interrompe BR 116 e deixa veículos ilhados em São Lourenço do Sul- Cabeceiras de pontes caíram e condutores precisam fazer desvio de 200 quilômetros

<http://www.correiodopovo.com.br/Noticias/?Noticia=266539>, acessado em 05/10/2011

Confira os prejuízos nas cidades afetadas pela enxurrada no sul do Estado

<http://zerohora.clicrbs.com.br/zerohora/jsp/default.jsp?uf=1&local=1§ion=Geral&newSID=a3235004.xml>

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. Imagens fotográficas derivadas de MNT do SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia. São José dos Campos: INPE, 2004. 40 p. (INPE-11238-RPQ/761). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/sergio/2004/08.24.10.39>>. Acesso em: 09 nov. 2011.

DIKAU, R.; Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods; Geomorph. N.F.; Suppl.; Bd. 80, pp 45-55, Berlim-Stugart, Germany, December 1990, www.geomorphology.uni-bonn.de/.../Derivative...

DUTRA, L. V.; FRERY, A. C.; KRUG, T.; MASCARENHAS, N. D. A.; SANT'ANNA, S. J. S.; YANASSE, C. C. F. Alguns aspectos de modelagem estatística de dados de sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, 10-14 maio, 1993. Tutorial 1. São José dos Campos, INPE, 1993, 25 p. Notas do curso ministrado no simpósio.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412p.

FLORENZANO, T.; (org.). GEOMORFOLOGIA: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo, Oficina de textos. 2008. PP 318. ISBN 978-85-86238-65-9

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Digital image processing. Reading, Addison - Wesley, 1992. 716 p.

GUERRA, A.T.; GUERRA, A.J.T.; Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico, 4ªEd., Rio de Janeiro, Bertrand, Brasil, 2008, 652 p.

HASENACK, H.; WEBER, E. (org.). Base cartográfica continua do Rio Grande do Sul – escala 1:50.000. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM (Série Geoprocessamento, 3).

<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/886639-temporal-interdita-a-br-116-entre-porto-alegre-e-pelotas-rs.shtml>, acessado em 11/03/2011

IBGE-Mapa geomorfológico, Folha Pelotas/Mostardas-SH.22-Y-D/Z-C, 2003

IBGE-Mapa geomorfológico, Folha Pedro Osório-SH.22-Y-C, 2003

IBGE-Mapa geomorfológico, Folha Porto Alegre-SH.22-Y-B, 2003.

IBGE-Mapa geológico, Folha Pelotas/Mostardas-SH.22-Y-D/Z-C, 2003

IBGE-Mapa geológico, Folha Pedro Osório-SH.22-Y-C, 2003

IBGE-Mapa geológico, Folha Porto Alegre-SH.22-Y-B, 2003.

Lei Federal Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, Institui o Novo Código Florestal, <http://www.ambiente.sp.gov.br/madeiralegal/CodigoFlorestal.pdf>

MARCELINO, I. P. V. de O., SAITO, S. M., MARCELINO, E. V., GOERL, R.F., MOLLERI, G.S.F. Análise dos questionários aplicados nas comunidades catarinenses mais atingidas pelo Ciclone Catarina In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1, 2004, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. 719-733p. (CD-ROM)

MATHER, P. M. Computer processing of remotely sensed images: an introduction. Edmunsbury Press, 1987. 352 p.

Não consegui avisar no emprego que vou me atrasar", relata passageira presa na estrada <http://zerohora.clicrbs.com.br/zerohora/jsp/default.jsp?uf=1&local=1§ion=Geral&newSID=a3234934.xml>

PESCHIER, J., Characterisation of Topographic Surfaces on a Triangulated Irregular Network (TIN), February 1996, 14 p.

1996<http://mmc2.igeofcu.unam.mx/cursos/geoest/Articulos/Geostatistics/Chara.>, Acessado 14/09/2011.

RICHARDS, J. A. Remote sensing digital image analysis: an introduction. Berlin, Springer-Verlag, 1986. 281 p.

RODRIGUES, T. L., DEBÁIS, P., SOUZA, R. F., Avaliação da adequação dos produtos ASTER GDEM no auxílio ao mapeamento sistemático brasileiro; III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010, p. 001-005.

SAITO, S.M.; SAUSEN, T.M. Análise dos prejuízos socioeconômicos e ambientais causados pelas inundações no Rio Grande do Sul. In: 13º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL/ 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS E TECNOLÓGICOS. 2011, São Paulo, *Anais...* São Paulo: CBGE/SIBRADEN, 2011, 8p.

SAUSEN, T. M.; FERREIRA, C. C.; SOUSA JÚNIOR, M. A.; HANSEN, M. A. F.; LACRUZ, M. S. P.; SAITO, S. M. *Ciclone extratropical ocorrido em maio de 2008 (SC e RS): gênese, evolução e avaliação das consequentes inundações com o auxílio de geotecnologias*. São José dos Campos: INPE, 2009. 171 p. Vinculado ao Projeto GEODESASTRE-SUL. (INPE-15658-NTC/378). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/01.26.11.17>>.

São Lourenço do Sul-“Há pessoas nos telhados das casas
<http://cguemquestao.blogspot.com/2011/03/sao-lourenco-do-sul-ha-pessoas-nos.html>

TACHINI, M.. *Avaliação de danos associados às inundações no município de Blumenau*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, 2010, 167p.

Temporal interdita a BR-116 entre Porto Alegre e Pelotas (RS), Publicidade, RENATO CASTRONEVES, COLABORAÇÃO PARA A FOLHA,

Tráfego no km 471 da BR-116 já está liberado em meia pista, no sul do Estado-Equipes da Ecosul trabalharam durante toda a madrugada para restabelecer o trânsito
<http://www.radiogaucha.com.br/zerohora/jsp/default.jsp?uf=1&local=1§ion=Geral&newsID=a3236446.htm> (acessado em 05 /10 2011)

VALERIANO, M. M. **Topodata**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE, 2008. 72 p. (INPE-15318-RPE/818). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24>>. Acesso em: 1 set. 2011.

ANEXO A

FICHA DE COLETA DE DADOS – CATEGORIA RESIDENCIAL

Data: _____ Hora: _____ Ponto GPS: _____
Latitude: _____ Longitude: _____
Nº Fotos: _____
Observações: _____

SOBRE OS RESIDENTES:

1. Nome do entrevistado: _____
2. Sexo () F () M
3. Endereço do imóvel: _____
4. Bairro: _____
5. Grau de instrução: _____

6. Quantas pessoas residem no imóvel? Crianças: _____ Adultos: _____ Idosos: _____
7. Há quanto tempo reside no imóvel? _____
8. Renda familiar mensal estimada: _____

SOBRE O IMÓVEL:

9. Tipo construtivo: () Próprio () Alugado () Cedido () Outro: _____
10. Nº de cômodos do imóvel: _____ 11. Nº de cômodos molhados do imóvel: _____

12. Tipo de Construção: () Alvenaria () Madeira () Blocos () Mista () Outros: _____

13. Número de pisos: _____
14. Possui seguro contra danos por inundações? () Sim () Não
15. Se negativo, estaria disposto a pagar seguro? () Sim () Não

PROBLEMAS COM INUNDAÇÕES:

16. Danos ao imóvel: () Piso () Revestimento () Estrutura () Outros _____
17. Prejuízo com veículo? () Sim () Não
18. Bens inutilizados: () TV () Geladeira () Máquina de lavar () Computador () Outro

19. Móveis inutilizados: () Sofá () Cama () Guarda-roupas () Estante () Mesa ()
Outro _____

20. Perda de dias de trabalho para reparos na residência: _____

21. Perda de dias letivos dos estudantes: _____

22. Estimativa dos prejuízos decorrentes de bens perdidos e/ou danificados e dos estragos no imóvel em geral:

() de R\$ 540,00 a R\$ 2.700,00

() de R\$ 2.700,00 a R\$ 5.400,00

() de R\$ 5.401,00 a R\$ 10.800,00

() de R\$ 10.801,00 a R\$ 21.600,00

() de R\$ 21.601,00 a R\$ 32.400,00

() de R\$ 32.401,00 a R\$ 54.000,00

() de R\$ 54.001,00 a R\$ 81.000,00

() de R\$ 81.000,00 a R\$ 108.000,00

() mais de R\$ 108.000,00

23. Vocês tiveram que deixar a residência? () Sim () Não

24. Em caso positivo, para onde foram?

() Casa parentes () Casa amigos () Casa vizinhos () Abrigo Defesa Civil

Em caso negativo:

25. Você acolheu pessoas em sua casa? () Sim () Não

26. Você ou familiares colaboraram com a Defesa Civil? () Sim () Não

27. Houve necessidade de medicamentos para suportar a inundação?

() Sim () Não

28. Falecimento de familiares durante inundações:

() Quantas pessoas? _____ () pai () mãe () avós () irmãos () outros

SOBRE O FENÔMENO

29. Durante o evento havia:

() Ventos fortes () Raios/Trovoadas () Granizo () Outro: _____

30. Altura máxima que a água atingiu seu imóvel: _____m

31. A que horas a sua casa começou a ser inundada? _____

32. Tinha conhecimento sobre a previsão de chuvas intensas? () Sim () Não

33. Se positivo, como soube? () Televisão () Rádio () Internet () Defesa Civil
() Bombeiros () Outros

34. Se positivo, você avisou alguém? () Familiares () Amigos () Vizinhos ()
Outro

PERCEPÇÃO DO MORADOR

35. Você acha que aqui é uma área de risco de inundação?

() SIM () NÃO () Desconhece

36. Se positivo, acredita que há perda de valor do imóvel por estar em área inundável?

() SIM () NÃO () Desconhece

37. Você já tinha sido afetado por alguma inundação? () SIM () NÃO

38. Se positivo, quantas vezes? _____

Data: _____

Local: _____

39. Quais foram os prejuízos: () Veículo () Imóvel () Outros

40. Se sim, quais são os motivos que te mantém morando aqui?

() Próximo do trabalho () Próximo da família ()

Outro: _____

41. Quais são os pontos positivos e negativos de morar neste local?

Positivos: _____

Negativos: _____

ANEXO B

FICHA DE COLETA DE DADOS - CATEGORIA COMÉRCIO/SERVIÇOS

Data: _____ Hora: _____

Ponto _____ GPS: _____

Latitude: _____ Longitude: _____

Nº Fotos: _____

Observações: _____

SOBRE A ATIVIDADE:

1. Nome do entrevistado: _____

2. Sexo () F () M

3. Nome do estabelecimento: _____

4. Ramo de atividade: _____

5. Endereço do imóvel: _____

6. Bairro: _____

7. Quanto tempo ocupa o imóvel? _____

8. Quantas pessoas trabalham no imóvel? _____

SOBRE O IMÓVEL:

9. Tipo de construção: () Alvenaria () Madeira () Blocos () Mista () Outros: _____

10. Número de pisos: _____

PROBLEMAS COM INUNDAÇÕES:

11. O imóvel sofreu danos e/ou prejuízos por causa de problemas decorrentes de inundações?

() SIM () NÃO

12. Se positivo, quais? () Móvel () Computador () Equipamentos diversos

() Mercadorias () Outros _____

13. Total de dias de trabalho paralisado: _____

14. Estimativa dos prejuízos decorrentes:

() de R\$ 540,00 a R\$ 2.700,00

() de R\$ 2.700,00 a R\$ 5.400,00

() de R\$ 5.401,00 a R\$ 10.800,00

() de R\$ 10.801,00 a R\$ 21.600,00

() de R\$ 21.601,00 a R\$ 32.400,00

- de R\$ 32.401,00 a R\$ 54.000,00
- de R\$ 54.001,00 a R\$ 81.000,00
- de R\$ 81.000,00 a R\$ 108.000,00
- mais de R\$ 108.000,00

- 15. Possui seguro contra danos por Inundações? Sim Não
- 16. Caso negativo, estaria disposto a pagar seguro? Sim Não
- 17. O imóvel é: Próprio Alugado Cedido
- 18. Se próprio, pensa em vender o imóvel: SIM NÃO
- 19. Se alugado, pensa em se mudar/romper contrato?: SIM NÃO

SOBRE O FENÔMENO:

- 21. Altura máxima que a água atingiu seu imóvel: _____m
- 22. Tinha conhecimento sobre a previsão de chuvas intensas? Sim Não
- 23. Se positivo, como soube? Televisão Rádio Internet Defesa Civil
 Bombeiros Outros
- 24. Se positivo, você avisou alguém? Familiares Amigos Vizinhos
Outro