

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA,
GEOFÍSICA E
CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

MARIA DEL CARMEN
SANZ LOPEZ

Hidrometeorologia da erosão antrópica na Região Metropolitana de São Paulo

São Paulo
2021

MARIA DEL CARMEN SANZ LOPEZ

Hidrometeorologia da erosão antrópica na Região Metropolitana de São Paulo

“Versão Corrigida. O original encontra-se disponível na Unidade”

Dissertação apresentada ao Instituto de Astronomia,
Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade
de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em
Ciências Atmosféricas.

Orientador: Prof. Dr. Augusto José Pereira Filho

São Paulo

2021

Nome: LOPEZ, Maria del Carmen Sanz

Título: Hidrometeorologia da erosão antrópica na Região Metropolitana de São Paulo

Dissertação apresentada ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências Atmosféricas.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Augusto Jose Pereira Filho - orientador

Instituição: IAG/USP

Julgamento: Aprovada

Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

Instituição: UNESP

Julgamento: Aprovada

Prof. Dr. Leonardo Calvetti

Instituição: UFPEL

Julgamento: Aprovada

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Augusto José Pereira Filho, pela atenção e apoio no processo de definição do trabalho de pesquisa e pela orientação.

Ao meu esposo Dr. Jorge Luiz Diaz Pinaya e ao meu filho Prof. Dr. Walter Hugo Lopez Pinaya, pela presença e incansável apoio ao longo do período de elaboração deste trabalho e colaboração.

Aos meus colegas do Laboratório de Hidrometeorologia do DCA-IAG/USP pelo incentivo e colaboração, em especial ao M.Sc. Eleazar Chuchón Angulo e ao Dr. Felipe Vemado.

Ao Meteorologista Kleber Rocha pelo fornecimento de dados, imagens e informações do Radar Meteorológico de São Paulo.

Ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis pelo fornecimento dos dados de eventos de erosão.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.”

RESUMO

LOPEZ, Maria del Carmen Sanz. Hidrometeorologia da erosão antrópica na Região Metropolitana de São Paulo. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas) - Instituto e Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2021.

A população urbana tem crescido de forma acelerada em todo o mundo e, na região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Isso tem provocado consequências danosas ao meio ambiente e às próprias pessoas que vivem nas cidades. Os processos erosivos tem grande participação na degradação do meio ambiente. A chuva é o principal agente erosivo na RMSP. Este estudo caracterizou os eventos de erosão provocados pela precipitação, através da estimativa de precipitação acumulada diária do Climate Prediction Center Morphing Method (CMORPH) e pela integração a rede telemétrica de superfície pelo método de Análise Objetiva Estatística (ANOBES). No banco de dados da Defesa Civil foram separados 400 eventos na área da RMSP, entre 2000 e 2013, e destes escolheu-se 7 para realizar análise climatológica, quantitativa e meteorológica. Em uma observação inicial verificou-se que 58 % dos eventos de erosão ocorrerão no verão, e devido a este fato dos eventos selecionados 4 são em janeiro, 2 em fevereiro e 1 em dezembro. Se destacam dois núcleos mais ativos o da Serra do Mar e o da Serra da Cantareira onde os municípios de São Bernardo do Campo e Caieiras foram os que mais sofreram. As precipitações foram estimadas em intervalos de 30 minutos, 1 dia, 1 mês e 1 ano. Os resultados indicam uma precipitação acumulada em 30 minutos entre 3,5 mm e 19,8 mm, uma precipitação acumulada diária entre 10,1 mm e 69,5 mm e no intervalo de 1 mês de 184,4 mm e 742,5 mm. As análises meteorológicas dos eventos a partir das imagens do radar meteorológico de São Paulo (RSP) e do satélite Meteosat-9, indicam que os sistemas precipitantes estavam associados a frentes frias (FF), linhas de instabilidade (LI), e convecção isolada (CI).

Palavras-chave: Hidrometeorologia. Erosão antrópica. CMORPH.

ABSTRACT

LOPEZ, Maria del Carmen Sanz. Hydrometeorology of anthropic erosion in the Metropolitan Region in the state of São Paulo, 2021. Dissertation (Master in Atmospheric Sciences) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2021.

The urban population has been growing rapidly all over the world and in the Metropolitan Region of São Paulo (RMSP). This has had harmful consequences for the environment and for the people who live in cities. Erosive processes play a major role in environmental degradation. Rain is the main erosive agent in the RMSP. This study characterized erosion events caused by precipitation, by estimating accumulated daily precipitation by the Climate Prediction Center Morphing Method (CMORPH) and by integrating the surface telemetric network using the Statistical Objective Analysis method (ANOBES). In the Civil Defense database, 400 events were separated in the RMSP area, between 2000 and 2013, and from these, 7 were chosen to carry out climatological, quantitative and meteorological analysis. In an initial observation it was found that 58% of erosion events will occur in summer, and due to this fact, the selected 4 events are in January, 2 in February and 1 in December. Two more active nuclei stand out: Serra do Mar and Serra da Cantareira, where the municipalities of São Bernardo do Campo and Caieiras suffered the most. Rainfall was estimated at intervals of 30 minutes, 1 day, 1 month and 1 year. The results indicate an accumulated precipitation in 30 minutes between 3.5 mm and 19.8 mm, a daily accumulated precipitation between 10.1 mm and 69.5 mm and in the interval of 1 month of 184.4 mm and 742.5 mm. The meteorological analyzes of the events from the images of the São Paulo meteorological radar (RSP) and the Meteosat-9 satellite indicate that the precipitation systems were associated with cold fronts (FF), instability lines (LI), and isolated convection (CI).

Keywords: Hydrometeorology. Anthropogenic Erosion. CMORPH.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Erosão por salpico ou por splash. A gota chega ao solo e com o impacto as partículas desprendidas são transportadas pela água.	24
Figura 2 – Imagem do solo onde ocorreu erosão por salpico.	25
Figura 3 – Imagem de erosão laminar, aqui a água retirou uma camada do solo deixando-a mais claro.	26
Figura 4 – Imagem da erosão linear em sulcos.	27
Figura 5 – Imagem de erosão linear em ravina.	27
Figura 6 – Imagem erosão linear em voçoroca de drenagem.	28
Figura 7 – Mapa de suscetibilidade à erosão hídrica da RMSP.	28
Figura 8 – Erosão Urbana. Áreas suscetíveis à instabilidade.	31
Figura 9 - Mapa da área de estudos a RMSP. Estão indicados a distribuição geopolítica, os 7 eventos que serão analisados (cruzes vermelhas), a escala de distâncias e a legenda dos nomes de cada município referente a numeração.	33
Figura 10 – Esquema para a interpolação de pluviômetros da ANA com a célula do CMORPH no ponto em que ocorreu o evento de erosão (Pa).	35
Figura 11– Área de cobertura do radar meteorológico de São Paulo (A). Indicado em vermelho + posição geográfica do radar. Indicado também um círculo com 240 km de raio da cobertura do radar e destaca-se a RMSP (B).	37
Figura 12 – Exemplo de imagem do Meteosat-9. Imagens do canal infravermelho do satélite Meteosat-9 de 1930 UTC de 07/02. Estão indicados na imagem o canal, IR (μm), o ano, mês, dia e hora. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em vermelho indica a área da RMSP. Escala de cores indica temperatura de brilho ($^{\circ}\text{C}$).	38
Figura 13 – Distribuição dos 400 eventos de erosão ocorridos na área da RMSP ao longo dos meses do ano, para o período de 2000 a 2013. Estão indicados na imagem, em marrom, os meses em que ocorreram os eventos escolhidos para as análises climatológica, quantitativa e meteorológica.	40
Figura 14 – Imagem da distribuição de eventos de erosão ocorridos no período de 2000 a 2013 nos municípios da RMSP. Estão indicados os contornos geopolíticos e geográficos, os pontos georreferenciados são os círculos azuis. A escala de cores indica as altitudes na RMSP. Está também indicado a escala de distâncias em km. Nos círculos roxos destaca a concentração de eventos, no município de SBC o núcleo da Serra do Mar e no município de Caieiras e seus arredores o núcleo da Serra da Cantareira.	41
Figura 15 – Detalhes da Carta Geotécnica nas coordenadas geográficas do evento de erosão. Estão indicados na imagem a localização do município e do ponto do evento de erosão no círculo vermelho. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos.	42
Figura 16 – Estimativa de precipitação acumulada mensal durante 2009 no município de Caieiras. Utilizou-se dados de CMORPH e ANOBES. A estimativa de precipitação acumulada anual com CMORPH foi de 1264,8 mm e com ANOBES foi de 1755,9 mm, e na série climatológica EM-PEFI foi 1419,3 mm.	43

- Figura 17 – Série histórica da estimativa de precipitação acumulada diária nos 30 dias que antecede o evento de erosão no município de Caieiras. Está indicado o dia anterior ao evento de erosão de maior valor acumulado (em laranja) e próximo à data deste evento. 43
- Figura 18 – Distribuição da estimativa de precipitação acumulada a cada 30 minutos com dados de ANOBES..... 44
- Figura 19 – Imagem de estimativa de precipitação acumulada em 30 minutos do CMORPH em 07/02/2009 às 1930 UTC. Estão indicados na imagem o sistema de estimativa de precipitação acumulada, o dia, mês, ano e hora de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A escala de cores indica a unidade de precipitação em 30 minutos (mm). A circunferência em preto indica a área do evento de erosão. 45
- Figura 20 – Imagem da estimativa de precipitação acumulada do ANOBES das 7 h do dia 07 até 7 h do dia 08 (HL). Estão indicados na imagem o sistema de estimativa, o dia, mês, ano, hora e unidade de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em preto indica a área do evento de erosão. A escala de cores indica a unidade de precipitação (mm). 46
- Figura 21 – Estimativas de valores de precipitação acumulada pelo radar no evento de chuva que teve início em 07/02. Indicados contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em preto indica o local do evento de chuva. 46
- Figura 22 – Imagens do canal infravermelho do satélite Metsat-9 de 1930 UTC de 07/02. Estão indicados na imagem o canal, IR (μm), o ano, mês, dia e hora. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em vermelho indica a área da RMSP. Escala de cores indica temperatura de brilho ($^{\circ}\text{C}$)..... 47
- Figura 23 – Detalhes da Carta Geotécnica nas coordenadas geográficas do evento de erosão. Estão indicados na imagem a localização do município e do ponto do evento de erosão no círculo vermelho (intersecção das linhas pretas). Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos..... 48
- Figura 24 – Estimativa de precipitação acumulada mensal durante 2010 no município de Mogi das Cruzes. Utilizou-se dados de CMORPH e ANOBES. A estimativa de precipitação acumulada anual com CMORPH foi de 1182,5 mm e com ANOBES 1649,7 mm, e na série climatológica EM-PEFI foi 1419,3 mm..... 49
- Figura 25 – Série histórica da estimativa de precipitação acumulada diária nos 30 dias que antecede o evento de erosão no município de Mogi das Cruzes. Está indicado o dia anterior ao evento de erosão de maior valor acumulado (em laranja) e próximo a data do evento de erosão. 49
- Figura 26 – Distribuição da estimativa de precipitação acumulada a cada 30 minutos com dados de ANOBES..... 50
- Figura 27 – Imagem de estimativa de precipitação acumulada em 30 minutos do CMORPH em 05/01/10 às 2130 UTC. Estão indicados na imagem o sistema de estimativa de precipitação acumulada, o dia, mês, ano, hora e de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A escala de cores indica de precipitação em 30 minutos (mm). A circunferência em preto indica a área do evento de erosão..... 51
- Figura 28 – Imagem da estimativa de precipitação acumulada do ANOBES das 7 h do dia 05 até 7 h do dia 06 (HL). Estão indicados na imagem o sistema de estimativa, o dia, mês, ano,

hora e unidade de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A seta indica a área do evento de erosão. A escala de cores indica a unidade de precipitação (mm).....	52
Figura 29 – Estimativas de valores de precipitação acumulada pelo radar no evento de chuva que teve início em 05/01 e em 06/01. Indicados contornos geopolíticos e geográficos. Há uma errata na legenda da imagem, o dia do término da precipitação.....	52
Figura 30 – Imagem do canal infravermelho do satélite Meteosat-9 de 2100 UTC de 05/01. Estão indicados na imagem o canal IR (μm), o ano, mês, dia e hora. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em vermelho indica a área da RMSP. Escala de cores indica temperatura de brilho ($^{\circ}\text{C}$).	53
Figura 31 – Detalhes da Carta Geotécnica nas coordenadas geográficas do evento de erosão. Estão indicados na imagem a localização do município e do ponto do evento de erosão no círculo vermelho (intersecção das linhas pretas). Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos.	54
Figura 32 – Estimativa de precipitação acumulada mensal durante 2007 no município de Osasco. Utilizou-se dados de CMORPH e ANOBES. A estimativa de precipitação acumulada anual com CMORPH foi de 813,7 mm e com ANOBES foi de 1123,7 mm, e na série climatológica EM-PEFI foi 1419,3 mm.	55
Figura 33 – Série histórica da estimativa de precipitação acumulada diária nos 30 dias que antecede o evento de erosão no município de Caieiras. Está indicado o dia anterior de maior valor acumulado (em laranja) e próximo a data do evento de erosão.	55
Figura 34 – Distribuição da estimativa de precipitação acumulada a cada 30 minutos com dados de ANOBES.	56
Figura 35 – Imagem de estimativa de precipitação acumulada em 30 minutos do CMORPH em 19/12/2007 às 1300 UTC. Estão indicados na imagem o sistema de estimativa de precipitação acumulada, o dia, mês, ano, hora e da precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A escala de cores indica a precipitação em 30 minutos (mm). A circunferência em preto indica a área do evento de erosão.	57
Figura 36 – Imagem da estimativa de precipitação acumulada do ANOBES das 7 h do dia 19 até 7 h do dia 20 (HL). Estão indicados na imagem o sistema de estimativa, o dia, mês, ano, hora e unidade de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A seta indica a área do evento de erosão. A escala de cores indica a unidade de precipitação (mm).....	58
Figura 37 – Estimativas de valores de precipitação acumulada pelo radar no evento de chuva que teve início em 18/12. Indicados contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em preto indica o local do evento de chuva.....	58
Figura 38 – Imagens do canal infravermelho do satélite Meteosat-9 de 0430 UTC de 19/12/2007. Estão indicados na imagem o canal IR (μm), o ano, mês, dia e hora. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em vermelho indica a área da RMSP. Escala de cores indica temperatura de brilho ($^{\circ}\text{C}$).	59
Figura 39 – Detalhes da Carta Geotécnica nas coordenadas geográficas do evento de erosão. Estão indicados na imagem a localização do município e do ponto do evento de erosão está no	

círculo vermelho (ponto preto). Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos.	60
Figura 40 – Estimativa de precipitação acumulada mensal durante 2013 no município de Ribeirão Pires. Utilizou-se dados de CMORPH e ANOBES. A estimativa de precipitação acumulada anual com CMORPH foi de 1003,7 mm e com ANOBES foi de 1150,3 mm, e na série climatológica EM-PEFI foi 1419,3 mm.	61
Figura 41 – Série histórica da estimativa de precipitação acumulada diária nos 30 dias que antecede o evento de erosão no município de Ribeirão Pires. Está indicado o dia anterior de maior valor acumulado (em laranja) e próximo a data do evento de erosão.	61
Figura 42 – Distribuição da estimativa de precipitação acumulada a cada 30 minutos com dados de ANOBES.	62
Figura 43 – Imagem de estimativa de precipitação acumulada em 30 minutos do CMORPH em 08/02/2013 às 2000 UTC. Estão indicados na imagem o sistema de estimativa de precipitação acumulada, o dia, mês, ano, hora de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A escala de cores indica a unidade de precipitação em 30 minutos (mm). A circunferência em preto indica a área do evento de erosão.	63
Figura 44 – Imagem da estimativa de precipitação acumulada do ANOBES das 7 h (HL) do dia 08 até 7 h (HL) do dia 09. Estão indicados na imagem o sistema de estimativa, o dia, mês, ano, hora e unidade de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A seta indica a área do evento de erosão. A escala de cores indica a unidade de precipitação (mm).	63
Figura 45 – Estimativas de valores de precipitação acumulada pelo radar no evento de chuva que teve início em 08/02. Indicados contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em preto indica o local do evento de chuva.	64
Figura 46 – Imagens do canal infravermelho do satélite Meteosat-9 de 1900 UTC de 08/02. Estão indicados na imagem o canal IR (μm), o ano, mês, dia e hora. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em vermelho indica a área da RMSP. Escala de cores indica temperatura de brilho ($^{\circ}\text{C}$).	65
Figura 47 – Detalhes da Carta Geotécnica nas coordenadas geográficas do evento de erosão. Estão indicados na imagem a localização do município e do ponto do evento de erosão (ponto preto). Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos.	66
Figura 48 – Estimativa de precipitação acumulada mensal durante 2010 no município de São Bernardo do Campo. Utilizou-se dados de CMORPH e ANOBES. A estimativa de precipitação acumulada anual com CMORPH foi de 1230,7 mm e com ANOBES foi de 1961,8 mm, e na série climatológica EM-PEFI foi 1419,3 mm.	67
Figura 49 – Série histórica da estimativa de precipitação acumulada diária nos 30 dias que antecede o evento de erosão no município de São Bernardo do Campo. Está indicado o dia anterior de maior valor acumulado (em laranja) e próximo a data do evento de erosão.	67
Figura 50 – Distribuição da estimativa de precipitação acumulada a cada 30 minutos com dados de ANOBES.	68
Figura 51 – Imagem de estimativa de precipitação acumulada em 30 minutos do CMORPH em 12/01/2010 às 2030 UTC. Estão indicados na imagem o sistema de estimativa de precipitação acumulada, o dia, mês, ano, hora de precipitação. Estão também indicados os	

- contornos geopolíticos e geográficos. A escala de cores indica a unidade de precipitação em 30 minutos (mm). A circunferência em preto indica a área do evento de erosão. 69
- Figura 52 – Imagem da estimativa de precipitação acumulada do ANOBES das 7 h (HL) do dia 11 até 7 h (HL) do dia 12. Estão indicados na imagem o sistema de estimativa, o dia, mês, ano, hora e unidade de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A seta indica a área do evento de erosão. A escala de cores indica a unidade de precipitação (mm). 69
- Figura 53 – Estimativas de valores de precipitação acumulada pelo radar no evento de chuva que teve início em 11/01. Indicados contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em preto indica o local do evento de chuva. 70
- Figura 54 – Imagens do canal infravermelho do satélite Meteosat-9 de 1830 UTC de 11/01/2010. Estão indicados na imagem o canal IR (μm), o ano, mês, dia e hora. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em vermelho indica a área da RMSP. Escala de cores indica temperatura de brilho ($^{\circ}\text{C}$). 71
- Figura 55 – Detalhes da Carta Geotécnica nas coordenadas geográficas do evento de erosão. Estão indicados na imagem a localização do município e do ponto do evento de erosão (ponto preto). Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. 72
- Figura 56 – Estimativa de precipitação acumulada mensal durante 2010 no município de São Bernardo do Campo. Utilizou-se dados de CMORPH e ANOBES. A estimativa de precipitação acumulada anual com CMORPH foi de 1383,5 mm e com ANOBES foi de 1712,9 mm, e na série climatológica EM-PEFI foi 1419,3 mm. 73
- Figura 57 – Série histórica da estimativa de precipitação acumulada diária nos 30 dias que antecede o evento de erosão no município de Ribeirão Pires. Está indicado o dia anterior de maior valor acumulado (em laranja) e próximo a data do evento de erosão. 73
- Figura 58 – Distribuição da estimativa de precipitação acumulada a cada 30 minutos com dados de ANOBES. 74
- Figura 59 – Imagem de estimativa de precipitação acumulada em 30 minutos do CMORPH em 26/01/2010 de 1530 UTC. Estão indicados nas imagens o sistema de estimativa de precipitação acumulada, o dia, mês, ano, hora de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A escala de cores indica a unidade de precipitação em 30 minutos (mm). A circunferência em preto indica a área do evento de erosão. 75
- Figura 60 – Imagem da estimativa de precipitação acumulada do ANOBES das 7 h (HL) do dia 26 até 7 h do dia 27 (HL). Estão indicados na imagem o sistema de estimativa, o dia, mês, ano, hora e unidade de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A seta indica a área do evento de erosão. A escala de cores indica a unidade de precipitação (mm). 76
- Figura 61 – Estimativas de valores de precipitação acumulada pelo radar no evento de chuva que teve início em 26/01. Indicados contornos geopolíticos e geográficos. 76
- Figura 62 – Imagens do canal infravermelho do satélite Meteosat-9 de 1430 UTC de 26/01/2010. Estão indicados na imagem o canal IR (μm), o ano, mês, dia e hora. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em vermelho indica a área da RMSP. Escala de cores indica temperatura de brilho ($^{\circ}\text{C}$). 77

- Figura 63 – Detalhes da Carta Geotécnica nas coordenadas geográficas do evento de erosão. Estão indicados na imagem a localização do município e do ponto do evento de erosão (ponto preto). Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos..... 78
- Figura 64 – Estimativa de precipitação acumulada mensal durante 2010 no município de São Bernardo do Campo. Utilizou-se dados de CMORPH e ANOBES. A estimativa de precipitação acumulada anual com CMORPH foi de 1284,0 mm e com ANOBES foi de 1918,4 mm. Na série climatológica EM-PEFI foi 1419,3 mm. 79
- Figura 65 – Série histórica da estimativa de precipitação acumulada diária nos 30 dias que antecede o evento de erosão no município de Ribeirão Pires. Está indicado o dia anterior de maior valor acumulado (em laranja) e próximo a data do evento de erosão. 79
- Figura 66 – Distribuição da estimativa de precipitação acumulada a cada 30 minutos com dados de ANOBES..... 80
- Figura 67 – Imagem de estimativa de precipitação acumulada em 30 minutos do CMORPH em 03/02/2010 de 1830 UTC. Estão indicados nas imagens o sistema de estimativa de precipitação acumulada, o dia, mês, ano, hora de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A escala de cores indica a unidade de precipitação em 30 minutos (mm). A circunferência em preto indica a área do evento de erosão. 81
- Figura 68 – Imagem da estimativa de precipitação acumulada do ANOBES das 7 h (HL) do dia 26 até 7 h (HL) do dia 27. Estão indicados na imagem o sistema de estimativa, o dia, mês, ano, hora e unidade de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A seta indica a área do evento de erosão. A escala de cores indica a unidade de precipitação (mm). 82
- Figura 69 – Estimativas de valores de precipitação acumulada pelo radar no evento de chuva que teve início em 03/02. Indicados contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em preto indica o local do evento de chuva. 82
- Figura 70 – Imagens do canal infravermelho do satélite Meteosat-9 de 1800 UTC de 03/02. Estão indicados na imagem o canal IR (μm), o ano, mês, dia e hora. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em vermelho indica a área da RMSP. Escala de cores indica temperatura de brilho ($^{\circ}\text{C}$)..... 83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa de precipitação acumulada diária entre as 7 h de um dia até às 7 h do dia anterior (HL), em ANOBES e CMORPH. Destacado em laranja o dia de estimativa de precipitação acumulada elevada.	44
Tabela 2 – Síntese das análises do evento de erosão do município de Caieiras em 10/02/2009.	47
Tabela 3 – Estimativa de precipitação acumulada diária entre as 7 h de um dia até às 7 h do dia anterior (HL), em ANOBES e CMORPH. Destacado em laranja o dia de estimativa de precipitação acumulada elevada.	50
Tabela 4 – Síntese das análises do evento de erosão do município de Mogi das Cruzes em 07/01/2010.	53
Tabela 5 – Estimativa de precipitação acumulada diária entre as 7 h de um dia até às 7 h do dia anterior (HL), em ANOBES e CMORPH. O fator de ajuste é uma relação entre ANOBES e CMORPH. Destacado em laranja o dia de estimativa de precipitação acumulada elevada.	56
Tabela 6 – Síntese das análises do evento de erosão do município de Osasco em 22/12/2007.	59
Tabela 7 – Estimativa de precipitação acumulada diária entre as 7 h de um dia até às 7 h do dia anterior (HL), em ANOBES e CMORPH. O fator de ajuste é uma relação entre ANOBES e CMORPH. Destacado em laranja o dia de estimativa de precipitação acumulada elevada.	62
Tabela 8 – Síntese das análises do evento de erosão do município de Ribeirão Pires 11/02/2013.	65
Tabela 9 – Estimativa de precipitação acumulada diária entre as 7 h de um dia até às 7 h do dia anterior (HL), em ANOBES e CMORPH. Destacado em laranja o dia de estimativa de precipitação acumulada elevada.	68
Tabela 10 – Síntese das análises do evento de erosão do município SBC-1 em 12/01/2010...	71
Tabela 11 – Estimativa de precipitação acumulada diária entre as 7 h de um dia até às 7 h do dia anterior (HL), em ANOBES e CMORPH. Destacado em laranja o dia de estimativa de precipitação acumulada elevada.	74
Tabela 12 – Síntese das análises do evento de erosão do município SBC-2 em 28/01/2010...	77
Tabela 13 – Estimativa de precipitação acumulada diária entre as 7 h de um dia até às 7 h do dia anterior (HL), em ANOBES e CMORPH. Destacado em laranja o dia de estimativa de precipitação acumulada elevada.	80
Tabela 14 – Síntese das análises do evento de erosão do município SBC-3 em 05/02/2010...	83
Tabela 15 – Resumo dos eventos de erosão analisados. Na 1ª coluna identifica-se o local do evento de erosão; na 2ª a data em que ocorreu o evento de erosão; na 3ª data do provável evento de chuva que gerou a erosão.	84
Tabela 16 – Resumo dos eventos de erosão analisados. Na 1ª coluna identifica-se o local do evento de erosão; na 2ª o tempo de duração da chuva no local da erosão CMORPH; 3ª o tempo de duração da chuva obtida pelo RSP sobre a área da RMSP; na 4ª o	

tempo de duração da chuva obtida por imagens de satélite na área da RMSP; na 5^a o início da chuva no RSP; e na 6^a o início da chuva estimada pelo CMORPH... 84

Tabela 17 – Resumo dos eventos de erosão selecionados. Na 1^a coluna identifica-se o local do evento de erosão; na 2^a estimativa de precipitação acumulada no dia do evento de chuva medida pelo CMORPH; 3^a estimativa de precipitação acumulada no dia do evento medida pelo ANOBES em 30 minutos; na 4^a máximo volume no período da chuva com ANOBES; na 5^a estimativa de precipitação acumulada em 30 dias que antecedem ao evento de erosão em CMORPH e ANOBES. 85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANOBES	Análise Objetiva Estatística
BD	Banda Dispersa
BM	Brisa Marítima
CI	Convecção Isolada
CMORPH	Climate Prediction Center Morphing Method
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
EM	Estação Meteorológica
EMPLASA	Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano
ESA	Agência Espacial Europeia
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
EUROSEM	European Soil Erosion
FCTH	Fundação Centro Tecnológico Hidráulica
FF	Frente Fria
GUEST	Griffith University Erosion System Template
HL	Horário local
IAG	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IR	Infravermelho
LI	Linha de Instabilidade
MDC	Mapa Digital da Cidade
PEFI	Parque Estadual das Fontes do Ipiranga
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
RSP	Radar meteorológico de São Paulo
SBC	São Bernardo do Campo
SIGLA	Sistema de Informações Gerenciais, Logísticas e Administrativas
SMDU	Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
USP	Universidade de São Paulo
UTC	Tempo Universal Coordenado
WEPP	Water Erosion Predict Project
ZCOU	Zona de Convergência de Umidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Objetivos do Estudo	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	Processos Erosivos	23
2.2	Erosão Hídrica	24
2.3	Morfologia da Erosão Hídrica	25
2.4	Suscetibilidade a Erosão Hídrica	28
2.4.1	Erosividade da Chuva	29
2.4.2	Erodibilidade do Solo	29
2.5	Perda de Solo	30
2.6	Erosão Urbana e Uso e ocupação do Solo da RMSP	30
2.7	Sistemas Meteorológicos na região de estudos	31
3	METODOLOGIA	33
3.1	Estimativa de Precipitação	34
3.2	Radar Meteorológico de São Paulo	37
3.3	Satélite Meteosat-9	37
3.4	Carta Geotécnica	38
4	RESULTADOS	40
4.1	Evento no município de Caieiras – 10/02/2009	42
4.2	Evento no município de Mogi das Cruzes - 07/01/2010	48
4.3	Evento no município de Osasco – 22/12/2007	54
4.4	Evento no município de Ribeirão Pires - 11/02/2013	60
4.5	Evento no município de São Bernardo do Campo – 1 - 12/01/2010	66
4.6	Evento no município de São Bernardo do Campo – 2 - 28/01/2010	72
4.7	Evento no município de São Bernardo do Campo – 3 - 05/02/2010	78
4.8	Resumo das análises de eventos de erosão selecionados	84
5	CONCLUSÕES	86
6	REFERÊNCIAS	87

1 INTRODUÇÃO

As mudanças espaço-temporais no uso e na ocupação do solo têm gerado grande impacto na cidade e no campo, com o aumento da impermeabilização dos solos e com práticas errôneas. Com ações, diretas e/ou indiretas, o homem acelera o processo de degradação do solo (COELHO, 2014). O solo é um sistema dinâmico, que evolui se desenvolve e se transforma de maneira contínua no ambiente em que está inserido. A erosão, que é o modo mais drástico de degradação dos solos, é um processo que desagrega, transporte e sedimentação de rochas e solos e que é provocado por tipos específicos de precipitação.

Em 1898, Dokuchaev consolidou a concepção de que as propriedades do solo são resultado dos fatores de formação do solo que nele atuaram, esses fatores são: o material de origem, o clima, os organismos, a topografia (relevo) e o tempo. De acordo com Pereira et al. (2019), os estudos de Dokuchaev forneceram a base para o modelo mais influente de gênese do solo.

A erosão do solo ocorre desde a superfície ao nível de água no solo (lençol freático) (NAKAJIMA, 2015). A água que chega ao solo por meio da precipitação e infiltra, preenche a capacidade de armazenamento do solo de camada a camada. A fração que não infiltra, escoando alimentando diretamente lagos, rios e oceanos. A fração armazenada é em parte disponibilizada para as plantas, é absorvida e transpirada simultaneamente e evapora diretamente do solo para a atmosfera.

Os eventos de precipitação estão associados a sistemas meteorológicos de escala sinótica e de mesoescala. Este estudo tem por objetivo estimar os volumes de precipitação e identificar os sistemas precipitantes associados a ela. Os volumes de precipitação foram obtidos por dados do Climate Prediction Center Morphing Method (CMORPH) que integrado a rede telemétrica de superfície da Agência Nacional de Águas (ANA) pelo método de Análise Objetiva Estatística (ANOBES) resulta em dados mais robustos. Os sistemas precipitantes mais atuantes na RMSP segundo Silva, Pereira Filho e Hallak (2009), são: a convecção isolada (CI), a brisa marítima (BM), as linhas de instabilidade (LI), as bandas dispersas de precipitação (BD) e as frentes frias (FF).

Identificou-se os volumes de precipitação e os períodos de maior ocorrência de erosão. O período de maior probabilidade e severidade de precipitações são os meses de verão. Nos eventos de erosão analisados, em seis, os pontos são próximos a rios em suas áreas de inundações, aonde houve a invasão da população e a urbanização.

Desta forma, este estudo buscou avaliar eventos de erosão documentados pela Defesa Civil na área da RMSP, no período de 2000 a 2013. Os volumes de precipitação acumulada diária foram estimados pelo CMORPH e pelo ANOBES. E os sistemas precipitantes atuantes foram observados nas imagens de satélite, e as características locais foram analisadas na carta geotécnica.

A estrutura deste trabalho é a seguinte: no Capítulo 2, realizou-se uma revisão bibliográfica, onde são apresentadas as explanações teóricas dos temas. No Capítulo 3, foi realizada a descrição da área de estudos e os processos de execução dos trabalhos. No Capítulo 4, são demonstrados os resultados. No Capítulo 5 as conclusões verificam se os objetivos foram alcançados e sugestões para trabalhos futuros.

1.1 Objetivos do Estudo

Os objetivos deste estudo de mestrado são:

- Caracterizar e quantificar a hidrometeorologia dos eventos de erosão na área da RMSP no período de 2000 a 2013;
- Estimar a precipitação associada com eventos de erosão, com o CMORPH e com o ANOBES.
- Determinar limiares entre precipitação e eventos de erosão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Inicialmente foi feita uma revisão da literatura sobre os processos erosivos e os aspectos meteorológicos associados. Os processos erosivos como ocorrem, os agentes causadores e a morfologia da erosão. Fatores que interferem na suscetibilidade do solo tornando-o mais susceptível a erosão. O uso e ocupação do solo nas cidades e a perda de solo. Os aspectos meteorológicos que promovem a precipitação.

2.1 Processos Erosivos

A erosão é um processo natural sobre a superfície da terra no tempo geológico, ele modela o relevo e modifica suas feições. Cada terreno tem sua suscetibilidade a erosão que dependerá de seus materiais constituinte e das condições a que está submetido. O homem com suas atividades e manejos diminui o tempo de alteração do relevo (BRITO; MARTINS; AICHA, 2012).

De acordo com Carvalho et al. (2009) e Lepsch (2010), a erosão do solo é um processo complexo que envolve vários fatores, tais como: as características geológicas e geomorfológicas, os tipos de solos, o clima e a vegetação. A interferência do homem modifica as condições naturais de cada um desses fatores de maneiras diferentes de acordo com suas vontades.

A erosão do solo é um processo que ocorre em fases e que consiste no desprendimento de partículas individuais do solo e seu transporte por agentes erosivos, como a água corrente e o vento. Quando a energia do agente erosivo não é mais suficiente para transportar as partículas, ocorre a fase de deposição (MORGAN, 2005).

O processo erosivo é classificado conforme seu agente: pluvial quando está sobre a ação das chuvas, fluvial se estiver sobre a ação das águas dos rios, gravitacional devido a movimentação de rochas pela ação da gravidade, eólica sobre a ação dos ventos, glacial sobre a ação das geleiras, químicas se ocorrer alguma alteração química e antrópica quando as alterações são causadas pelo homem (MENDES, 2014).

Conforme Dyonisio (2010) o sol não é um agente erosivo, mas, quando os raios do sol atingem o solo sem cobertura vegetal alteram as atividades biológicas deste. A elevação da temperatura do solo elimina uma grande parte da microfauna e da flora e deixa o solo mais susceptível à erosão.

A precipitação associada às características geológicas e fisiográficas, constitui-se em um dos principais elementos desencadeadores dos processos de erosão hídrica. A erosão hídrica é o transporte por arrastamento das partículas do solo pela ação da água e é o tipo de erosão que mais causa danos no mundo.

2.2 Erosão Hídrica

Em Bertoni e Neto (2005) e Pruski (2006), a erosão hídrica é decorrente de fatores de forças ativas e passivas. Os fatores ativos são a declividade e o comprimento do terreno, as características da chuva e a taxa de infiltração no solo. Os fatores passivos são a cobertura vegetal e sua densidade, e as características da resistência que o solo oferece a ação erosiva.

Na erosão hídrica o desprendimento das partículas do solo se dá pela energia cinética do impacto das gotas de chuva, ou pela ação da lavagem da água corrente por um fluxo laminar ou turbulento. A água se desloca e carrega consigo as partículas desprendidas e quando não há mais força para o deslocamento há a deposição dos sedimentos (HILLEL, 2004 e GUERRA; DA SILVA; BOTELHO, 2007).

Em caso de um solo desprovido de vegetação, ele está altamente vulnerável a sofrer erosão na ocorrência de chuva (FARRES, 1987). A energia cinética transferida pelas gotas de chuva ao solo causa a erosão por salpico, obstruindo os poros e diminuindo a taxa de infiltração da água. Chamado de selamento superficial pois forma crostas na superfície do solo. Vê-se na ilustração da Figura 1 o impacto de gotas de chuva e o desprendimento do solo, na Figura 2 vê-se o resultado do impacto de gotas de chuva no solo.

Figura 1 – Erosão por salpico ou por splash. A gota chega ao solo e com o impacto as partículas desprendidas são transportadas pela água.



Figura 2 – Imagem do solo onde ocorreu erosão por salpico.



Fonte: Cartilha Erosão, 2007. Manaus. Torrões de solo. Arquivo Geotecnia – UnB

A água que chega ao solo, de forma direta ou indireta, tem participação na erosão. De forma direta causa erosão por salpico ou lavagem, em seguida quando infiltra no solo causa o aumento da umidade. Quando ocorre o acúmulo de água nas irregularidades do solo esta formará poças, e se o fluxo de água continuar, provocará o início do escoamento superficial (GUERRA; DA SILVA; BOTELHO, 2007).

Sempre que a taxa de infiltração da água livre for excedida pela sua taxa de abastecimento superficial ela tende a se acumular na superfície, nas depressões e irregularidades do solo formando poças. O volume de água por unidade de área é chamado de capacidade de armazenamento de superfície (HILLEL, 2004). Somente quando o armazenamento da superfície está completo as poças começam a transbordar ocorrendo o escoamento superficial. O termo escoamento superficial representa a porção do suprimento de água à superfície que não é absorvido pelo solo e nem retido pela superfície, mas se desloca. O escoamento superficial normalmente começa como fluxo laminar e tende a limpar a superfície do solo e à medida que acelera e ganha poder erosivo se torna um fluxo linear formando canais (HILLEL, 2004).

2.3 Morfologia da Erosão Hídrica

Na erosão hídrica causada principalmente pela precipitação pluviométrica é o tipo mais drástico de erosão. Desagrega e transporta o material erodido com facilidade, principalmente em solos desprovidos de vegetação. As partículas desagregadas pelas gotas de chuva são facilmente carregadas pela enxurrada. Segundo Salomão e Iwasa (1995) a erosão pode ser classificada em laminar e linear.

A erosão laminar, ou erosão em entressulcos, ocorre quando o solo apresenta uma coloração mais clara. Isto indica que houve um desgaste uniforme da camada superficial do terreno provocando um abaixamento da cota do terreno (GUERRA; DA SILVA; BOTELHO, 2007), mostra-se na Figura 3 um exemplo de erosão laminar.

Figura 3 – Imagem de erosão laminar, aqui a água retirou uma camada do solo deixando-a mais claro.



Fonte: CANTALICE, 2002.

A erosão linear, ou erosão em sulcos, ocorre quando o escoamento superficial é concentrado. Este tipo de erosão é nomeado devido a sua gravidade, e são conhecidos como: sulcos, calhas, ravinas e voçorocas (GUERRA; DA SILVA; BOTELHO, 2007).

Os sulcos são pequenas incisões na superfície (filetes muito rasos) perpendiculares às curvas de nível e podem ser eliminados por operações normais de preparo do solo (Figura 4). As calhas são formas de canais que se originam do escoamento concentrado da água superficial. Calhas são rasas como os sulcos, porém possuem bordas suaves e largura inferior a dez metros.

As ravinas ocorrem quando a água do escoamento superficial escava o solo atingindo seus horizontes inferiores e a rocha. Apresentam profundidade maior que meio metro e diferenciam-se dos sulcos por não serem eliminados pelas operações normais de preparo do solo. Possuem forma retilínea, alongada e estreita, raramente se ramificam e não chegam a atingir o nível da água no solo. Apresentam perfil transversal em “V” e geralmente ocorrem entre os eixos de drenagem, muitas vezes associadas a estradas, trilhas de gado e carreadores, mostra-se um exemplo na Figura 5. As voçorocas são formas mais complexas e destrutivas do quadro evolutivo da erosão linear e são devidas à ação combinada das águas do escoamento superficial e subterrâneo. Em geral, as voçorocas são ramificadas com grande profundidade,

apresentando paredes irregulares e perfil transversal em “U”. São formas erosivas de difícil controle e tem como fator principal de seu surgimento o inadequado uso do solo. Recebem o nome de “voçorocas de drenagem” quando se instalam ao longo dos cursos d’água, como mostrado na Figura 6. As voçorocas que chegam ao nível da água no solo, são denominadas voçorocas de encosta (FUENTES LLANILLO, 1989).

Figura 4 – Imagem da erosão linear em sulcos.



Fonte: CANTALICE, 2002.

Figura 5 – Imagem de erosão linear em ravina.



Fonte: CANTALICE, 2002.

Figura 6 – Imagem erosão linear em voçoroca de drenagem.

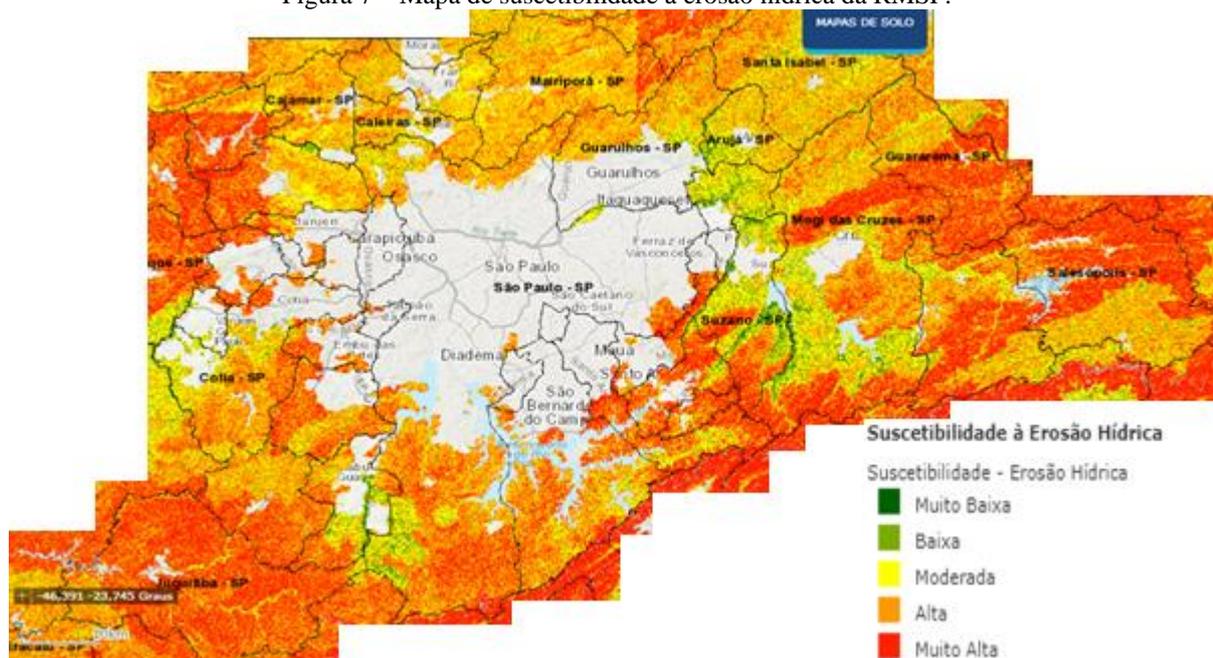


Fonte: G1 – Por Gabi Noronha – Publicado em 30/09/2020. Disponível em: <https://conhecimentocientifico.r7.com/vocoroca/>. Acesso em 10/07/2021.

2.4 Suscetibilidade a Erosão Hídrica

Há vários fatores que influenciam a suscetibilidade do solo à erosão hídrica. Os dois fatores principais que contribuem para a suscetibilidade a erosão, são a erosividade da chuva e a erodibilidade do solo (DYONISIO, 2010; JOHANNSEN et al., 2020). Na Figura 7 mostra-se o mapa de suscetibilidade à erosão dos solos do estado de São Paulo (SP).

Figura 7 – Mapa de suscetibilidade à erosão hídrica da RMSP.



Fonte: Disponível em: <https://geoportal.cprm.gov.br/pronosolos/> - acesso em 25/11/2021.

2.4.1 Erosividade da Chuva

A erosão do solo é reconhecida como uma grande ameaça aos recursos do solo e ao meio ambiente em todo o mundo. O desprendimento de partículas de solo pela energia cinética das gotas de chuva em determinado espaço de tempo com sua intensidade máxima é denominado de fator de erosividade da chuva. A erosividade depende das características da chuva, tais como tamanho das gotas, velocidade de queda e a intensidade da chuva. Desta forma, este fator foi aplicado como uma medida de perda potencial de solo (JOHANNSEN et al., 2020). A energia cinética da chuva tem sido medida por métodos como a técnica de pellet de farinha (método fotográfico) e medidas com disdrômetro, com suas limitações próprias (JOHANNSEN et al., 2020).

Nas regiões de clima temperado, as chuvas menos convectivas, a variável que tem melhor oferecido resultados para avaliar o fator de erosividade da chuva é o produto da sua energia cinética pela intensidade máxima em 30 minutos e é expressa como EI30 (GONÇALVES et al., 2006; HUDSON, 1977). Em regiões de clima tropical há um limiar de precipitação e este fator não tem boa correlação com as perdas de solo. Desta forma, foi proposta uma metodologia alternativa a $KE > 25$, que é a soma da energia cinética dos segmentos da chuva com intensidade superior a 25 mm.h^{-1} (LAL, 1988). Para melhor determinar o fator de erosividade do solo e que mais se adapte ao local, se torna necessário séries climatológicas de pelo menos 20 anos (MARQUES et al., 1997).

2.4.2 Erodibilidade do Solo

Os solos possuem propriedades físicas e químicas que interagem, o que faz com que os solos oferecerem maior ou menor resistência aos processos erosivos. Essas propriedades são: teor de areia, silte e argila; densidade real e aparente; porosidade; e teor e estabilidade dos agregados do solo. Estas propriedades afetam a taxa de infiltração de água no solo e a permeabilidade (BERTONI e NETO, 2005, PRUSKI, 2006).

A textura do solo também afeta os processos de desagregação e transporte, pois enquanto grandes partículas de areia resistem ao transporte, os solos de textura fina (argilosos) resistem à desagregação. A areia fina e o silte têm as texturas mais suscetíveis à desagregação e ao transporte (LAL, 1988). Assim os solos derivados de materiais originados de transporte eólico são os mais suscetíveis à erosão.

Quando um processo erosivo ocorre em função da ocupação do solo, estes são controlados por fatores relacionados às condições naturais do terreno, ressalta-se: a cobertura vegetal, o relevo, a declividade e a chuva. Diferentes tipos de solos apresentam susceptibilidade diferentes mesmo para condições semelhantes de declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo (BERTONI; NETO, 2005). A erodibilidade do solo é outro fator aplicado como uma medida de perda potencial de solo e é denominada de fator K.

2.5 Perda de Solo

Os processos erosivos causam perdas de solo. A fase de transporte dos sedimentos leva para outros lugares porções de solo. Os fatores potenciais de perda de solo são: a erosividade da chuva, a erodibilidade do solo, o comprimento do terreno e sua declividade, o uso do solo, práticas conservacionistas.

Desde 1940 elabora-se modelos matemáticos para quantificar a perda de solo, como exemplo se tem o Water Erosion Predict Project (WEPP), o Griffith University Erosion System Template (GUEST), o European Soil Erosion (EUROSEM) (BAOYUAN; KELI; YUN, 2002). Estes modelos não são universais pois há uma variação nos fatores potenciais de local para local.

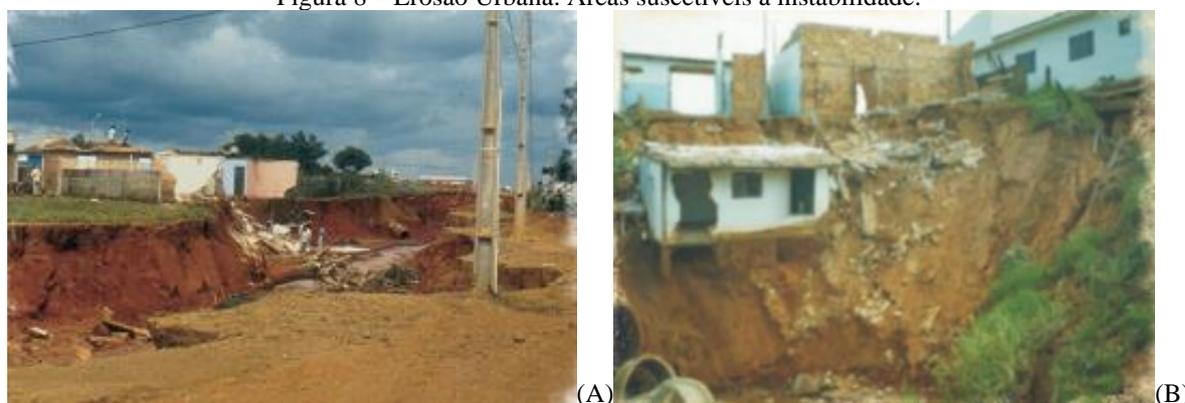
Conforme Guerra, Da Silva e Botelho (2007) no campo a ação do homem que acelera o processo de erosão pode causar: a perda de solos férteis, a poluição da água devido a fertilizantes e defensivos, o assoreamento dos cursos d'água e reservatórios e a redução da produtividade. De acordo com Brito, Martins e Aicha (2012) nas cidades a urbanização é a forma mais drástica de uso do solo, que impõe a adoção de estruturas pouco permeáveis e diminui a infiltração e faz com que haja um aumento no escoamento superficial.

2.6 Erosão Urbana e Uso e ocupação do Solo da RMSP

A população urbana tem crescido de forma acelerada em todo o mundo e, no Brasil. Isto tem provocado consequências danosas ao meio ambiente e às próprias pessoas que vivem nas cidades. O Brasil possui grande parte da sua população vivendo em cidades de pequeno, médio e de grande porte e em todas elas os impactos ambientais podem ser vistos, seja ele relativo ao lixo, ao saneamento básico, a poluição, as enchentes, a erosão dos solos, aos deslizamentos (CORGHI, 2006).

Segundo Zamuner, De Nóbrega e Martoni (2002), a erosão tem provocado vários problemas socioambientais, como mostrados na Figura 8. O acelerado processo de urbanização das cidades brasileiras em áreas suscetíveis a instabilidades tem provocado desastres. A ocupação desordenada e as invasões do espaço urbano causam alterações no ciclo hidrológico, por meio: da impermeabilização dos solos, das edificações e da pavimentação das vias de circulação (ZAMUNER; DE NÓBREGA; MARTONI, 2002; DE JESUS; DE CARVALHO, 2017).

Figura 8 – Erosão Urbana. Áreas suscetíveis à instabilidade.



Fonte: Cartilha Erosão, 2007. (A) Planaltina, DF. Arquivo Geotecnia – UnB. (B) Agudos, SP. Arquivo IPT.

Os solos são intensamente afetados pelo processo de urbanização, e eles tendem a sofrer alterações drásticas das suas características morfológicas, físicas, químicas e biológicas, tornando-os totalmente distintos dos naturais (BRITO; MARTINS; AICHA, 2012). As mudanças espaço-temporais no uso e na ocupação do solo, provocadas por ações antrópicas, têm gerado grandes impactos (COELHO, 2014). A RMSP vem se expandindo e conta com 39 municípios que estão sendo urbanizados, e com isto seus solos estão sendo impermeabilizado, o que causa marcante influência no escoamento superficial (VANZELA et al., 2010). Com a reorganização dos solos para a adequação de uso, a estrutura espacial das demandas sociais tornou-se crucial para a gestão de políticas públicas e representa um grande desafio para o planejamento do uso do solo (TAVARES; PATO; MAGALHÃES, 2012). Os solos variam de local para local no estado de São Paulo e na RMSP.

2.7 Sistemas Meteorológicos na região de estudos

A região Sudeste do Brasil, região onde se localiza a RMSP, está a aproximadamente 14° e 25° de latitude Sul, a Leste na América do Sul e é atravessada pelo Trópico de Capricórnio. A maior parte de seu território está compreendida nos trópicos onde há uma ampla exposição solar. Suas propriedades climáticas são de climas tropical e as propriedades subtropical aqui atuam devido à proximidade (CAVALCANTI, 2009).

O aquecimento solar favorece o levantamento do ar que é responsável por forte atividade convectiva, desta forma, o ar quente sobe e condensa formando nuvens. No verão os ventos alísios de nordeste estão mais intensos e transportam umidade para os subtrópicos. O que forma uma Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) sobre o continente (REBOITA et al., 2010). Sistemas convectivos estão associados a fortes campos verticais de vento e altas taxas pluviométricas, enquanto os sistemas estratiformes associam-se a baixas velocidades verticais de vento com taxas de precipitação menores (ANAGNOSTOU; KUMMEROW, 1997).

As circulações que induzem as chuvas são ilha de calor e brisa marítima (FREITAS E DIAS, 2007), as orográficas (DE CASSIA VICENTE, 2002), os sistemas convectivos de mesoescala (HALLAK; PEREIRA FILHO, 2011), os sistemas frontais e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ALVARENGA, 2012). Os sistemas precipitantes mais atuantes sobre a RMSP, são: a convecção isolada (CI), a brisa marítima (BM), as linhas de instabilidade (LI), as bandas dispersas de precipitação (BD) e as frentes frias (FF) (SILVA, PEREIRA FILHO E HALLAK, 2009).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa utilizou-se do banco de dados da Defesa Civil, aonde foram selecionados os 400 eventos de erosão da RMSP no período de 2000 a 2013. A RMSP é uma área em que a urbanização está em expansão, alterando o uso e ocupação do solo, e possui 39 municípios. O seu território está propenso a eventos de erosão. Na Figura 9 se tem a distribuição geopolítica destes municípios bem como a distribuição dos eventos de erosão utilizados para fazer uma análise climatológica, uma análise de estimativa de precipitação acumulada e uma análise meteorológica.

Figura 9 - Mapa da área de estudos a RMSP. Estão indicados a distribuição geopolítica, os 7 eventos que serão analisados (cruzes vermelhas), a escala de distâncias e a legenda dos nomes de cada município referente a numeração.



Fonte: Elaborado a partir da base cartográfica do IBGE. Disponível em: <http://www.baixarmapas.com.br/sao-paulo-rmsp/>. Acesso em: abril/2021.

Com estes 400 eventos foi feito um levantamento mensal da quantidade de eventos de erosão e a distribuição dos mesmos na área de estudo. As informações utilizadas de cada um destes registros da Defesa Civil foi a data e as coordenadas geográficas (latitude e longitude).

Foi feita uma pré-seleção dos eventos de erosão para as análises. Onde foram verificados os eventos que possuíam os dados do CMORPH e ANOBES, na data do evento de chuva existia um relatório de evento de chuva registrado pelo RSP e imagens de satélite (Meteosat-9) que corroboravam com o evento de chuva na data e horário determinados pelo CMORPH. Foram selecionados 7 dos 400 eventos de erosão que estão marcados na Figura 9.

Para uma análise climatológica obteve-se a partir da estimativa de precipitação acumulada diária a chuva mensal e anual e comparou-se com a série climatológica da Estação Meteorológica (EM) do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI). Esta climatologia do PEFI possui dados de 1933 a 2013 (IAG/USP, 2014), e por ser uma série de 80 anos foi utilizada como uma referência de valores.

Para determinar a data e hora da chuva que deu origem ao evento de erosão, e quantificar a estimativa de precipitação acumulada, seguiu-se o procedimento: com as coordenadas geográficas, do evento de erosão, obteve-se as coordenadas da célula de CMORPH para extrair a estimativa de precipitação acumulada diária; em seguida obteve-se a estimativa de precipitação dos 30 dias que antecedem ao evento de erosão e traçou-se um gráfico para analisar a precipitação logo antes da data do evento de erosão; determinada a data fez-se a análise espaço-temporal com o CMORPH em intervalos de 30 minutos e foi determinado o horário da chuva e os valores precipitados; calculou-se um fator de ajuste ponderado para obter os respectivos valores de precipitação para o ANOBES em intervalos de 30 minutos; para verificar a consistência de dados, procurou-se a existência de um evento de chuva do radar meteorológico de São Paulo (RSP), nos horários encontrados, e se as imagens de satélite corroboravam.

Para a análise meteorológica o procedimento foi: obter o relatório do evento de chuva do RSP que contivesse os dados obtidos do CMORPH; foram verificados os sistemas precipitantes nas imagens de satélite neste horário; fez-se uma comparação entre CMORPH, RSP e as imagens de satélite

3.1 Estimativa de Precipitação

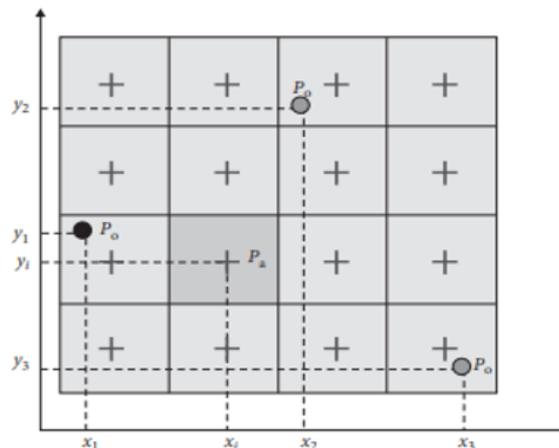
Os produtos de estimativa de precipitação quantitativa baseada em satélite se tornaram recursos importantes usados em todo o mundo para diferentes aplicações hidrometeorológicas, como a gestão de recursos hídricos e monitoramento do tempo e do clima (SUN et al., 2016).

O CMORPH é um desses produtos de estimativa de precipitação por satélite de alta resolução espaço-temporal. Sua metodologia permite quantificar a evolução espaço-temporal da precipitação com até 30 minutos de resolução temporal (PEREIRA FILHO et al., 2018).

No CMORPH são combinados dados de satélite de micro-ondas passivas e propagados utilizando informações de dados de satélites de infravermelho, que são usados para obter vetores de vento para advectar taxas de precipitação (PEREIRA FILHO et al., 2018). A resolução espacial na área da RMSP é de 8 km. Mesmos com os erros intrínsecos aos instrumentos e os erros operacionais a sua resolução espaço temporal é uma vantagem muito importante.

Interpolando os dados do CMORPH com os dados da rede pluviométrica da ANA pelo método de ANOBES diminui-se a variância do erro e obteve-se dados de estimativa de precipitação mais confiáveis. A sua estimativa de precipitação é dada a cada 8 km o que fornece uma melhor resolução espacial do que a distância média entre pluviômetros no estado de São Paulo é de 17,2 km. Os dados de CMORPH e pluviômetros são integrados entre as 7 h da manhã de um dia as 7 h da manhã do dia anterior, horário local. As medições dos pluviômetros são feitas uma vez a cada 24 horas e também possuem erros. Na Figura 10 representa-se o esquema de integração entre dados de pluviômetros e dados de CMORPH.

Figura 10 – Esquema para a interpolação de pluviômetros da ANA com a célula do CMORPH no ponto em que ocorreu o evento de erosão (P_a).



Fonte: PEREIRA FILHO, 2018.

O cálculo da estimativa de precipitação é obtido para o ANOBES aplicando a equação 1;

$$P_a(x_i, y_i) = P_b(x_i, y_i) + \sum_{k=1}^K W_{ik} [P_o(x_k, y_k) - P_b(x_k, y_k)] \sum_{k=1}^K W_k [\rho_{ik} + \varepsilon_i^2] = \rho_{io} \quad (1)$$

onde

- $P_a(x_i, y_i)$ = precipitação analisada no ponto em que ocorreu o evento de erosão “i”;
- $P_b(x_i, y_i)$ = precipitação estimada com CMORPH no ponto em que ocorreu o evento de erosão “i”;
- $P_o(x_k, y_k)$ = precipitação medida pelo pluviômetro em um ponto k, pode-se usar K pluviômetros;
- $P_b(x_k, y_k)$ = precipitação estimada com CMORPH no ponto k;
- W_{ik} = peso a posteriori, quando se tem 2 ou mais pluviômetros o peso de cada um vai depender da distância ao ponto “i”;
- K = número de pluviômetros utilizados;
- $(x_i(k), y_i(k))$ = coordenadas (km) do ponto i ao (k);
- ρ_{ik} (io) = correlação do erro das medições dos pluviômetros i e k (i e o);
- ϵ_i^2 = erro normalizado das medições. Unidade: mm.

As coordenadas georreferenciadas (latitude e longitude) são usadas em decimais.

Como o CMORPH possui resolução temporal de 30 minutos pode-se calcular um fator de ajuste ponderado diário entre o ANOBES e o CMORPH e conseqüentemente tem-se dados de ANOBES a cada 30 minutos. Os valores estimados em ANOBES a cada 30 minutos foram calculados a partir da equação 2.

$$ANOBES30min_h = F_{ap} \cdot ANOBES_{diário} \quad (2)$$

Onde,

- $ANOBES30min_h$: estimativa de precipitação acumulada do ANOBES 30 minutos para um determinado horário (h);
- $F_{ap} = \frac{CMORPH30min_h}{\sum_1^{48} CMORPH30min} =$ Fator de ajuste ponderado;
- $CMORPH30min_h$: estimativa de precipitação acumulada do CMORPH 30 minutos para um determinado horário (h);

. $\sum_1^{48} CMORPH30min$: somatória das estimativas de precipitação acumulada a cada 30 minutos do dia todo;

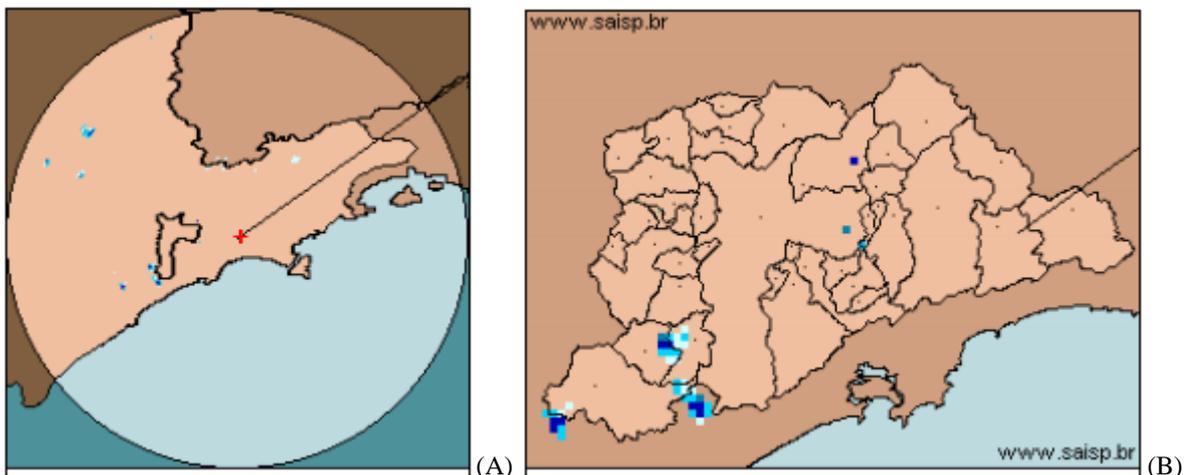
- $ANOBES_{diário}$: estimativa de precipitação acumulada diária ajustada pelo ANOBES.

3.2 Radar Meteorológico de São Paulo

O RSP cobre uma área de 240 km de raio e está localizado na barragem de Ponte Nova na cabeceira do Rio Tietê no município de Biritiba Mirim. É de propriedade do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Ele abrange toda a área da RMSP e é um radar de banda S (ROCHA FILHO, 2013). A área de cobertura do RSP pode ser vista na Figura 11.

A partir do RSP foi verificada a existência de um relatório de evento de chuva em datas pré-determinadas com o CMORPH. Anotando-se os horários de início, máximo e término da chuva. Os valores acumulados foram observados.

Figura 11– Área de cobertura do radar meteorológico de São Paulo (A). Indicado em vermelho + posição geográfica do radar. Indicado também um círculo com 240 km de raio da cobertura do radar e destaca-se a RMSP (B).



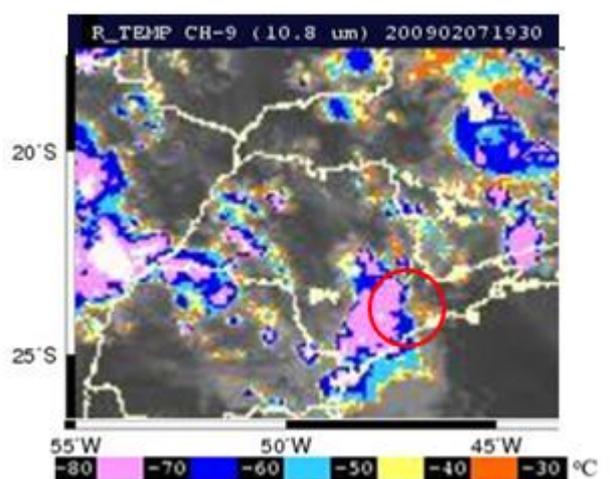
Fonte: Relatório de chuva saisp. Disponível em: <https://www.saisp.br/online/>. Acesso: 25/06/21.

3.3 Satélite Meteosat-9

As imagens de satélite Meteosat-9 estão disponíveis a cada 15 minutos fornecidas pelo Centro de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

(INPE). Este satélite fornece dados para previsão do tempo e pesquisas climáticas. Ele é operado conjuntamente com a Agência Espacial Europeia (ESA) e pela Organização Europeia para a Exploração de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT). Tem a propriedade de recuperação da temperatura da superfície do mar com resolução de 5 km. As imagens são obtidas de sensores que medem a radiação de onda longa emitidas pelos topos das nuvens que processadas realçam os topos com temperaturas maiores que -80°C . Temperaturas acima de -30°C são representadas em tons de degradês de branco a preto, os tons de branco indicam nuvens e os de preto sua ausência. As imagens utilizadas são do canal CH-9 (SPW 10.8) infravermelho na frequência de $10,8\ \mu\text{m}$ (BARBOSA, 2012). Na Figura 12 se tem um exemplo de imagens do Meteosat-9 das 1930 UTC de 07/02/2009.

Figura 12 – Exemplo de imagem do Meteosat-9. Imagens do canal infravermelho do satélite Meteosat-9 de 1930 UTC de 07/02. Estão indicados na imagem o canal, IR (μm), o ano, mês, dia e hora. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em vermelho indica a área da RMSP. Escala de cores indica temperatura de brilho ($^{\circ}\text{C}$).



Fonte: Adaptado satélite CPTEC-INPE. copyright 2010-2012 EUMETSAT. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/meteosat.formulario.logic?i=br>. Acesso em 02/05/2021.

3.4 Carta Geotécnica

A carta geotécnica tem informações básicas sobre as características geotécnicas dos terrenos no município e as possíveis atividades humanas relacionadas ao processo de uso e ocupação do solo. A legislação, pela Lei Federal 12,608/2012, diz da obrigatoriedade de pelo menos uma carta geotécnica aos municípios que estão inclusos no cadastro nacional com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamento e grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos (BITAR, OMAR YAZBEK, 2015).

Para se elaborar uma carta geotécnica é realizado um mapeamento de todo o território do município. As cartas aqui utilizadas são cartas geotécnicas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e suscetibilidade a inundações (CPRM, 2013). Nesta carta o objetivo é mapear as áreas suscetíveis a processos geológicos e/ou hidrológicos, ocupadas ou não. Aonde os terrenos são classificados quanto ao grau de probabilidade a propensão de processos físicos gerarem desastres naturais. As informações de relevo, declividade, tipo de solo, se é uma área propensa a inundações, entre outras características foram analisadas. Embora as cartas não permitam uma análise local do evento de erosão devido a sua escala. As cartas são dos municípios de Caieiras, Mogi das Cruzes, Osasco, Ribeirão Pires e São Bernardo do Campo.

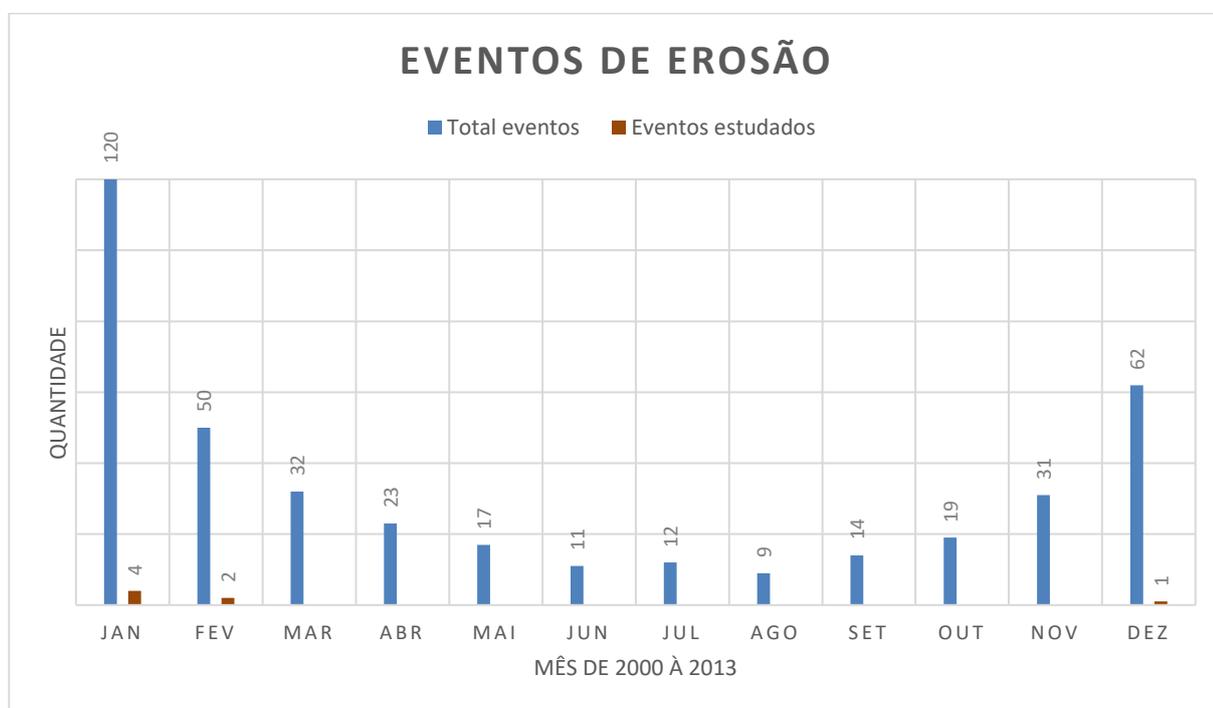
As Cartas Geotécnicas a Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações dos municípios do Estado de São Paulo, que obedecem a uma escala de 1:25.000 e são de caráter informativo e é elaborada para uso exclusivo em atividades de planejamento e gestão de território, estão disponíveis no site:

<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes---Sao-Paulo-5088.html>. E seu acesso foi feito em 05 de maio de 2021.

4 RESULTADOS

Inicialmente tem-se a distribuição dos eventos de erosão durante os meses do ano (Figura 13). Os 400 eventos se desenvolveram entre 2000 e 2013 e suas localizações estão representadas na Figura 14. Foram realizadas análises climatológica, quantitativa e meteorológica para 7 eventos, indicados na Figura 13 e ocorreram 1 em dezembro, 4 em janeiro e 2 em fevereiro.

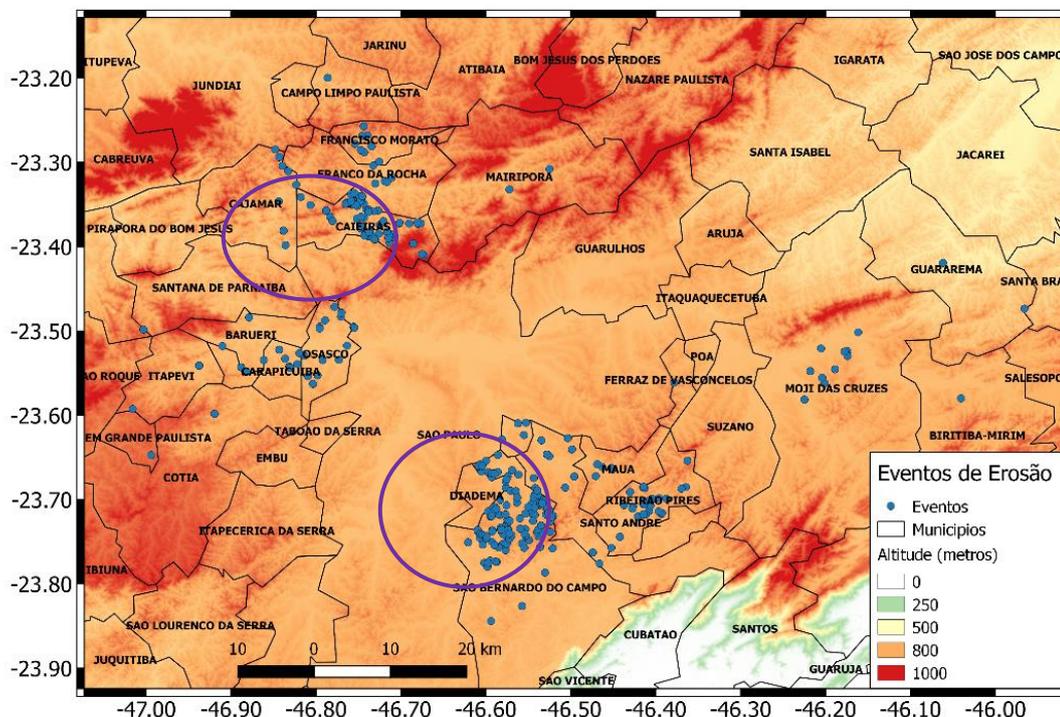
Figura 13 – Distribuição dos 400 eventos de erosão ocorridos na área da RMSP ao longo dos meses do ano, para o período de 2000 a 2013. Estão indicados na imagem, em marrom, os meses em que ocorreram os eventos escolhidos para as análises climatológica, quantitativa e meteorológica.



Fonte: O próprio autor.

Nota-se que os eventos de erosão ocorreram mais no verão, 232 casos, cerca de 58 %, seguido pelo outono com 72 casos, a primavera com 64 casos e o inverno com apenas 32 casos. Na distribuição da localização dos eventos foram identificados dois núcleos com maiores quantidades de eventos de erosão. O núcleo da Serra do Mar aonde o município de São Bernardo do Campo (SBC) estava com a maioria dos eventos. O núcleo da Serra da Cantareira onde o município de Caieiras foi mais afetado.

Figura 14 – Imagem da distribuição de eventos de erosão ocorridos no período de 2000 a 2013 nos municípios da RMSP. Estão indicados os contornos geopolíticos e geográficos, os pontos georreferenciados são os círculos azuis. A escala de cores indica as altitudes na RMSP. Está também indicado a escala de distâncias em km. Nos círculos roxos destaca a concentração de eventos, no município de SBC o núcleo da Serra do Mar e no município de Caieiras e seus arredores o núcleo da Serra da Cantareira.



Fonte: Próprio autor.

Para as análises dos pontos selecionados, iniciou-se pelas coordenadas geográficas as quais possibilitaram identificar a que município pertencia. Desta forma, obteve-se a carta geotécnica deste município e verificou-se as características do ponto de erosão em questão. Usou-se as coordenadas para a determinação da célula de CMORPH e obter a estimativa de precipitação acumulada diária. Com a estimativa diária elaborou-se gráficos de estimativa de precipitação mensal e anual no ano de ocorrência do evento de erosão. Fez-se uma comparação com a série climatológica da EM do PEFI. Foi elaborado um gráfico com a estimativa de precipitação diária nos 30 dias que antecede ao evento de erosão para a análise das precipitações diárias e determinar a data do evento de chuva que ocasionou o evento de erosão. Na data do evento de chuva fez-se uma análise da precipitação a cada 30 minutos e determinou-se o intervalo da chuva. E também foram calculados, pelo fator de ajuste ponderado, os valores correspondentes em ANOBES a cada 30 minutos.

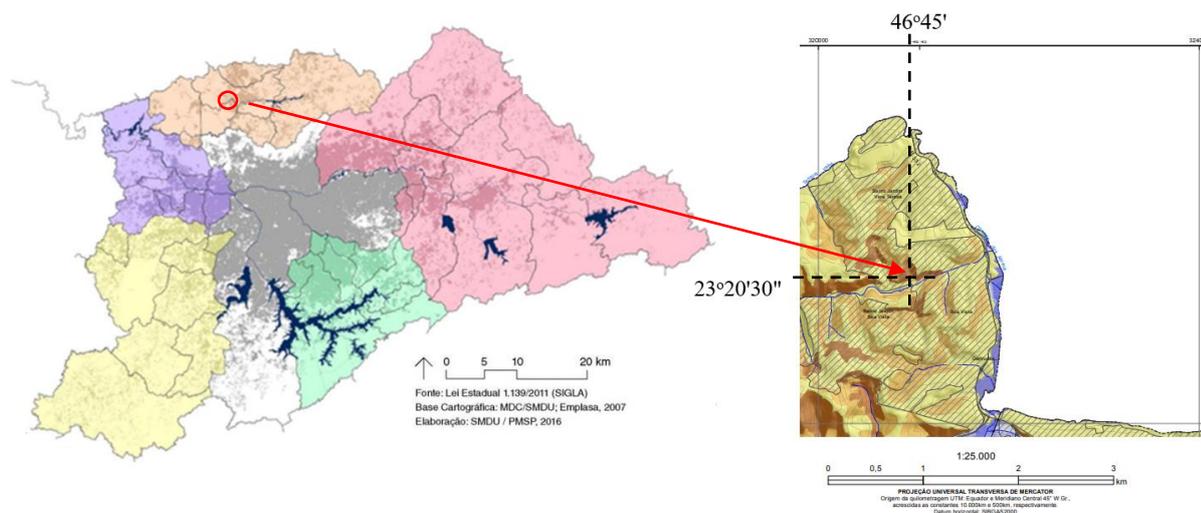
Com a data e o horário da chuva determinados verificou-se a existência de um relatório de chuva do RSP e a existência de imagens de satélite que confirmassem o evento. Com as

informações do RSP e as imagens de satélite fez-se uma análise meteorológica do evento de chuva.

4.1 Evento no município de Caieiras – 10/02/2009

Destaca-se aqui o evento de erosão que ocorreu no município de Caieiras em 10 de fevereiro de 2009. Este evento foi localizado a 23,347114 S e 46,75063 W no Jardim Vitória. A seguir, na Figura 15, fez-se uma ilustração da área de estudos. Na carta geotécnica do município e local determinado obtiveram-se as características: área é urbanizada (residencial), de morros baixos e morrotes, com declividades que variam de 10° a 30° e com solos evoluídos e moderadamente profundos.

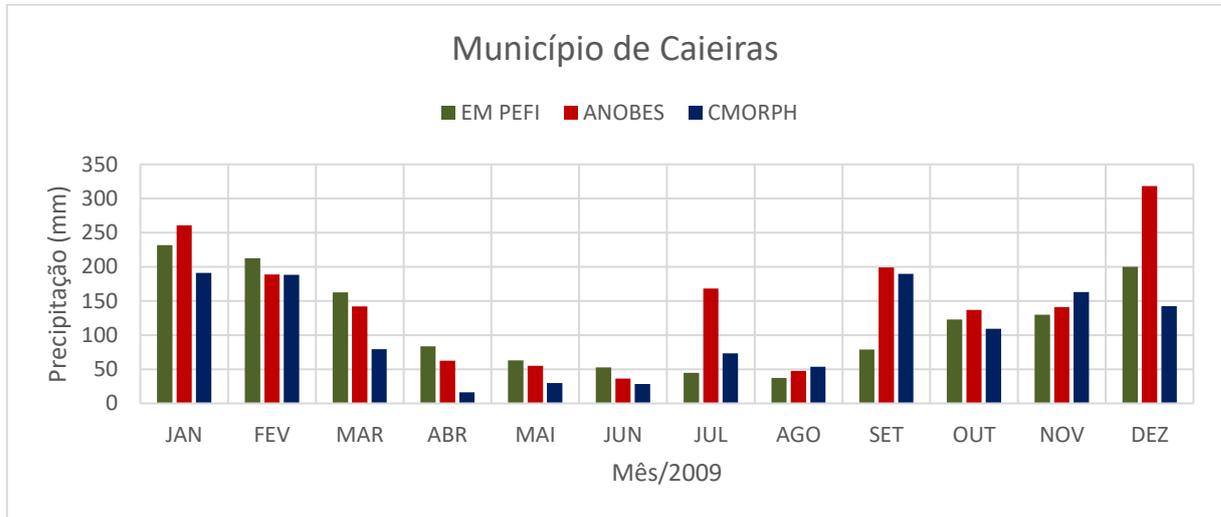
Figura 15 – Detalhes da Carta Geotécnica nas coordenadas geográficas do evento de erosão. Estão indicados na imagem a localização do município e do ponto do evento de erosão no círculo vermelho. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos.



Fonte: Adaptado da Carta geotécnica. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15161>. Acesso em 05/05/2021. E Fonte: Lei Estadual 1.139/2011 (SIGLA), Base Cartográfica MDC/SMDU; Emplasa, 2007.

Com os dados de estimativa de precipitação diária traçou-se o gráfico dos meses e do ano de 2009 (Figura 16) e comparou-se com a climatologia da EM do PEFI. E também foi traçado o gráfico, de estimativa de precipitação acumulada, dos 30 dias que antecedem ao evento de erosão, Figura 17. Para estes gráficos utilizou-se os dados dos métodos de CMORPH e ANOBES.

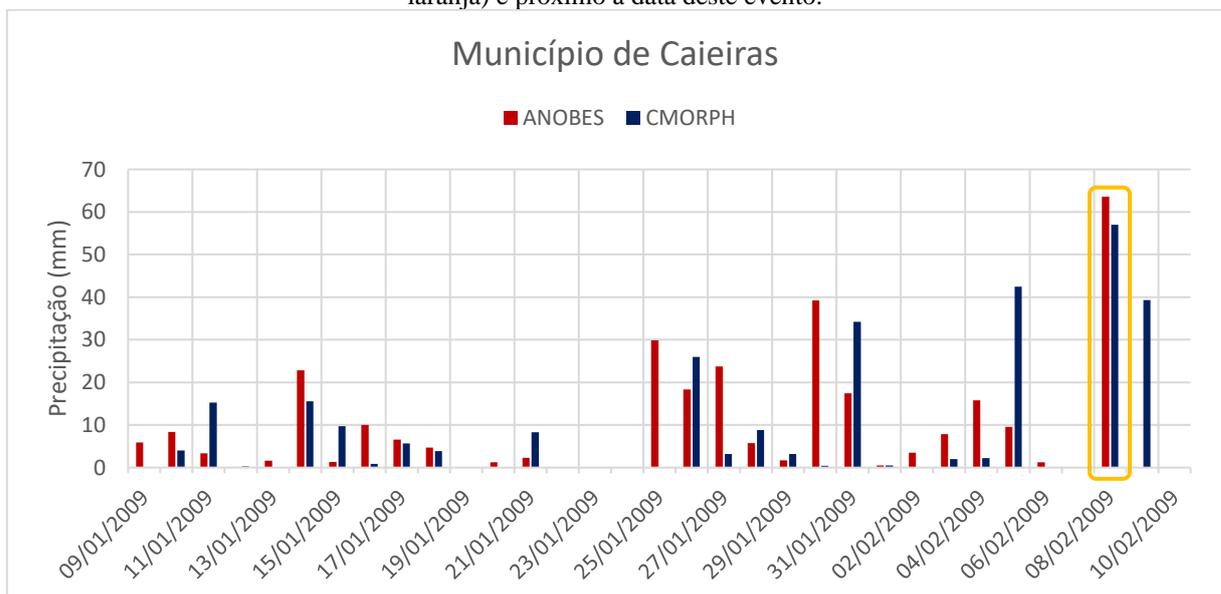
Figura 16 – Estimativa de precipitação acumulada mensal durante 2009 no município de Caieiras. Utilizou-se dados de CMORPH e ANOBES. A estimativa de precipitação acumulada anual com CMORPH foi de 1264,8 mm e com ANOBES foi de 1755,9 mm, e na série climatológica EM-PEFI foi 1419,3 mm.



Fonte: o próprio autor e Boletim climatológico anual da Estação Meteorológica do IAG/USP, Seção Técnica de Serviços Meteorológicos.

Na Figura 1, as principais diferenças entre o ANOBES e a série climatológica ocorrem em julho, setembro e dezembro. O ANOBES estimou valores com diferença maior do que 100 mm em relação a série climatológica. No CMORPH esta diferença ocorre apenas em setembro. Observa-se que o valor anual acumulado em ANOBES foi elevado, no CMORPH abaixo da média climatológica, com grandes variações mensais. Pode-se inferir que foi um ano chuvoso.

Figura 17 – Série histórica da estimativa de precipitação acumulada diária nos 30 dias que antecede o evento de erosão no município de Caieiras. Está indicado o dia anterior ao evento de erosão de maior valor acumulado (em laranja) e próximo à data deste evento.



Fonte: o próprio autor.

O evento de erosão foi registrado em 10/2 neste dia não houve precipitação nem com o ANOBES e nem com o CMORPH. No dia 9 apenas o CMORPH fez uma estimativa de 39,3 mm, deve ter ocorrido algum problema com a estimativa do ANOBES. No dia 8 houve grandes volumes precipitados, 63,3 mm e 57,0 mm ANOBES e CMORPH respectivamente, pode-se considerar a ocorrência do evento de erosão nesta data. Na Tabela 1 se faz um resumo destes dados. Os valores estimados acumulados neste período foram de 306,7 mm para o ANOBES e 283,2 mm para o CMORPH.

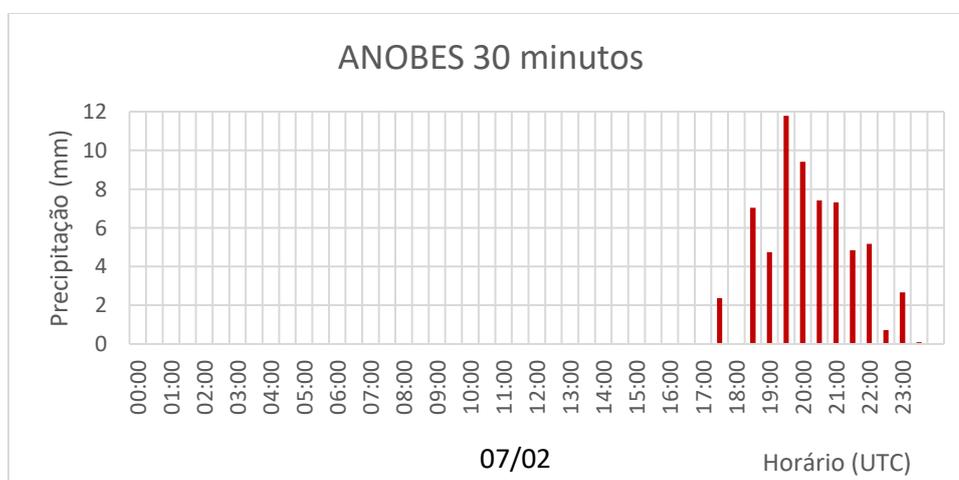
Tabela 1 – Estimativa de precipitação acumulada diária entre as 7 h de um dia até às 7 h do dia anterior (HL), em ANOBES e CMORPH. Destacado em laranja o dia de estimativa de precipitação acumulada elevada.

Acumulado do dia	ANOBES diário (mm)	CMORPH diário (mm)
10/02/2009	0	0
09/02/2009	0,1	39,3
08/02/2009	63,6	57,0

Fonte: o próprio autor.

Por meio da Figura 17 e da Tabela 1, a chuva acumulada no dia 08/02 é a mais provável de ter desencadeado o evento de erosão do dia 10/02. Os dados do método ANOBES são mais confiáveis, mas estes dados são acumulados da 7 h da manhã do dia 8 até as 7 h da manhã do dia 7. Para determinar o horário e a estimativa de precipitação acumulada da chuva calculou-se os valores do ANOBES a cada 30 minutos utilizando-se os dados de CMORPH, que tem resolução temporal a cada 30 minutos, de acordo com a equação 2. Deste modo foram adquiridos os valores e traçou-se o gráfico da Figura 18.

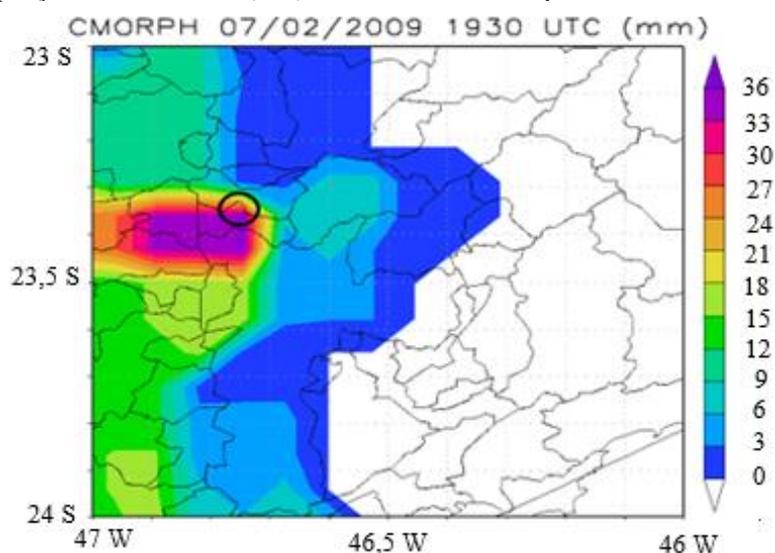
Figura 18 – Distribuição da estimativa de precipitação acumulada a cada 30 minutos com dados de ANOBES.



Fonte: o próprio autor.

Uma imagem do máximo da precipitação sobre a RMSP e sobre o local do evento de erosão se mostra na Figura 19. Acompanhando-se outras imagens, não mostradas, infere-se que a precipitação chegou sobre o município após as 1700 Tempo Universal Coordenado (UTC), fica estacionada das 1730 UTC às 1930 UTC variando em intensidade entre 6 mm e 30 mm, e após às 2000 UTC se expande para leste diminuindo sua intensidade até às 2230 UTC. Como se vê na Figura 20 à estimativa de precipitação acumulada durante o evento de chuva em 8/2 ficou entre 55 mm e 60 mm.

Figura 19 – Imagem de estimativa de precipitação acumulada em 30 minutos do CMORPH em 07/02/2009 às 1930 UTC. Estão indicados na imagem o sistema de estimativa de precipitação acumulada, o dia, mês, ano e hora de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A escala de cores indica a unidade de precipitação em 30 minutos (mm). A circunferência em preto indica a área do evento de erosão.

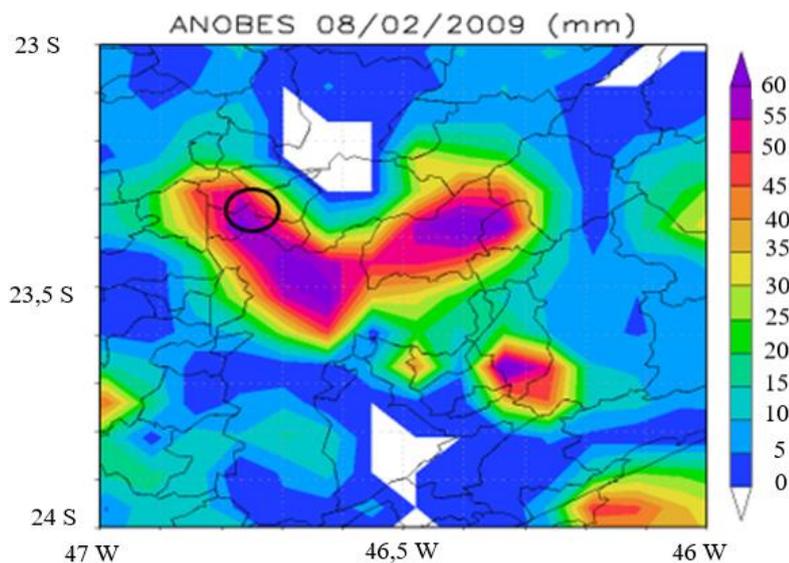


Fonte: o próprio autor.

Identificado o dia e horário da estimativa de precipitação pelo método CMORPH, procurou-se um relatório de chuva emitido pelo RSP que contivesse o dia e o período da chuva. Obteve-se um relatório de chuva que iniciou as 1520 UTC de 7/2 e terminou as 0832 UTC de 8/2 com um máximo de precipitação as 2027 UTC, não mostrado. O valor acumulado estimado de chuva pelo RSP variou de 20 mm a 30 mm, como mostrado na Figura 21.

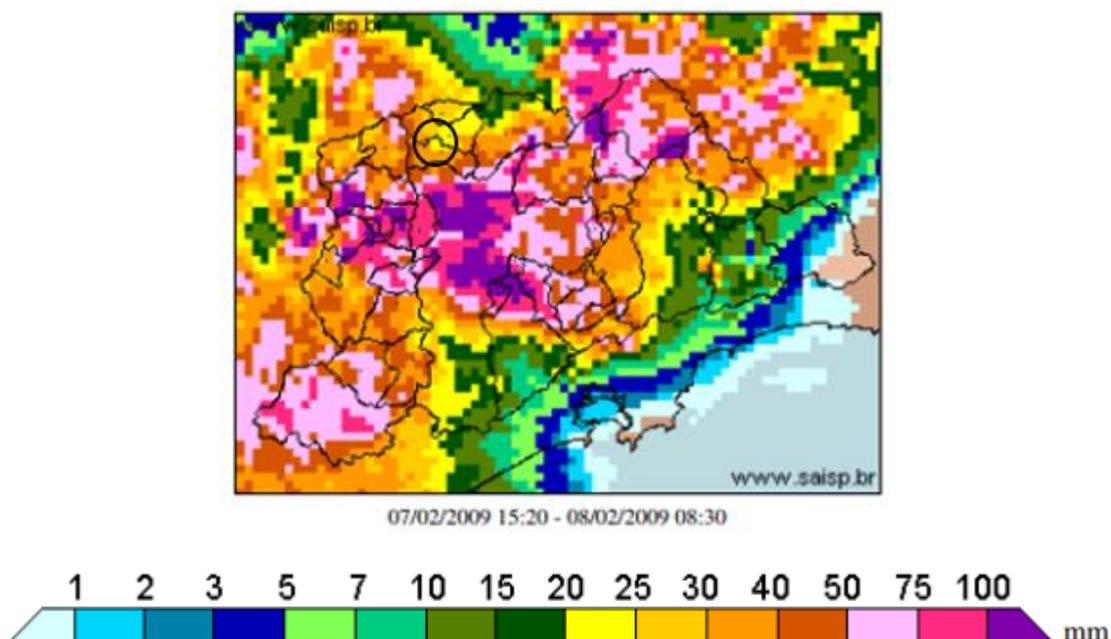
A partir dos dados do RSP procurou-se nas imagens de satélite, Meteosat-9, a manifestação dos sistemas atmosféricos. A animação das imagens de satélite indica um deslocamento dos sistemas atmosféricos de oeste para leste, não mostrado. Na Figura 22 os sistemas convectivos se deslocam da região Centro-Oeste do país para a Sudeste e se associam com uma FF na altura do Paraná que organizou uma LI que se expande do oceano Atlântico até o interior de São Paulo (SILVA; PEREIRA FILHO; HALLAK, 2009).

Figura 20 – Imagem da estimativa de precipitação acumulada do ANOBES das 7 h do dia 07 até 7 h do dia 08 (HL). Estão indicados na imagem o sistema de estimativa, o dia, mês, ano, hora e unidade de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em preto indica a área do evento de erosão. A escala de cores indica a unidade de precipitação (mm).



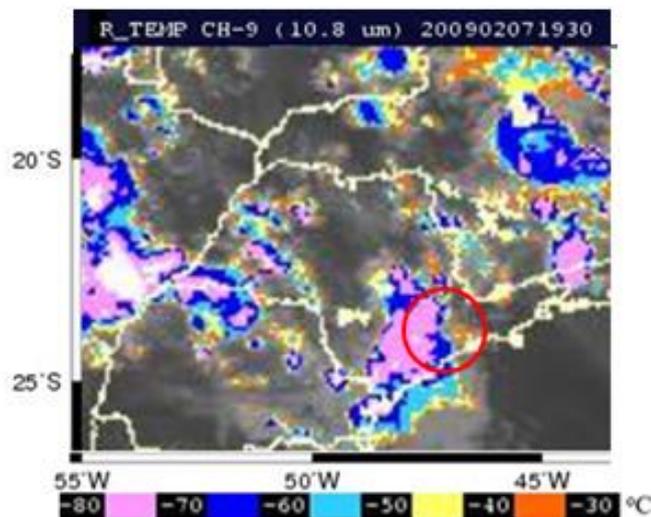
Fonte: o próprio autor.

Figura 21 – Estimativas de valores de precipitação acumulada pelo radar no evento de chuva que teve início em 07/02. Indicados contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em preto indica o local do evento de chuva.



Fonte: Relatório de chuvas do DAEE/FCTH.

Figura 22 – Imagens do canal infravermelho do satélite Metsat-9 de 1930 UTC de 07/02. Estão indicados na imagem o canal, IR (μm), o ano, mês, dia e hora. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em vermelho indica a área da RMSP. Escala de cores indica temperatura de brilho ($^{\circ}\text{C}$).



Fonte: Adaptado satélite CPTEC-INPE. copyright 2010-2012 EUMETSAT. Disponível em: <http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/meteosat.formulario.logic?i=br>. Acesso em 02/05/2021.

Com as análises feitas elaborou-se a Tabela 2 que exhibe uma síntese dos procedimentos. Nesta síntese tem-se os horários de início e duração obtidos com o CMORPH, RSP e satélite. Os valores estimados de precipitação acumulada com o ANOBES e o RSP. Os sistemas precipitantes sobre a área e a informação da estimativa de precipitação acumulada nos 30 dias que antecedem ao evento de erosão com os métodos ANOBES e CMORPH.

Tabela 2 – Síntese das análises do evento de erosão do município de Caieiras em 10/02/2009.

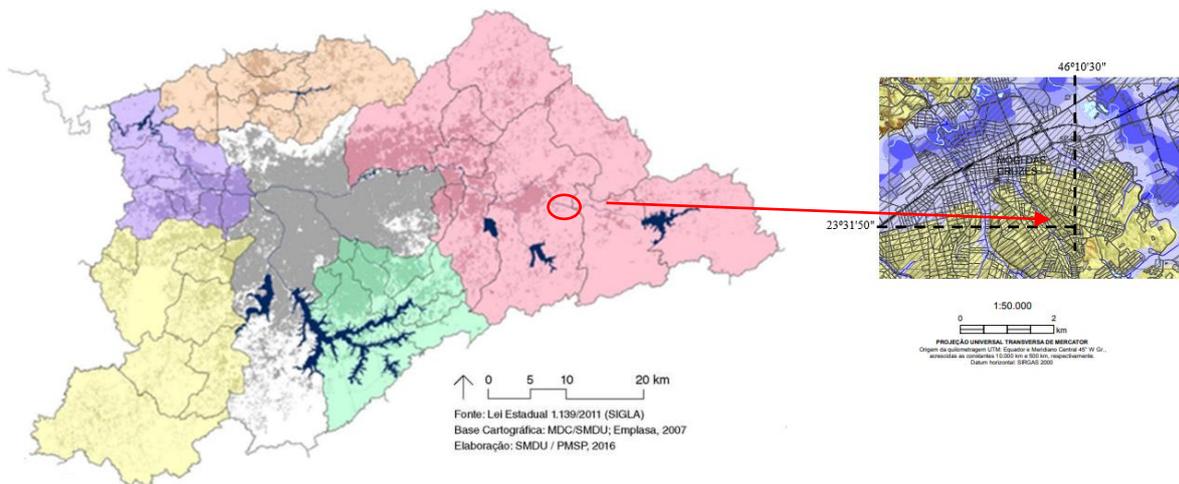
Chuva	Início	Duração
Local (UTC)	07/02 – 1730	5,5 h
RSP (UTC)	07/02 – 1519	17,5 h
Satélite Meteosat-9 (UTC)	07/02 – 1930	7,5 h
Estimativa acumulada ANOBES	55 < a < 60 mm	
Estimativa acumulada RSP	20 < a < 30 mm	
Sistemas Precipitantes	FF e LI	
Precipitação acumulada em 30 dias (mm)	ANOBES – 306,7 e CMORPH – 283,2	

Fonte: o próprio autor.

4.2 Evento no município de Mogi das Cruzes - 07/01/2010

Dois eventos de erosão ocorreram no município de Mogi das Cruzes em 07 de janeiro de 2010. Estes eventos foram localizados um a 23,52963 S e 46,17424 W e outro a 23,56679 S e 46,17452 W na vila Oliveira. Na carta geotécnica do município e locais determinados obtiveram-se as características: área é urbanizada (residencial), com relevo de planícies e terraço fluvial, com declividades de terreno menores de 15° e com solos aluviais (Figura 23).

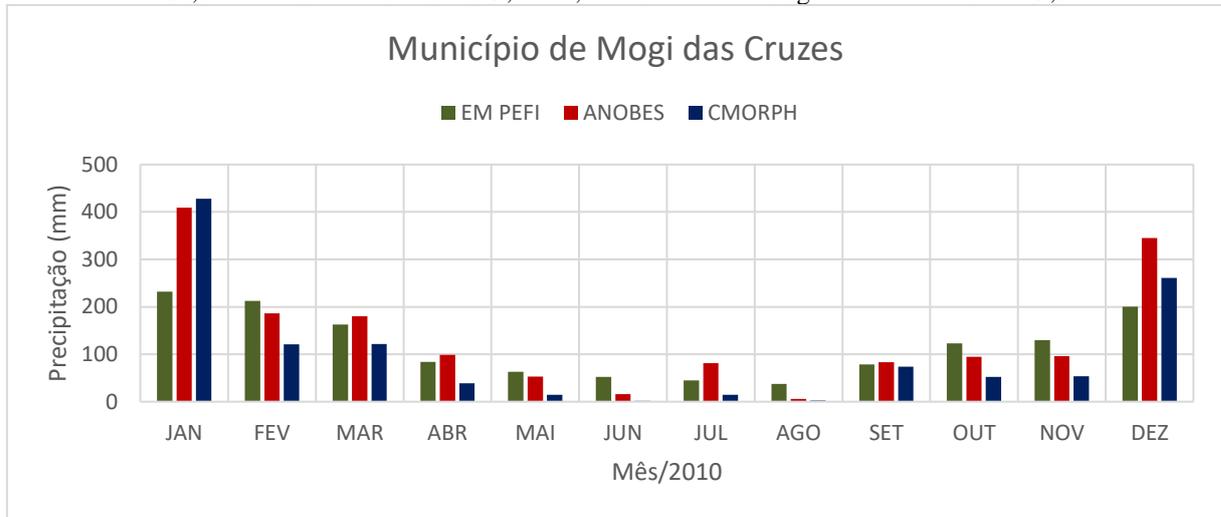
Figura 23 – Detalhes da Carta Geotécnica nas coordenadas geográficas do evento de erosão. Estão indicados na imagem a localização do município e do ponto do evento de erosão no círculo vermelho (intersecção das linhas pretas). Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos.



Fonte: Adaptado da Carta geotécnica. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/16155>. Acesso em 05/05/2021. E Fonte: Lei Estadual 1.139/2011 (SIGLA), Base Cartográfica MDC/SMDU; Emplasa, 2007.

Com os dados de estimativa de precipitação diária traçou-se o gráfico dos meses e do ano de 2010 (Figura 24) e comparou-se com a climatologia da EM do PEFI. E também foi traçado o gráfico, de estimativa de precipitação acumulada, dos 30 dias que antecedem ao evento de erosão, Figura 25. Para estes gráficos utilizou-se os dados dos métodos de CMORPH e ANOBES.

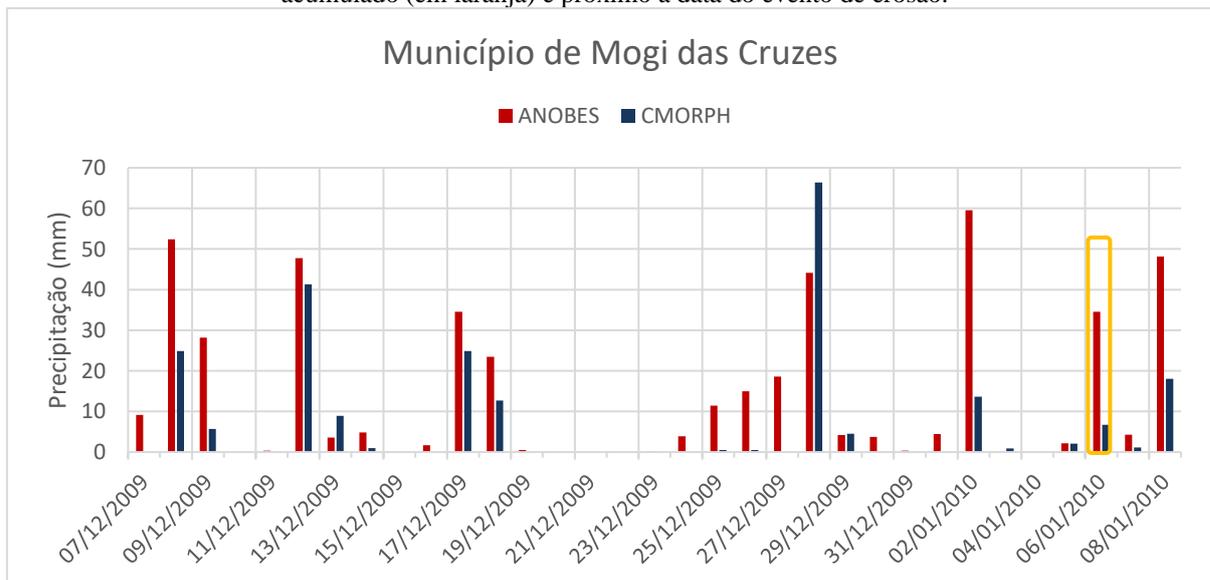
Figura 24 – Estimativa de precipitação acumulada mensal durante 2010 no município de Mogi das Cruzes. Utilizou-se dados de CMORPH e ANOBES. A estimativa de precipitação acumulada anual com CMORPH foi de 1182,5 mm e com ANOBES 1649,7 mm, e na série climatológica EM-PEFI foi 1419,3 mm.



Fonte: o próprio autor e Boletim climatológico anual da Estação Meteorológica do IAG/USP, Seção Técnica de Serviços Meteorológicos.

Nos meses de janeiro e dezembro a estimada de precipitação acumulada ANOBES e CMORPH são maiores do que a série climatológica. Nos meses de junho e agosto os valores das estimativas de ANOBES e CMORPH são menores. O valor acumulado anual na série climatológica é menor do que o acumulado anual estimado pelo ANOBES e maior do que o estimado pelo CMORPH.

Figura 25 – Série histórica da estimativa de precipitação acumulada diária nos 30 dias que antecede o evento de erosão no município de Mogi das Cruzes. Está indicado o dia anterior ao evento de erosão de maior valor acumulado (em laranja) e próximo a data do evento de erosão.



Fonte: o próprio autor.

O evento de erosão foi registrado em 7/1 neste dia não houve uma pequena precipitação. No dia 6 houve grande precipitação estimada pelo ANOBES e menor pelo CMORPH, 34,6 mm e 6,7 mm respectivamente. No dia 5 os volumes precipitados foram ainda menores que no dia 7. Desta forma, pode-se inferir que a ocorrência do evento de erosão foi dia 6. Na Tabela 3 se faz um resumo destes dados. Os valores estimados acumulados neste período foram de 412,7 mm para o ANOBES e 215,7 mm para o CMORPH.

Tabela 3 – Estimativa de precipitação acumulada diária entre as 7 h de um dia até às 7 h do dia anterior (HL), em ANOBES e CMORPH. Destacado em laranja o dia de estimativa de precipitação acumulada elevada.

Acumulado do dia	ANOBES diário (mm)	CMORPH diário (mm)
07/01/2010	4,3	1,1
06/01/2010	34,6	6,7
05/01/2010	2,1	2,1

Fonte: o próprio autor.

Por meio da Figura 25 e da Tabela 3, a chuva acumulada no dia 06/01 é a mais provável de ter desencadeado o evento de erosão do dia 07/01. Os dados do método ANOBES são mais confiáveis, mas estes dados são acumulados da 7 h da manhã do dia 6 até as 7 h da manhã do dia 5. Para determinar o horário e a estimativa de precipitação acumulada da chuva calculou-se os valores do ANOBES a cada 30 minutos utilizando-se os dados de CMORPH, que tem resolução temporal a cada 30 minutos, de acordo com a equação 2. Deste modo foram adquiridos os valores e traçou-se o gráfico da Figura 26.

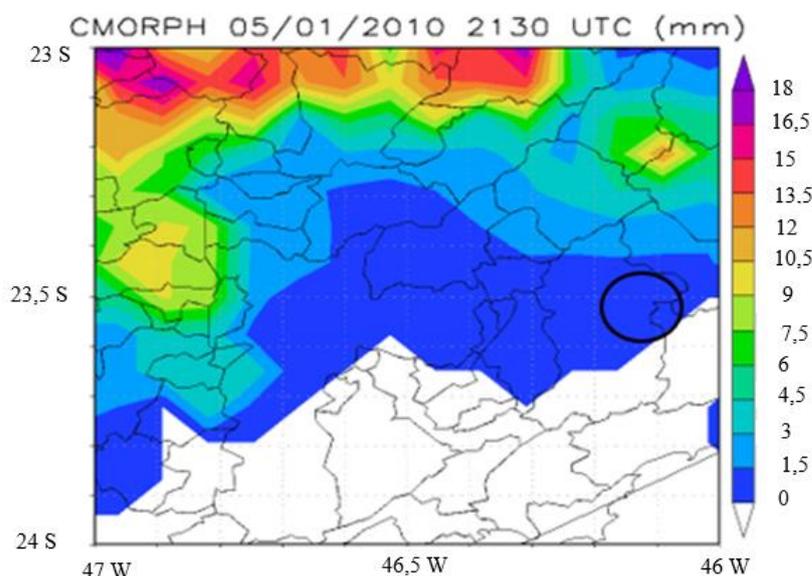
Figura 26 – Distribuição da estimativa de precipitação acumulada a cada 30 minutos com dados de ANOBES.



Fonte: o próprio autor.

Uma imagem do máximo de precipitação sobre a RMSP e sobre o local do evento de erosão se mostra na Figura 27. Acompanhando outras imagens, não mostradas, infere-se que a precipitação chegou ao município por volta das 2030 UTC do dia 5 se expandiu e terminou por volta da 0100 UTC do dia 6, os volumes precipitados são baixos. Como se vê na Figura 28 a estimativa de precipitação acumulada durante o evento de chuva em 6/1, ficou entre 15 mm a 25 mm.

Figura 27 – Imagem de estimativa de precipitação acumulada em 30 minutos do CMORPH em 05/01/10 às 2130 UTC. Estão indicados na imagem o sistema de estimativa de precipitação acumulada, o dia, mês, ano, hora e de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A escala de cores indica de precipitação em 30 minutos (mm). A circunferência em preto indica a área do evento de erosão.

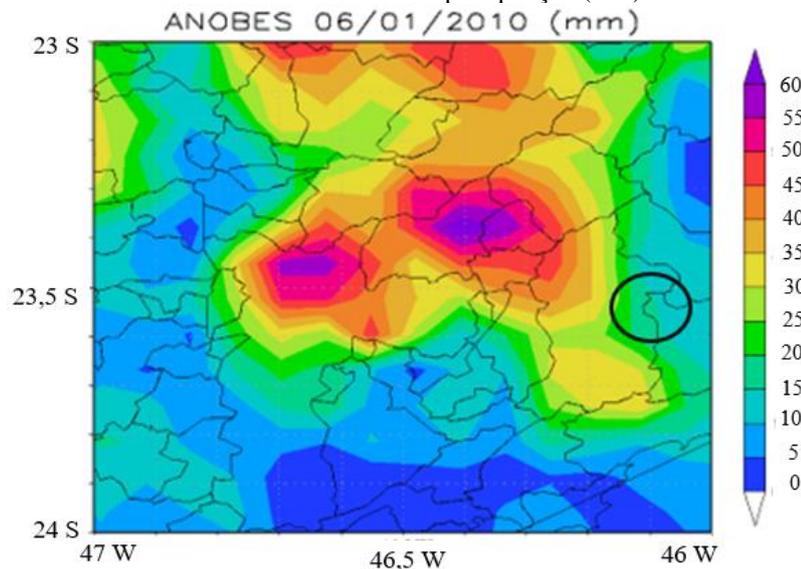


Fonte: o próprio autor.

Identificado o dia e horário da estimativa de precipitação pelo método CMORPH, procurou-se um relatório de chuva emitido pelo RSP que contivesse o dia e o período da chuva. Obteve-se um relatório de chuva que iniciou as 1553UTC de 5/1 e terminou as 0539 UTC de 6/1 com um máximo de precipitação as 2259 UTC, não mostrado. O valor acumulado estimado de chuva pelo RSP variou de 5 mm a 25 mm, como mostrado na Figura 29.

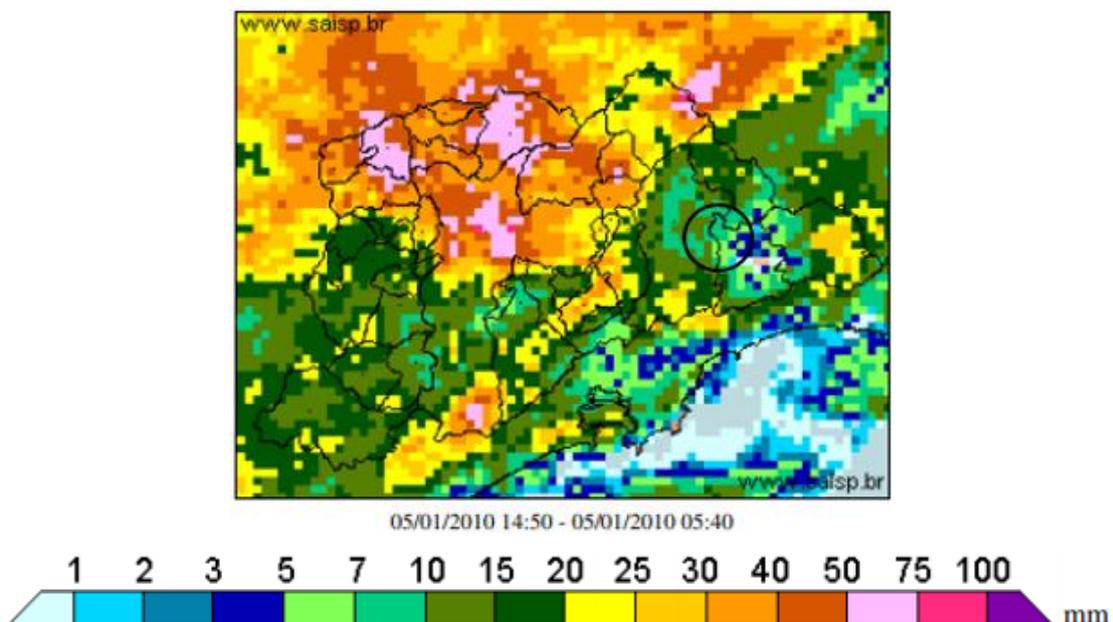
A partir dos dados do RSP procurou-se nas imagens de satélite, Meteosat-9, a manifestação dos sistemas atmosféricos. A animação das imagens de satélite indica um deslocamento dos sistemas atmosféricos de sudoeste para nordeste, não mostrado. Na Figura 30 há um vórtice anticiclone sobre o leste do Brasil e um cavado no oceano Atlântico na costa de SP organizando uma LI que se expande do estado de SP ao oceano Atlântico. (SILVA; PEREIRA FILHO; HALLAK, 2009)

Figura 28 – Imagem da estimativa de precipitação acumulada do ANOBES das 7 h do dia 05 até 7 h do dia 06 (HL). Estão indicados na imagem o sistema de estimativa, o dia, mês, ano, hora e unidade de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A seta indica a área do evento de erosão. A escala de cores indica a unidade de precipitação (mm).



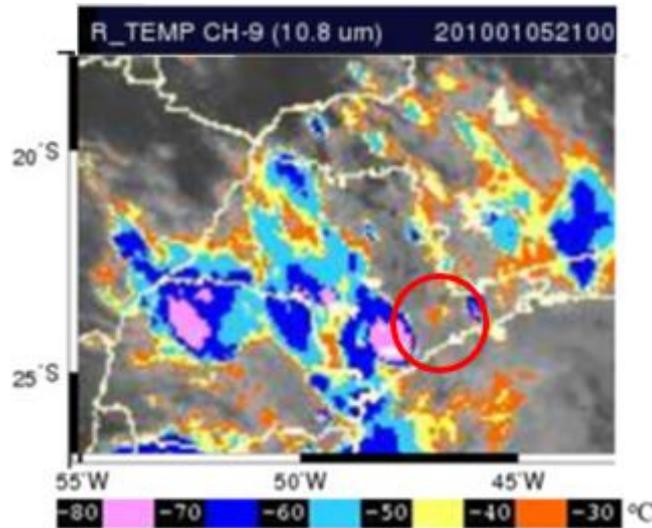
Fonte: o próprio autor.

Figura 29 – Estimativas de valores de precipitação acumulada pelo radar no evento de chuva que teve início em 05/01 e em 06/01. Indicados contornos geopolíticos e geográficos. Há uma errata na legenda da imagem, o dia do término da precipitação.



Fonte: Relatório de chuvas do DAEE/FCTH.

Figura 30 – Imagem do canal infravermelho do satélite Meteosat-9 de 2100 UTC de 05/01. Estão indicados na imagem o canal IR (μm), o ano, mês, dia e hora. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em vermelho indica a área da RMS. Escala de cores indica temperatura de brilho ($^{\circ}\text{C}$).



Fonte: Adaptado satélite CPTEC-INPE. copyright 2010-2012 EUMETSAT. Disponível em: <http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/meteosat.formulario.logic?i=br>. Acesso em 02/05/2021.

Com as análises feitas elaborou-se a Tabela 4 que exhibe uma síntese dos procedimentos. Nesta síntese tem-se os horários de início e duração obtidos com o CMORPH, RSP e satélite. Os valores estimados de precipitação acumulada com o ANOBES e o RSP. Os sistemas precipitantes sobre a área e a informação da estimativa de precipitação acumulada nos 30 dias que antecedem ao evento de erosão com os métodos ANOBES e CMORPH.

Tabela 4 – Síntese das análises do evento de erosão do município de Mogi das Cruzes em 07/01/2010.

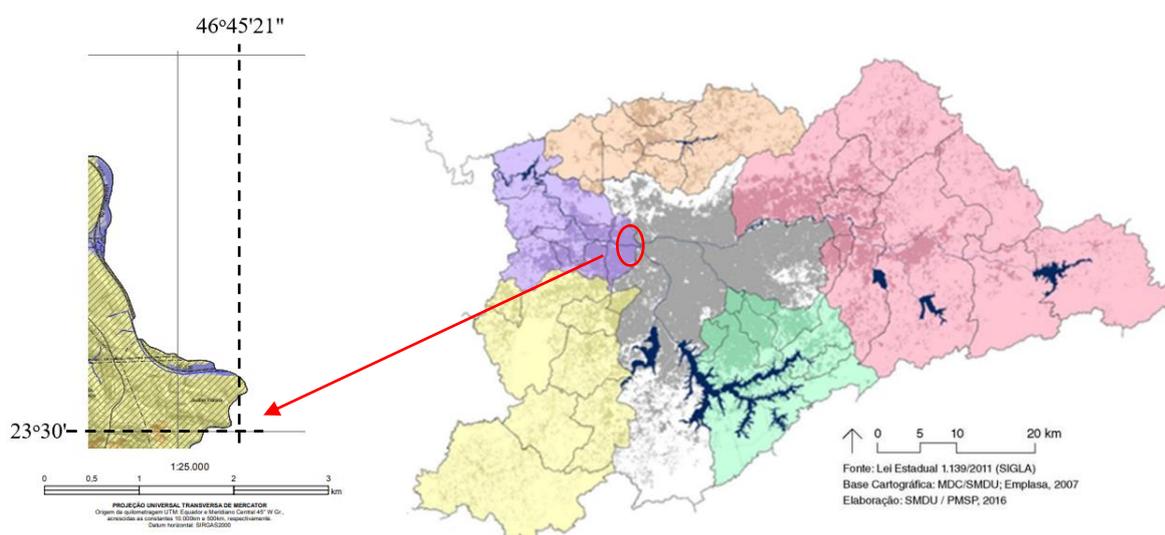
Chuva	Início	Duração
Local (UTC)	05/01 – 2030	4,5 h
RSP (UTC)	05/01 – 1453	15 h
Satélite Meteosat 9 (UTC)	05/01 – 1500	15 h
Estimativa acumulada ANOBES	15 < a < 25 mm	
Estimativa acumulada RSP	5 < a < 25 mm	
Sistemas Precipitantes	FF e LI	
Precipitação acumulada em 30 dias (mm)	ANOBES – 412,7 e CMORPH – 215,7	

Fonte: o próprio autor.

4.3 Evento no município de Osasco – 22/12/2007

O evento de erosão ocorreu em Osasco em 22 de dezembro de 2007. Este evento foi localizado a 23,494976 S e 46,75759 W na Rodovia SP-330. Na carta geotécnica do município e local determinado obtiveram-se as características: área é urbanizada em zona de inundação e a margem da rodovia, de morros baixos, com declividades menores do que 15° e com solos aluviais (Figura 31).

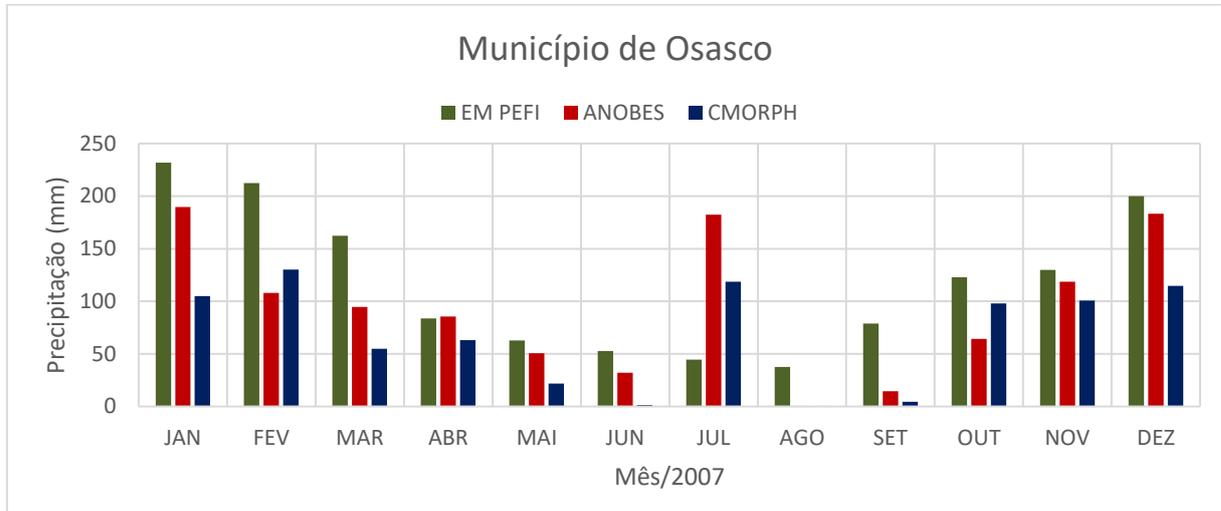
Figura 31 – Detalhes da Carta Geotécnica nas coordenadas geográficas do evento de erosão. Estão indicados na imagem a localização do município e do ponto do evento de erosão no círculo vermelho (intersecção das linhas pretas). Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos.



Fonte: Fonte: Adaptado da carta geotécnica. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15203> - Acesso em 05/05/2021. E Fonte: Lei Estadual 1.139/2011 (SIGLA), Base Cartográfica MDC/SMDU; Emplasa, 2007.

Com os dados de estimativa de precipitação diária traçou-se o gráfico dos meses e do ano de 2007 (Figura 32) e comparou-se com a climatologia da EM do PEFI. E também foi traçado o gráfico, de estimativa de precipitação acumulada, dos 30 dias que antecedem ao evento de erosão, Figura 33. Para estes gráficos utilizou-se os dados dos métodos de CMORPH e ANOBES.

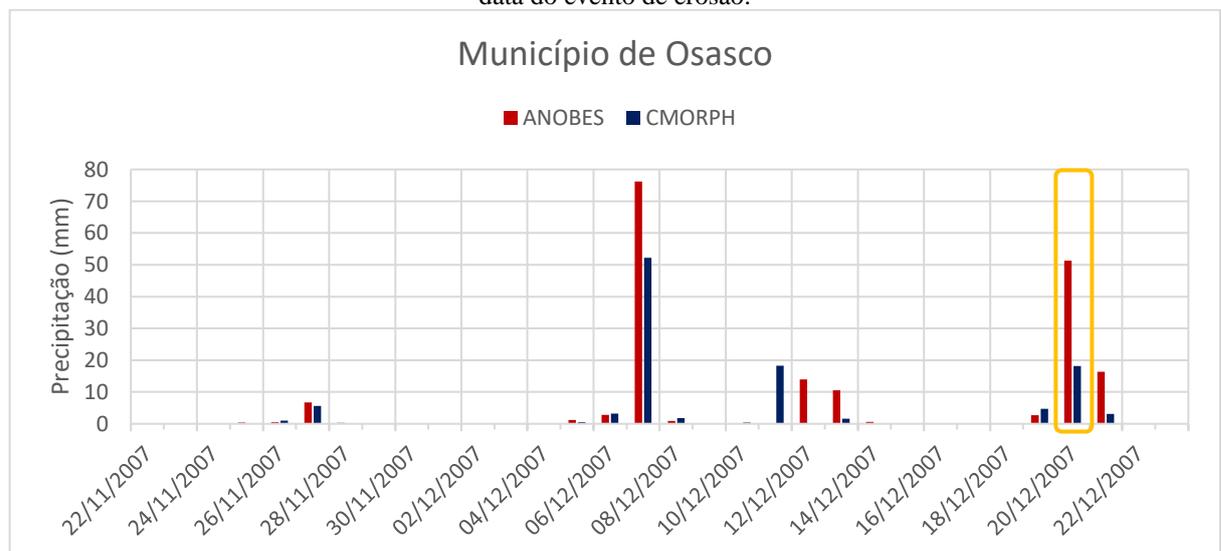
Figura 32 – Estimativa de precipitação acumulada mensal durante 2007 no município de Osasco. Utilizou-se dados de CMORPH e ANOBES. A estimativa de precipitação acumulada anual com CMORPH foi de 813,7 mm e com ANOBES foi de 1123,7 mm, e na série climatológica EM-PEFI foi 1419,3 mm.



Fonte: o próprio autor e Boletim climatológico anual da Estação Meteorológica do IAG/USP, Seção Técnica de Serviços Meteorológicos.

Na Figura 32, apenas no mês de julho choveu muito mais na estimativa do CMORPH e do ANOBES do que na série climatológica, este ano choveu muito pouco. No mês do evento, dezembro, a estimativa do ANOBES chega próximo ao valor da climatologia. As estimativas de precipitação acumulada anual estão bem abaixo da climatologia, 813,7 mm para o CMORPH e 1123,7 mm para o ANOBES enquanto que na EM do PEFI é 1419,3 mm.

Figura 33 – Série histórica da estimativa de precipitação acumulada diária nos 30 dias que antecede o evento de erosão no município de Caieiras. Está indicado o dia anterior de maior valor acumulado (em laranja) e próximo a data do evento de erosão.



Fonte: o próprio autor.

Na Figura 33, o evento de erosão foi registrado em 22/12 neste dia não houve precipitação nem com o ANOBES e nem com o CMORPH. No dia 21 houve 3,1 mm de precipitação com o CMORPH e 16,4 mm com o ANOBES. No dia 20 houve grandes volumes precipitados, 51,3 mm e 18,2 mm ANOBES e CMORPH respectivamente, pode-se considerar a ocorrência do evento de erosão nesta data. Na Tabela 5 se faz um resumo destes dados. Os valores estimados acumulados neste período foram de 184,4 mm para o ANOBES e 110,6 mm para o CMORPH.

Tabela 5 – Estimativa de precipitação acumulada diária entre as 7 h de um dia até às 7 h do dia anterior (HL), em ANOBES e CMORPH. O fator de ajuste é uma relação entre ANOBES e CMORPH. Destacado em laranja o dia de estimativa de precipitação acumulada elevada.

Acumulado Do dia	ANOBES diário (mm)	CMORPH diário (mm)
22/12/2007	0	0
21/12/2007	16,4	3,1
20/12/2007	51,3	18,2

Fonte: o próprio autor.

Por meio da Figura 33 e da Tabela 5, a chuva acumulada no dia 20/12 é a mais provável de ter desencadeado o evento de erosão do dia 22/12. Os dados do método ANOBES são mais confiáveis, mas estes dados são acumulados da 7 h da manhã do dia 19 até as 7 h da manhã do dia 20. Para determinar o horário e a estimativa de precipitação acumulada da chuva calculou-se os valores do ANOBES a cada 30 minutos utilizando-se os dados de CMORPH, que tem resolução temporal a cada 30 minutos, de acordo com a equação 2. Deste modo foram adquiridos os valores e traçou-se o gráfico da Figura 34.

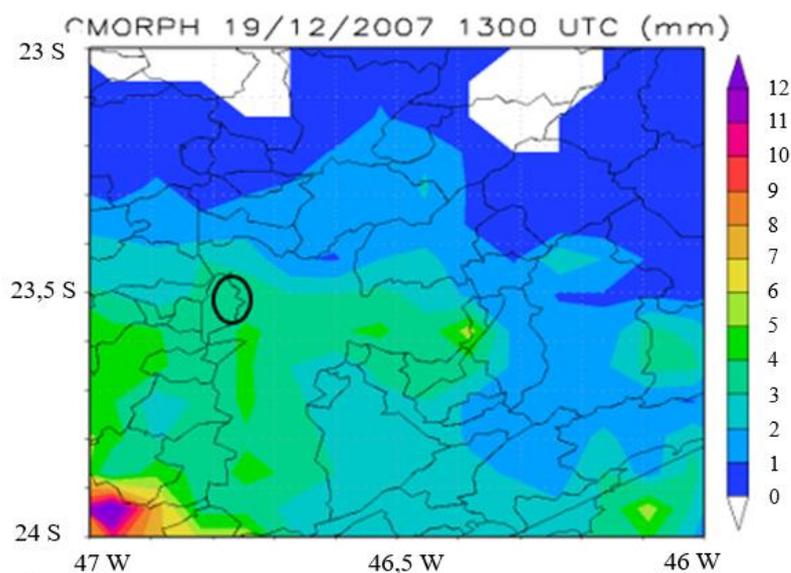
Figura 34 – Distribuição da estimativa de precipitação acumulada a cada 30 minutos com dados de ANOBES.



Fonte: o próprio autor.

Uma imagem do máximo da precipitação sobre a RMSP e sobre o local do evento de erosão se mostra na Figura 35. Acompanhando-se outras imagens, não mostradas, infere-se que a precipitação chegou sobre o município às 0630 UTC, com variação de volumes até as 1800 UTC e terminou por volta das 1900 UTC. Há um pico as 1800 UTC com uma precipitação de 4,5 mm e o deslocamento da precipitação é de oeste para leste. Como se vê na Figura 36 a estimativa de precipitação acumulada durante o evento em 20/12, ficou entre 40 mm e 60 mm.

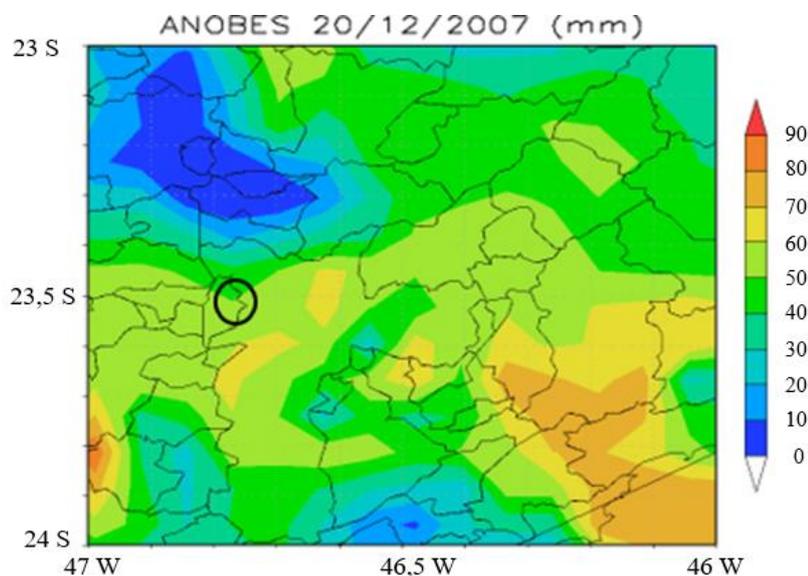
Figura 35 – Imagem de estimativa de precipitação acumulada em 30 minutos do CMORPH em 19/12/2007 às 1300 UTC. Estão indicados na imagem o sistema de estimativa de precipitação acumulada, o dia, mês, ano, hora e da precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A escala de cores indica a precipitação em 30 minutos (mm). A circunferência em preto indica a área do evento de erosão.



Fonte: o próprio autor.

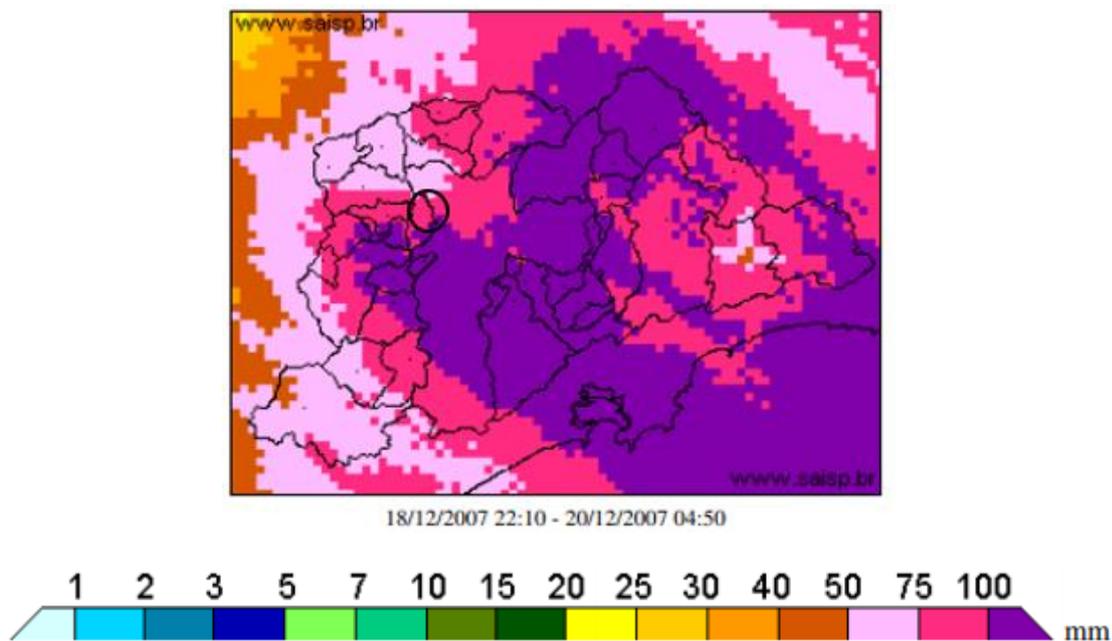
Identificado o dia e horário da estimativa de precipitação pelo método CMORPH, procurou-se um relatório de chuva emitido pelo RSP que contivesse o dia e o período da chuva. Obteve-se um relatório de chuva que iniciou as 2008 UTC de 18/12 e terminou as 0449 UTC de 20/12 com um máximo de precipitação as 1639 UTC do dia 19/12, não mostrado. O valor acumulado estimado de chuva pelo RSP variou de 75 mm a 100 mm, como mostrado na Figura 37.

Figura 36 – Imagem da estimativa de precipitação acumulada do ANOBES das 7 h do dia 19 até 7 h do dia 20 (HL). Estão indicados na imagem o sistema de estimativa, o dia, mês, ano, hora e unidade de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A seta indica a área do evento de erosão. A escala de cores indica a unidade de precipitação (mm).



Fonte: o próprio autor.

Figura 37 – Estimativas de valores de precipitação acumulada pelo radar no evento de chuva que teve início em 18/12. Indicados contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em preto indica o local do evento de chuva.

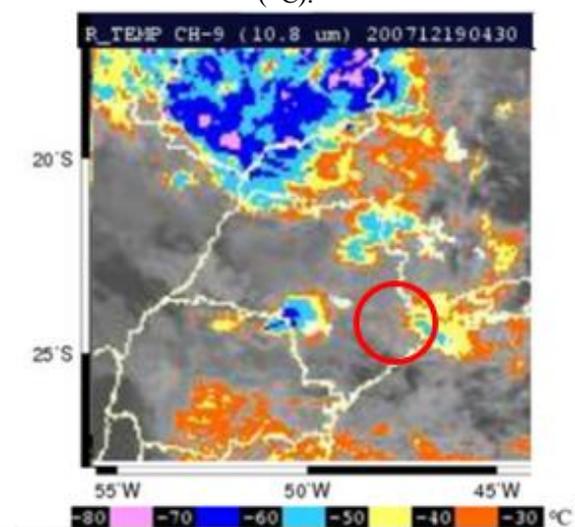


Fonte: Relatório de chuvas do DAEE/FCTH.

A partir dos dados do RSP procurou-se nas imagens de satélite, Meteosat-9, a manifestação dos sistemas atmosféricos. A animação das imagens de satélite indica um deslocamento dos sistemas atmosféricos de oeste para leste, não mostrado. Na Figura 38 os

sistemas convectivos se deslocam da região Centro-Oeste do país para a Sudeste e encontram muita nebulosidade (SILVA; PEREIRA FILHO; HALLAK, 2009).

Figura 38 – Imagens do canal infravermelho do satélite Meteosat-9 de 0430 UTC de 19/12/2007. Estão indicados na imagem o canal IR (μm), o ano, mês, dia e hora. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em vermelho indica a área da RMSP. Escala de cores indica temperatura de brilho ($^{\circ}\text{C}$).



Fonte: Adaptado do satélite CPTEC-INPE. copyright 2010-2012 EUMETSAT. Disponível em: <http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/meteosat.formulario.logic?i=br>. Acesso em: 29/04/2021.

Com as análises feitas elaborou-se a Tabela 6 que exibe uma síntese dos procedimentos. Nesta síntese tem-se os horários de início e duração obtidos com o CMORPH, RSP e satélite. Os valores estimados de precipitação acumulada com o ANOBES e o RSP. Os sistemas precipitantes sobre a área e a informação da estimativa de precipitação acumulada nos 30 dias que antecedem ao evento de erosão com os métodos ANOBES e CMORPH.

Tabela 6 – Síntese das análises do evento de erosão do município de Osasco em 22/12/2007.

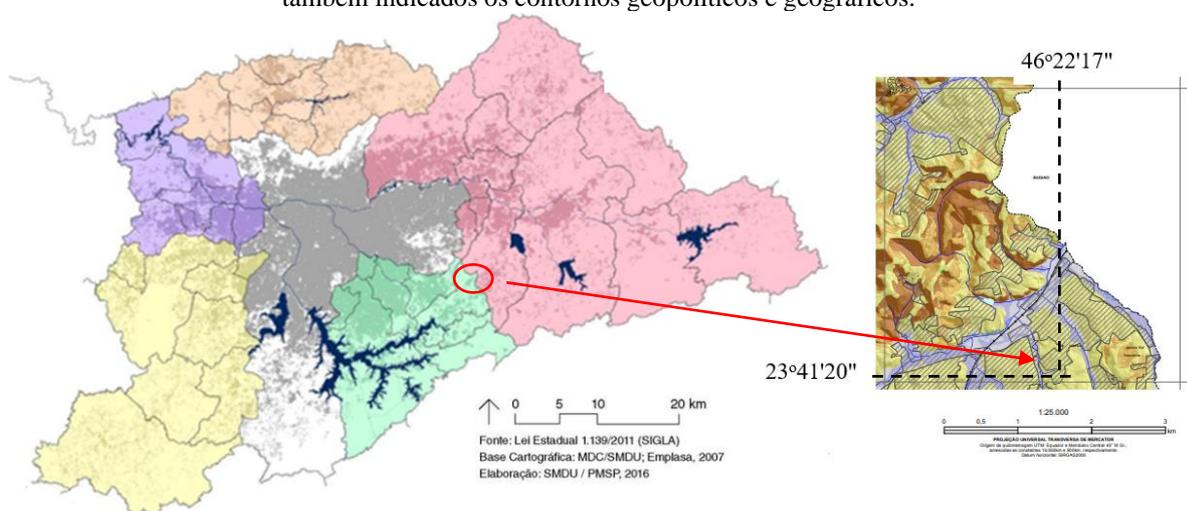
Chuva	Início	Duração
Local (UTC)	19/12 – 0630	12,5 h
RSP (UTC)	18/12 – 2208	31 h
Satélite Meteosat 9 (UTC)	18/12 – 2345	29,5 h
Estimativa acumulada ANOBES	40 < a < 60 mm	
Estimativa acumulada RSP	75 < a < 100 mm	
Sistemas Precipitantes	Sistemas convectivos e alta nebulosidade	
Precipitação acumulada em 30 dias (mm)	ANOBES – 184,4 e CMORPH – 110,6	

Fonte: o próprio autor.

4.4 Evento no município de Ribeirão Pires - 11/02/2013

O evento de erosão ocorreu no município de Ribeirão Pires em 11 de fevereiro de 2013. Este evento foi localizado a 23,686742 S e 46,36953 W em Ouro Fino. Na carta geotécnica do município e local determinado obtiveram-se as características: área é urbanizada (residencial) em zona de inundação, de planícies e terraços fluviais, com declividades menores do que 15° e solos aluviais (Figura 39).

Figura 39 – Detalhes da Carta Geotécnica nas coordenadas geográficas do evento de erosão. Estão indicados na imagem a localização do município e do ponto do evento de erosão está no círculo vermelho (ponto preto). Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos.

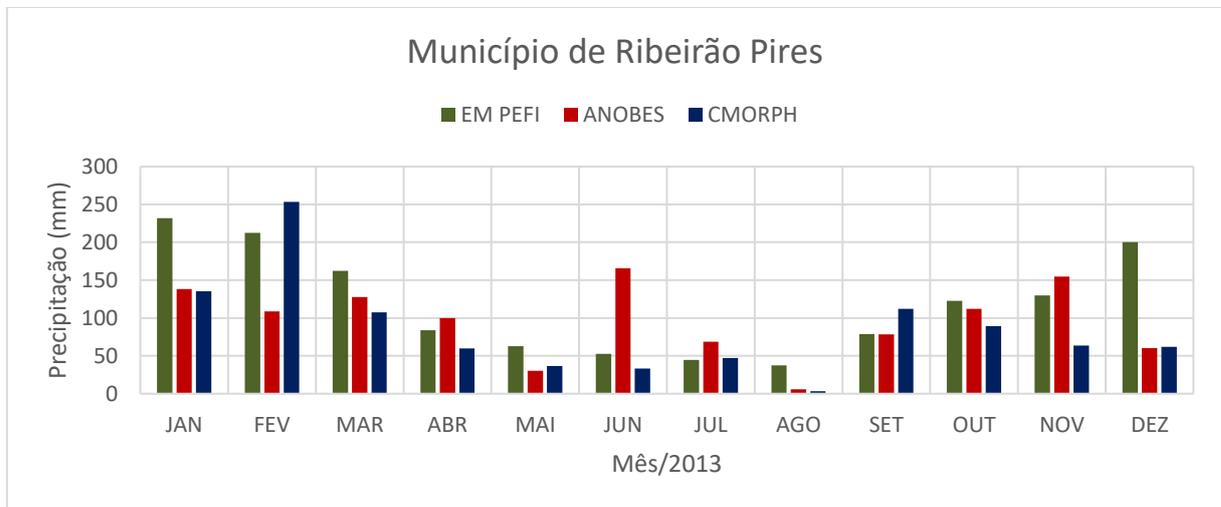


Fonte: Adaptado da Carta geotécnica. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15208>. Acesso em 05/05/2021. E Fonte: Lei Estadual 1.139/2011 (SIGLA), Base Cartográfica MDC/SMDU; Emplasa, 2007.

Com os dados de estimativa de precipitação diária traçou-se o gráfico dos meses e do ano de 2013 (Figura 40) e comparou-se com a climatologia da EM do PEFI. E também foi traçado o gráfico, de estimativa de precipitação acumulada, dos 30 dias que antecedem ao evento de erosão, Figura 41. Para estes gráficos utilizou-se os dados dos métodos de CMORPH e ANOBES.

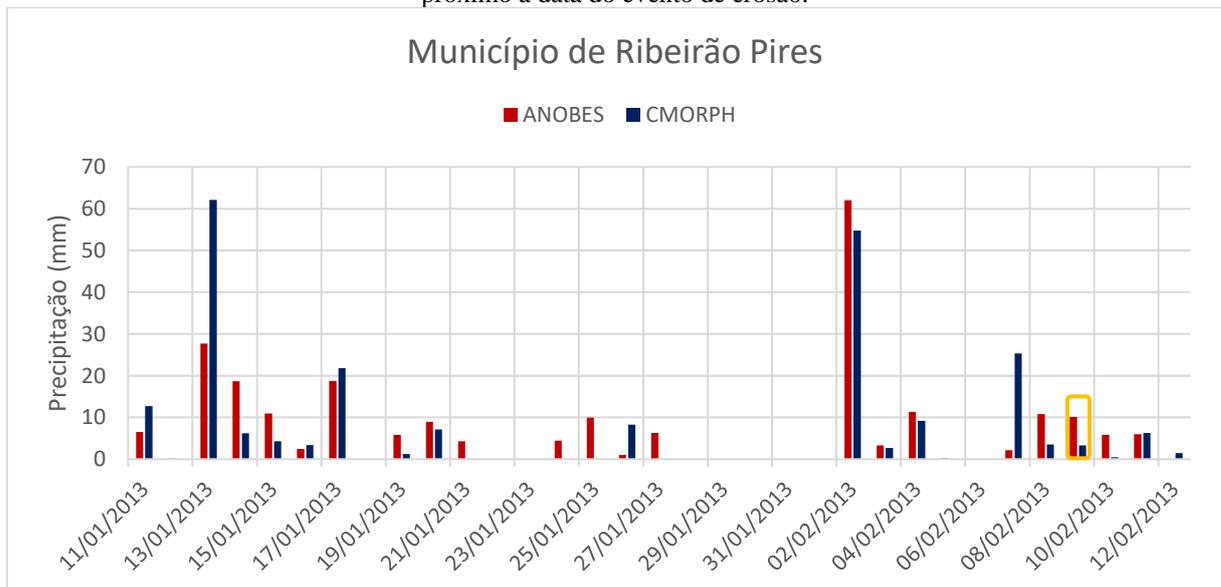
Na Figura 42, se tem um ano pouco chuvoso em relação a série climatológica, o estimado pelo ANOBES foi de 1150,3 mm e o estimado pelo CMORPH foi de 1003,7 mm, o esperado pela climatologia foi de 1419,3 mm. No mês de agosto há muita pouca precipitação estimada pelo CMORPH e ANOBES. No mês de junho há um valor muito alto estimado pelo ANOBES.

Figura 40 – Estimativa de precipitação acumulada mensal durante 2013 no município de Ribeirão Pires. Utilizou-se dados de CMORPH e ANOBES. A estimativa de precipitação acumulada anual com CMORPH foi de 1003,7 mm e com ANOBES foi de 1150,3 mm, e na série climatológica EM-PEFI foi 1419,3 mm.



Fonte: o próprio autor e Boletim climatológico anual da Estação Meteorológica do IAG/USP, Seção Técnica de Serviços Meteorológicos.

Figura 41 – Série histórica da estimativa de precipitação acumulada diária nos 30 dias que antecede o evento de erosão no município de Ribeirão Pires. Está indicado o dia anterior de maior valor acumulado (em laranja) e próximo a data do evento de erosão.



Fonte: o próprio autor.

O evento de erosão foi registrado em 11/02 neste dia a precipitação com o ANOBES é de 6,0 mm e com o CMORPH 6,3 mm. No dia 10 apenas os volumes foram ainda menores com o CMORPH foi de 0,5 mm e com ANOBES foi de 5,8 mm. No dia 9 os volumes precipitados foram maiores, 10,1 mm e 3,3 mm ANOBES e CMORPH respectivamente, considerado este dia como o evento de chuva que gerou a erosão. Na Tabela 7 se faz um resumo destes dados.

Os valores estimados acumulados neste período foram de 237,8 mm para o ANOBES e 232,7 mm para o CMORPH.

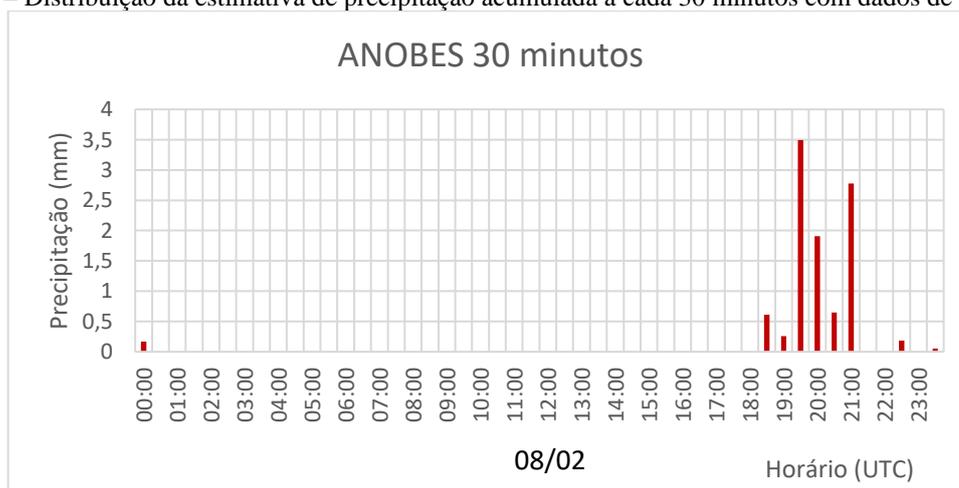
Tabela 7 – Estimativa de precipitação acumulada diária entre as 7 h de um dia até às 7 h do dia anterior (HL), em ANOBES e CMORPH. O fator de ajuste é uma relação entre ANOBES e CMORPH. Destacado em laranja o dia de estimativa de precipitação acumulada elevada.

Acumulado do dia	ANOBES diário(mm)	CMORPH diário(mm)
11/02/2013	6,0	6,3
10/02/2013	5,8	0,5
09/02/2013	10,1	3,3

Fonte: o próprio autor.

Por meio da Figura 41 e da Tabela 7, a chuva acumulada no dia 09/02 é a mais provável de ter desencadeado o evento de erosão do dia 11/02. Os dados do método ANOBES são mais confiáveis, mas estes dados são acumulados da 7 h da manhã do dia 8 até as 7 h da manhã do dia 7. Para determinar o horário e a estimativa de precipitação acumulada da chuva calculou-se os valores do ANOBES a cada 30 minutos utilizando-se os dados de CMORPH, que tem resolução temporal a cada 30 minutos, de acordo com a equação 2. Deste modo foram adquiridos os valores e traçou-se o gráfico da Figura 42.

Figura 42 – Distribuição da estimativa de precipitação acumulada a cada 30 minutos com dados de ANOBES.

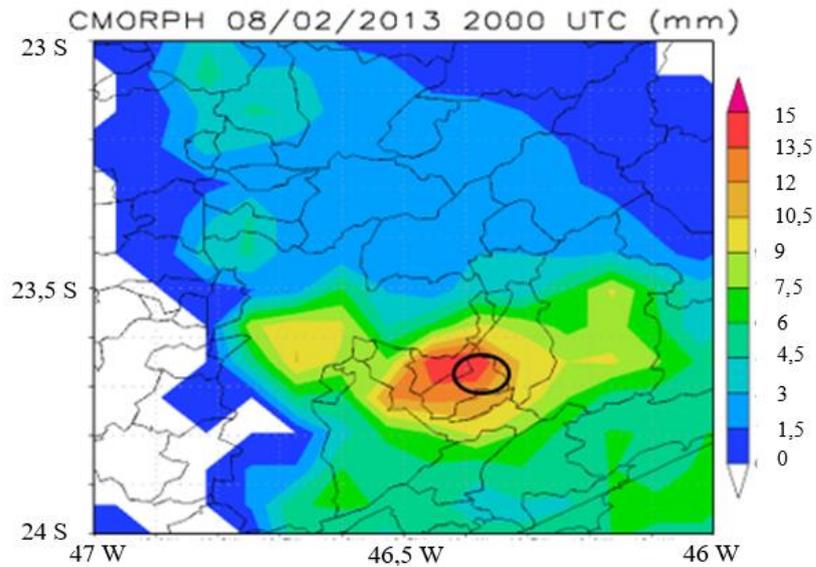


Fonte: o próprio autor.

Uma imagem da precipitação sobre a RMSP e sobre o local do evento de erosão se mostra na Figura 43. Acompanhando-se outras imagens, não mostradas, infere-se que a precipitação começou após as 1800 UTC com volumes de precipitação que se alternam entre

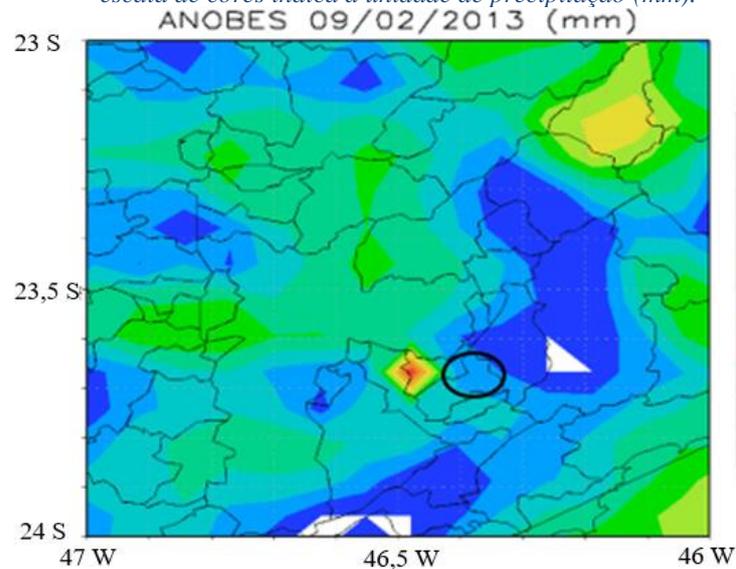
baixos e um pouco mais alto até as 2100 UTC. A precipitação chegou ao município pouco antes das 1900 UTC deslocou-se de noroeste para sudeste e deixando o município após as 2030 UTC. Como se vê na Figura 44 a estimativa de precipitação acumulada durante a chuva em 9/2, ficou entre 10 mm e 15 mm.

Figura 43 – Imagem de estimativa de precipitação acumulada em 30 minutos do CMORPH em 08/02/2013 às 2000 UTC. Estão indicados na imagem o sistema de estimativa de precipitação acumulada, o dia, mês, ano, hora de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A escala de cores indica a unidade de precipitação em 30 minutos (mm). A circunferência em preto indica a área do evento de erosão.



Fonte: o próprio autor.

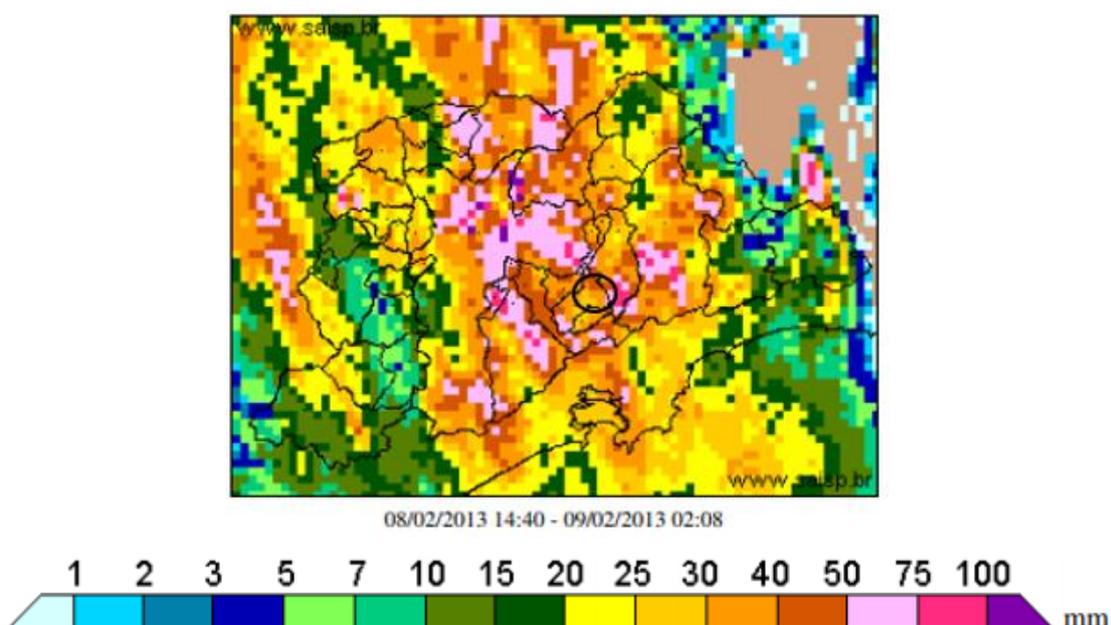
Figura 44 – Imagem da estimativa de precipitação acumulada do ANOBES das 7 h (HL) do dia 08 até 7 h (HL) do dia 09. Estão indicados na imagem o sistema de estimativa, o dia, mês, ano, hora e unidade de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A seta indica a área do evento de erosão. A escala de cores indica a unidade de precipitação (mm).



Fonte: o próprio autor.

Identificado o dia e horário da estimativa de precipitação pelo método CMORPH, procurou-se um relatório de chuva emitido pelo RSP que contivesse o dia e o período da chuva. Obteve-se um relatório de chuva que iniciou as 1453 UTC de 8/2 e terminou as 0208 UTC de 9/2 com um máximo de precipitação as 1933 UTC, não mostrado. O valor acumulado estimado de chuva pelo RSP variou de 20 mm a 50 mm, no círculo preto, como mostrado na Figura 45.

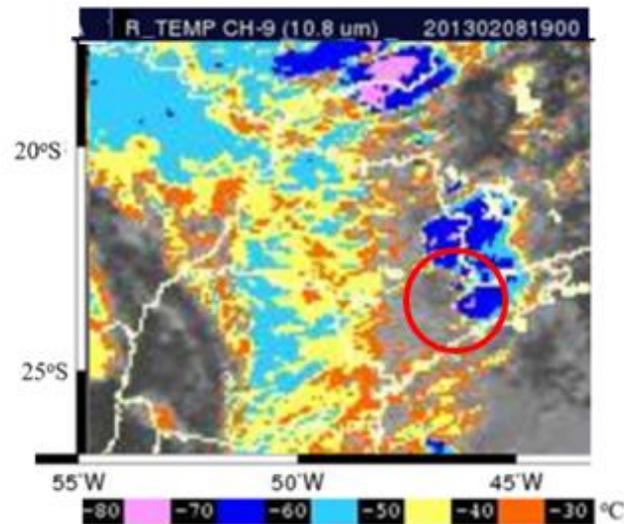
Figura 45 – Estimativas de valores de precipitação acumulada pelo radar no evento de chuva que teve início em 08/02. Indicados contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em preto indica o local do evento de chuva.



Fonte: Relatório de chuvas do DAEE/FCTH.

A partir dos dados do RSP procurou-se nas imagens de satélite, Meteosat-9, a manifestação dos sistemas atmosféricos. A animação das imagens de satélite indica um deslocamento dos sistemas atmosféricos de oeste para leste, não mostrado. Na Figura 46 os sistemas convectivos se deslocam da região Centro-Oeste do país para a Sudeste, uma zona de convergência de umidade (ZCOU) e se associa a uma banda de nebulosidade deixando o tempo instável (SILVA; PEREIRA FILHO; HALLAK, 2009).

Figura 46 – Imagens do canal infravermelho do satélite Meteosat-9 de 1900 UTC de 08/02. Estão indicados na imagem o canal IR (μm), o ano, mês, dia e hora. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em vermelho indica a área da RMSP. Escala de cores indica temperatura de brilho ($^{\circ}\text{C}$).



Fonte: Adaptado do satélite CPTEC-INPE. copyright 2010-2012 EUMETSAT. Disponível em: <http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/meteosat.formulario.logic?i=br>. Acesso em: 29/04/2021.

Com as análises feitas elaborou-se a Tabela 8 que exibe uma síntese dos procedimentos. Nesta síntese tem-se os horários de início e duração obtidos com o CMORPH, RSP e satélite. Os valores estimados de precipitação acumulada com o ANOBES e o RSP. Os sistemas precipitantes sobre a área e a informação da estimativa de precipitação acumulada nos 30 dias que antecedem ao evento de erosão com os métodos ANOBES e CMORPH.

Tabela 8 – Síntese das análises do evento de erosão do município de Ribeirão Pires 11/02/2013.

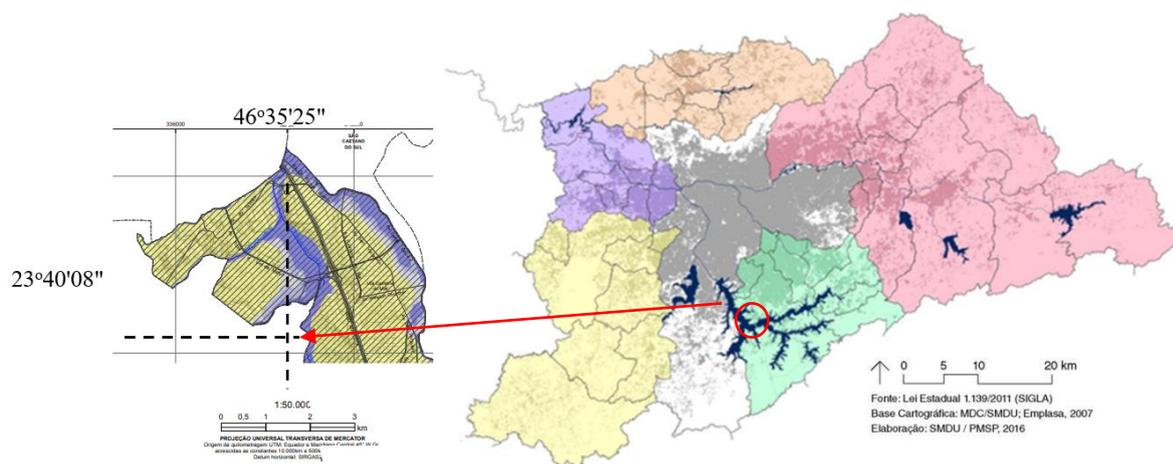
Chuva	Início	Duração
Local (UTC)	8/2 – 1830	5 h
Radar Meteorológico (UTC)	8/2 – 1453	11,5 h
Satélite Meteosat 9 (UTC)	8/2 – 1515	12 h
Estimativa acumulada ANOBES	10 < a < 15 mm	
Estimativa acumulada RSP	20 < a < 50 mm	
Sistemas Precipitantes	ZCOU e LI	
Precipitação acumulada em 30 dias (mm)	ANOBES – 237,8 e CMORPH – 232,7	

Fonte: o próprio autor.

4.5 Evento no município de São Bernardo do Campo – 1 - 12/01/2010

Destaca-se aqui o evento de erosão que ocorreu no município de São Bernardo do Campo em 12 de janeiro de 2010. Este evento foi localizado a 23,668984 S e 46,59033 W na Paulicéia. Na carta geotécnica do município e local determinado obtiveram-se as características: área é urbanizada (residencial) em zona de inundação, relevo de colinas, solos não hidromorficos e terrenos silto-arenosos e com nível d'água subterrâneo muito profundo (Figura 47).

Figura 47 – Detalhes da Carta Geotécnica nas coordenadas geográficas do evento de erosão. Estão indicados na imagem a localização do município e do ponto do evento de erosão (ponto preto). Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos.



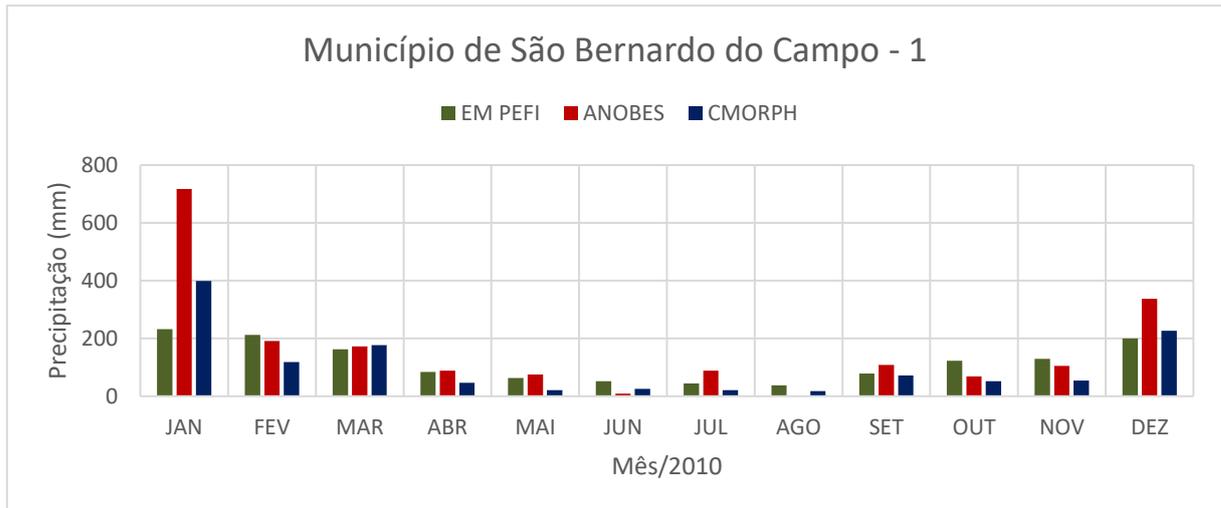
Fonte: Adaptado da Carta geotécnica. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15213>. Acesso em 05/05/2021. E Fonte: Lei Estadual 1.139/2011 (SIGLA), Base Cartográfica MDC/SMDU; Emplasa, 2007.

Com os dados de estimativa de precipitação diária traçou-se o gráfico dos meses e do ano de 2010 (Figura 48) e comparou-se com a climatologia da EM do PEFI. E também foi traçado o gráfico, de estimativa de precipitação acumulada, dos 30 dias que antecedem ao evento de erosão, Figura 49. Para estes gráficos utilizou-se os dados dos métodos de CMORPH e ANOBES.

Na Figura 48, os meses mais chuvosos neste ano foram janeiro e dezembro. Em particular o mês de janeiro o ANOBES acusa mais de 3 vezes o esperado pela média climatológica e em dezembro choveu 1,65 a mais no estimado pelo ANOBES, desta forma nestes dois meses choveu o valor de precipitação excedente do ano comparado com a

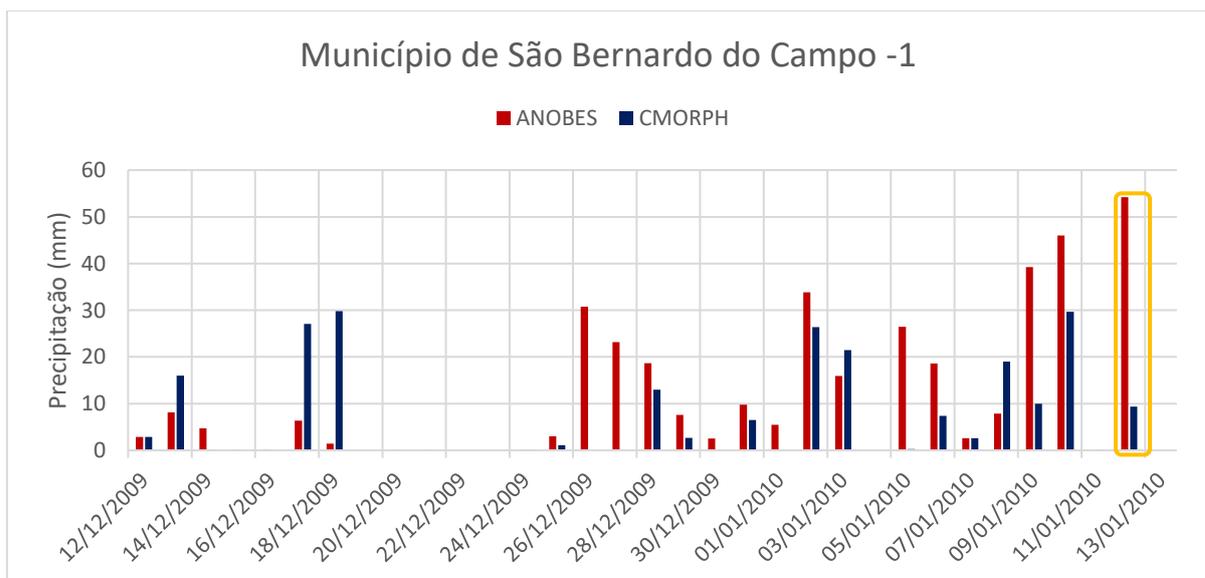
climatologia. O estimado pelo CMORPH foi 1230,7 mm, menor do que a média climatológica que foi 1419,3 mm, enquanto que o estimado para o ANOBES foi de 1961,8 mm bem maior.

Figura 48 – Estimativa de precipitação acumulada mensal durante 2010 no município de São Bernardo do Campo. Utilizou-se dados de CMORPH e ANOBES. A estimativa de precipitação acumulada anual com CMORPH foi de 1230,7 mm e com ANOBES foi de 1961,8 mm, e na série climatológica EM-PEFI foi 1419,3 mm.



Fonte: o próprio autor e Boletim climatológico anual da Estação Meteorológica do IAG/USP, Seção Técnica de Serviços Meteorológicos.

Figura 49 – Série histórica da estimativa de precipitação acumulada diária nos 30 dias que antecede o evento de erosão no município de São Bernardo do Campo. Está indicado o dia anterior de maior valor acumulado (em laranja) e próximo a data do evento de erosão.



Fonte: o próprio autor.

O evento de erosão foi registrado em 12/1/2010 neste dia houve um alto volume estimado de precipitação acumulada com o CMORPH, 0,1 mm, e com o ANOBES, 54,2 mm.

No dia 11 não houve chuva. E no dia 10 houve um estimado de precipitação com o CMORPH de 29,7 mm e com ANOBES 46,0 mm. A estimativa de precipitação acumulada total de 12/12/2009 a 12/01/2010 é de 369,7 mm para ANOBES e 225,7 mm para o CMORPH. Na Tabela 9 se faz um resumo destes dados.

Tabela 9 – Estimativa de precipitação acumulada diária entre as 7 h de um dia até às 7 h do dia anterior (HL), em ANOBES e CMORPH. Destacado em laranja o dia de estimativa de precipitação acumulada elevada.

Acumulado do dia	ANOBES diário(mm)	CMORPH diário(mm)
12/01/2010	54,2	0,1
11/01/2010	0	0,1
10/01/2010	46,0	29,7

Fonte: o próprio autor.

Por meio da Figura 49 e da Tabela 9, a chuva acumulada no dia 12/01 é a mais provável de ter desencadeado o evento de erosão do dia 12/01. Os dados do método ANOBES são mais confiáveis, mas estes dados são acumulados da 7 h da manhã do dia 12 até as 7 h da manhã do dia 11. Para determinar o horário e a estimativa de precipitação acumulada da chuva calculou-se os valores do ANOBES a cada 30 minutos utilizando-se os dados de CMORPH, que tem resolução temporal a cada 30 minutos, de acordo com a equação 2. Deste modo foram adquiridos os valores e traçou-se o gráfico da Figura 50.

Figura 50 – Distribuição da estimativa de precipitação acumulada a cada 30 minutos com dados de ANOBES.

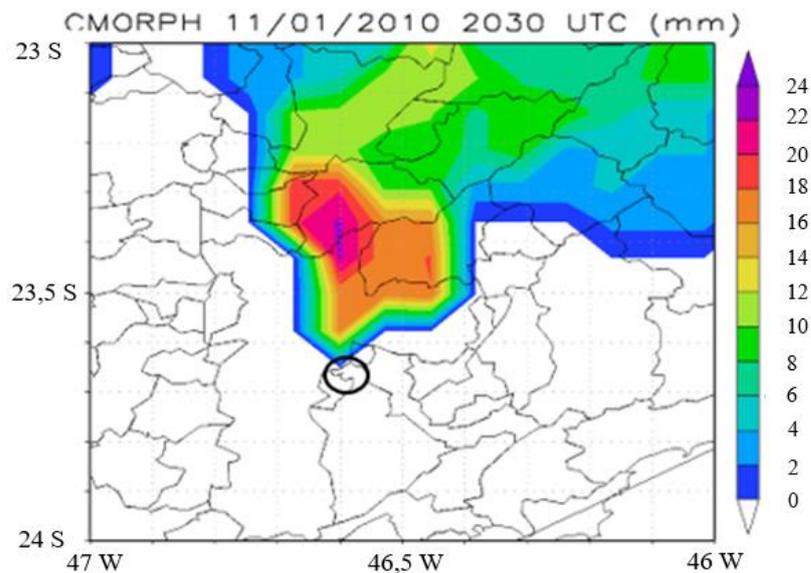


Fonte: o próprio autor.

Uma imagem do máximo da precipitação sobre a RMSP e sobre o local do evento de erosão se mostra na Figura 51. Acompanhando-se outras imagens, não mostradas, infere-se que a precipitação chegou sobre o município após as 2100 UTC, fica estacionada das 1730 UTC às

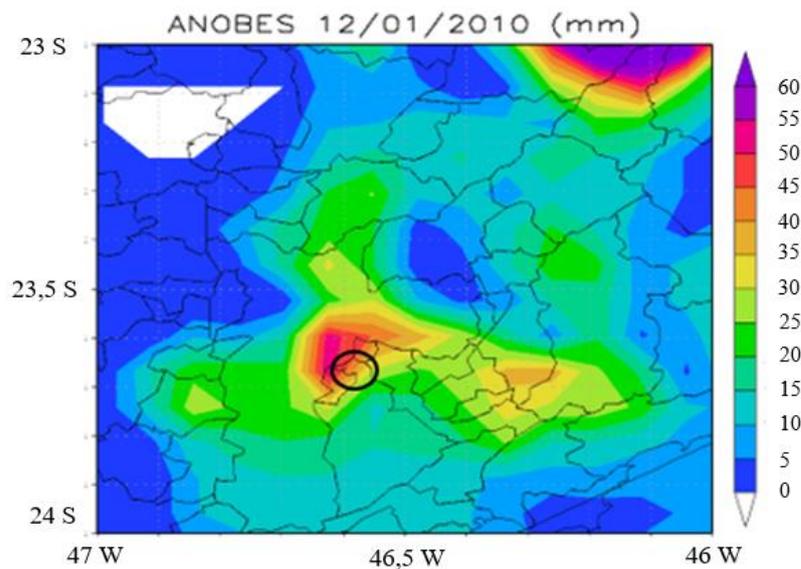
1930 UTC variando em intensidade entre 6 mm e 30 mm, e após às 2000 UTC se expande para leste diminuindo sua intensidade até às 2230 UTC. Como se vê na Figura 52 à estimativa de precipitação acumulada durante a chuva em 8/2, ficou entre 35 mm e 45 mm.

Figura 51 – Imagem de estimativa de precipitação acumulada em 30 minutos do CMORPH em 12/01/2010 às 2030 UTC. Estão indicados na imagem o sistema de estimativa de precipitação acumulada, o dia, mês, ano, hora de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A escala de cores indica a unidade de precipitação em 30 minutos (mm). A circunferência em preto indica a área do evento de erosão.



Fonte: o próprio autor.

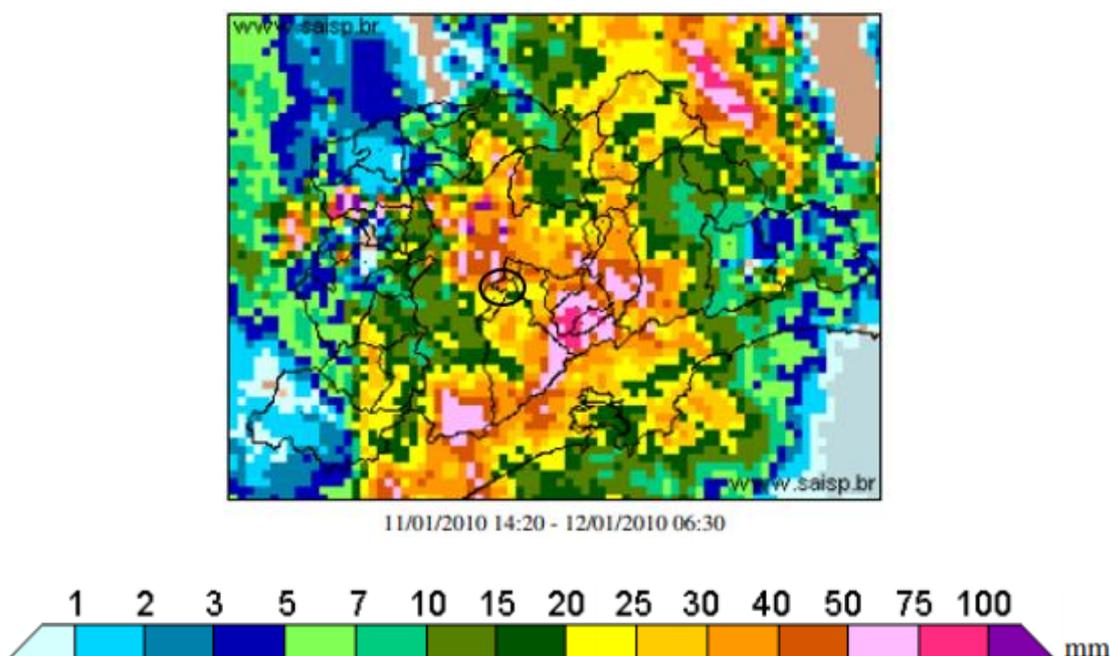
Figura 52 – Imagem da estimativa de precipitação acumulada do ANOBES das 7 h (HL) do dia 11 até 7 h (HL) do dia 12. Estão indicados na imagem o sistema de estimativa, o dia, mês, ano, hora e unidade de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A seta indica a área do evento de erosão. A escala de cores indica a unidade de precipitação (mm).



Fonte: o próprio autor.

Identificado o dia e horário da estimativa de precipitação pelo método CMORPH, procurou-se um relatório de chuva emitido pelo RSP que contivesse o dia e o período da chuva. Obteve-se um relatório de chuva que iniciou as 1418 UTC de 11/1 e terminou as 0612 UTC de 12/1 com um máximo de precipitação as 2124 UTC, não mostrado. O valor acumulado estimado de chuva pelo RSP variou de 10 mm a 40 mm, como mostrado na Figura 53.

Figura 53 – Estimativas de valores de precipitação acumulada pelo radar no evento de chuva que teve início em 11/01. Indicados contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em preto indica o local do evento de chuva.

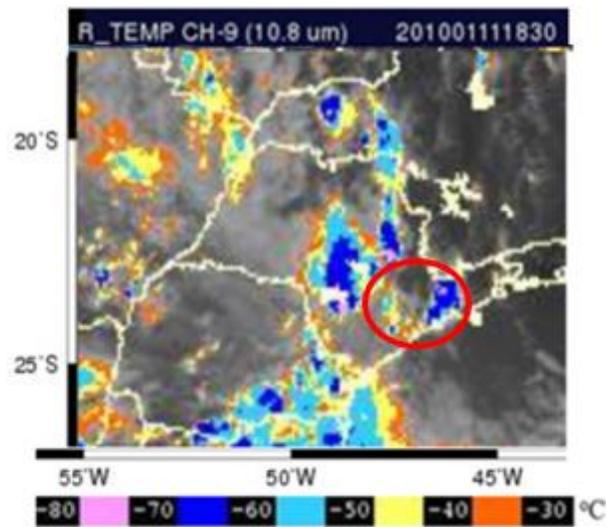


Fonte: Relatório de chuvas do DAEE/FCTH.

A partir dos dados do RSP procurou-se nas imagens de satélite, Meteosat-9, a manifestação dos sistemas atmosféricos. A animação das imagens de satélite indica um deslocamento dos sistemas atmosféricos de oeste para leste, não mostrado. Na Figura 54 a umidade da Amazonia se desloca para a região Sudeste e tem-se uma FF se aproximando. (SILVA; PEREIRA FILHO; HALLAK, 2009).

Com as análises feitas elaborou-se a Tabela 10 que exhibe uma síntese dos procedimentos. Nesta síntese tem-se os horários de início e duração obtidos com o CMORPH, RSP e satélite. Os valores estimados de precipitação acumulada com o ANOBES e o RSP. Os sistemas precipitantes sobre a área e a informação da estimativa de precipitação acumulada nos 30 dias que antecedem ao evento de erosão com os métodos ANOBES e CMORPH.

Figura 54 – Imagens do canal infravermelho do satélite Meteosat-9 de 1830 UTC de 11/01/2010. Estão indicados na imagem o canal IR (μm), o ano, mês, dia e hora. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em vermelho indica a área da RMSP. Escala de cores indica temperatura de brilho ($^{\circ}\text{C}$).



Fonte: Disponível em: <http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/meteosat.formulario.logic?i=br>. Acesso em: 29/04/2021. copyright 2010-2012 EUMETSAT

Tabela 10 – Síntese das análises do evento de erosão do município SBC-1 em 12/01/2010.

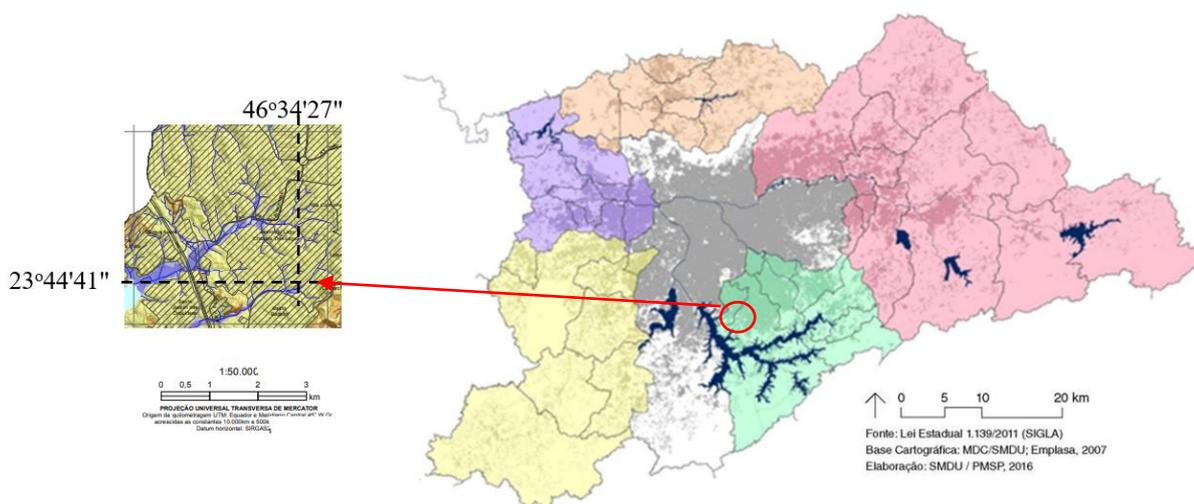
Chuva	Início	Duração
Local (UTC)	11/1 - 20:30	7,5 h
Radar Meteorológico (UTC)	11/1 – 14:18	16 h
Satélite Meteosat 9 (UTC)	11/1 – 14:30	16 h
Estimativa acumulada ANOBES	35 < a < 45 mm	
Estimativa acumulada RSP	10 < a < 40 mm	
Sistemas Precipitantes	FF e LI	
Precipitação acumulada em 30 dias (mm)	ANOBES – 369,7 e CMORPH – 225,7	

Fonte: o próprio autor.

4.6 Evento no município de São Bernardo do Campo – 2 - 28/01/2010

Dois eventos de erosão ocorreram no município de São Bernardo do Campo em 28 de janeiro de 2010. Estes eventos foram localizados um a 23,7448 S e 46,5742 W e outros a 23,7454 S e 46,6072 W no Jardim das Oliveiras. Na carta geotécnica do município e local determinado obtiveram-se as características: área é urbanizada (residencial), relevo de planícies e terraços fluviais, solos aluviais com declividades menores do que 15° (Figura 55).

Figura 55 – Detalhes da Carta Geotécnica nas coordenadas geográficas do evento de erosão. Estão indicados na imagem a localização do município e do ponto do evento de erosão (ponto preto). Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos.



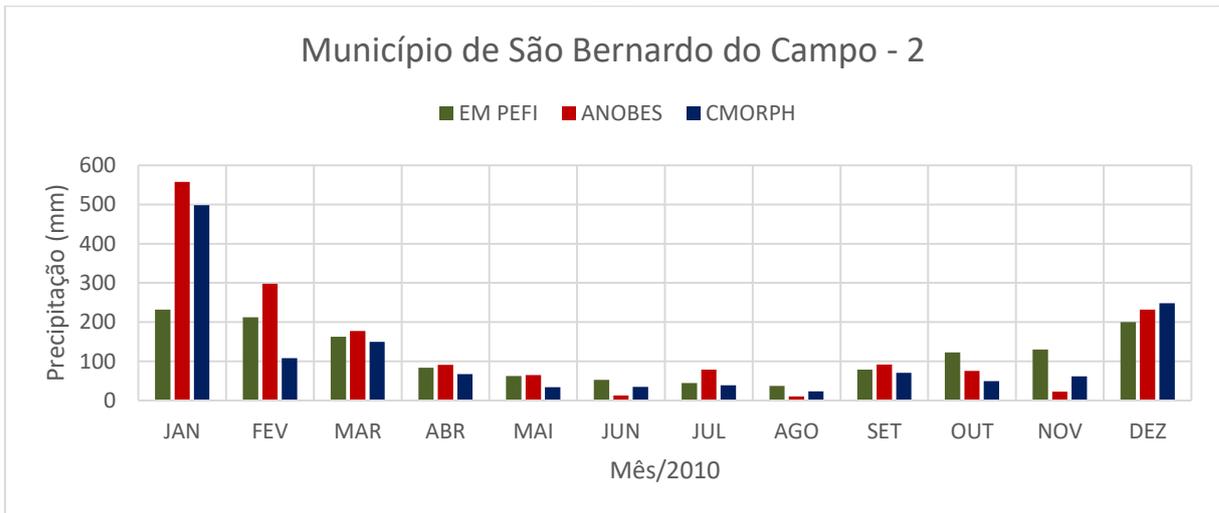
Fonte: Adaptado da Carta geotécnica. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15213>. Acesso em 05/05/2021. E Fonte: Lei Estadual 1.139/2011 (SIGLA), Base Cartográfica MDC/SMDU; Emplasa, 2007.

Com os dados de estimativa de precipitação diária traçou-se o gráfico dos meses e do ano de 2010 (Figura 56) e comparou-se com a climatologia da EM do PEFI. E também foi traçado o gráfico, de estimativa de precipitação acumulada, dos 30 dias que antecedem ao evento de erosão, Figura 57. Para estes gráficos utilizou-se os dados dos métodos de CMORPH e ANOBES.

Os meses mais chuvosos deste ano neste local foram janeiro e fevereiro. Em particular o mês de janeiro o ANOBES acusa mais de 2,4 vezes o esperado pela média climatológica e em fevereiro choveu 1,4 a mais, desta forma nestes dois meses choveu o valor de precipitação excedente para o ano. O estimado pelo CMORPH foi 1383,5 mm é menor do que a média

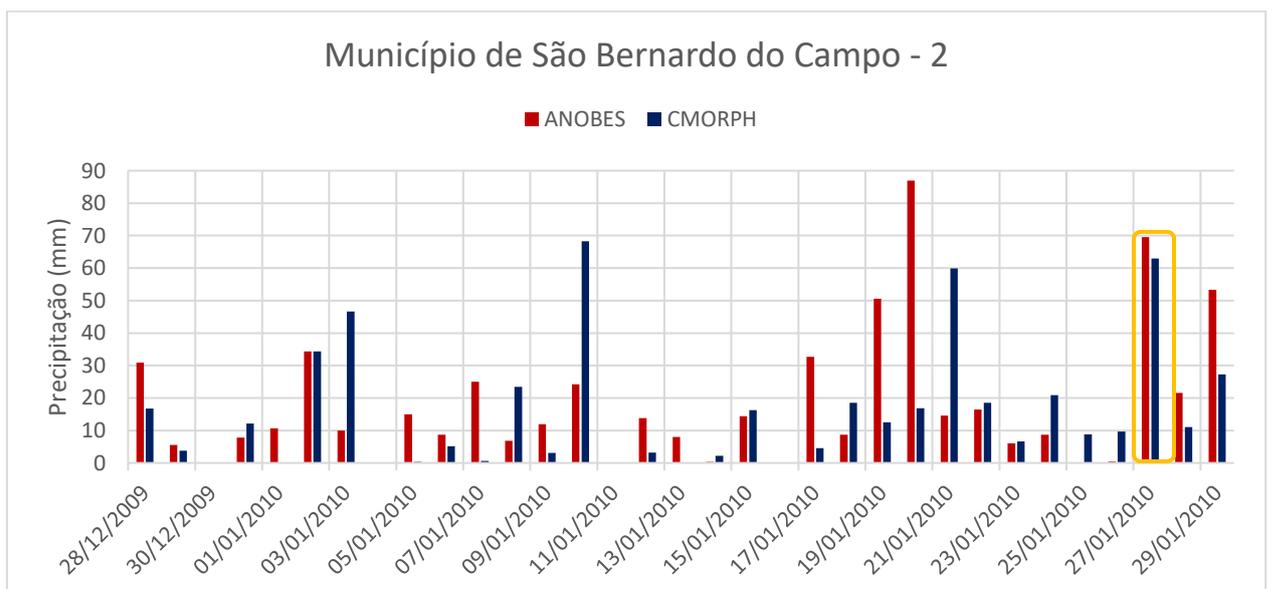
climatológica que foi 1419,3 mm, enquanto que o estimado para o ANOBES foi 1712,9 mm que é maior.

Figura 56 – Estimativa de precipitação acumulada mensal durante 2010 no município de São Bernardo do Campo. Utilizou-se dados de CMORPH e ANOBES. A estimativa de precipitação acumulada anual com CMORPH foi de 1383,5 mm e com ANOBES foi de 1712,9 mm, e na série climatológica EM-PEFI foi 1419,3 mm.



Fonte: o próprio autor e Boletim climatológico anual da Estação Meteorológica do IAG/USP, Seção Técnica de Serviços Meteorológicos.

Figura 57 – Série histórica da estimativa de precipitação acumulada diária nos 30 dias que antecede o evento de erosão no município de Ribeirão Pires. Está indicado o dia anterior de maior valor acumulado (em laranja) e próximo a data do evento de erosão.



Fonte: o próprio autor.

No dia 27 há um alto volume estimado de precipitação acumulada com o CMORPH, 63 mm, e com o ANOBES, 69,5 mm. No dia do evento de erosão, dia 28, houve precipitação, mas

com volumes menores que no dia anterior, CMORPH com 11,1 mm e ANOBES com 21,5 mm. A estimativa de precipitação acumulada total de 28/12/2009 a 28/01/2010 é de 543,8 mm para ANOBES e 487,3 mm para o CMORPH. Na Tabela 11 fez-se um resumo destes dados.

Tabela 11 – Estimativa de precipitação acumulada diária entre as 7 h de um dia até às 7 h do dia anterior (HL), em ANOBES e CMORPH. Destacado em laranja o dia de estimativa de precipitação acumulada elevada.

Acumulado do dia	ANOBES diário(mm)	CMORPH diário(mm)
28/01/2010	21,5	11,1
27/01/2010	69,5	63,0
26/01/2010	0,4	9,7

Fonte: o próprio autor.

Por meio da Figura 57 e da Tabela 11, a chuva acumulada no dia 27/01 é a mais provável de ter desencadeado o evento de erosão do dia 28/01. Os dados do método ANOBES são mais confiáveis, mas estes dados são acumulados da 7 h da manhã do dia 27 até as 7 h da manhã do dia 26. Para determinar o horário e a estimativa de precipitação acumulada da chuva calculou-se os valores do ANOBES a cada 30 minutos utilizando-se os dados de CMORPH, que tem resolução temporal a cada 30 minutos, de acordo com a equação 2. Deste modo foram adquiridos os valores e traçou-se o gráfico da Figura 58.

Figura 58 – Distribuição da estimativa de precipitação acumulada a cada 30 minutos com dados de ANOBES.

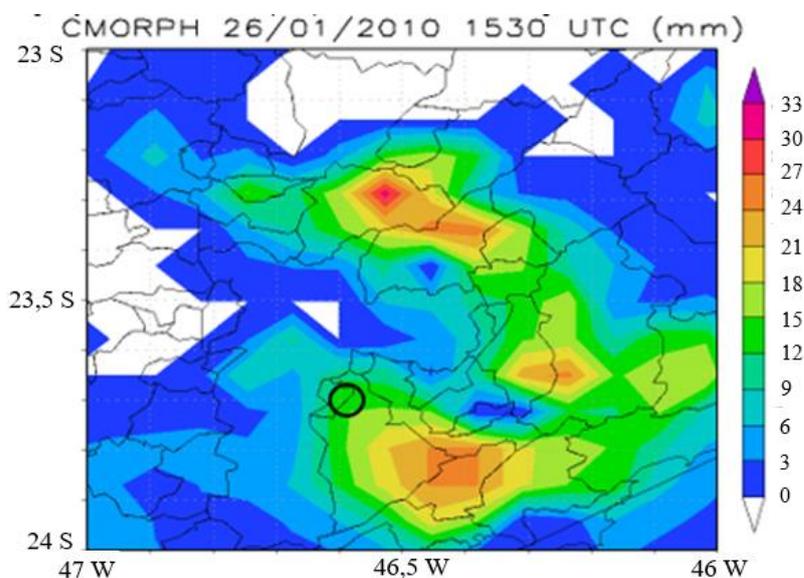


Fonte: o próprio autor.

Uma imagem do máximo da precipitação sobre a RMSP e sobre o local do evento de erosão se mostra na Figura 59. Acompanhando-se outras imagens, não mostradas, infere-se que

a precipitação chegou sobre o município as 1230 UTC os sistemas se deslocam para sudoeste variando de intensidade e terminando as 2200 UTC com um pico as 1530 UTC de aproximadamente 10 mm. O valor acumulado da precipitação da chuva de 26 a 27/01 ficou entre 50 mm e 70 mm, como mostrado na Figura 60.

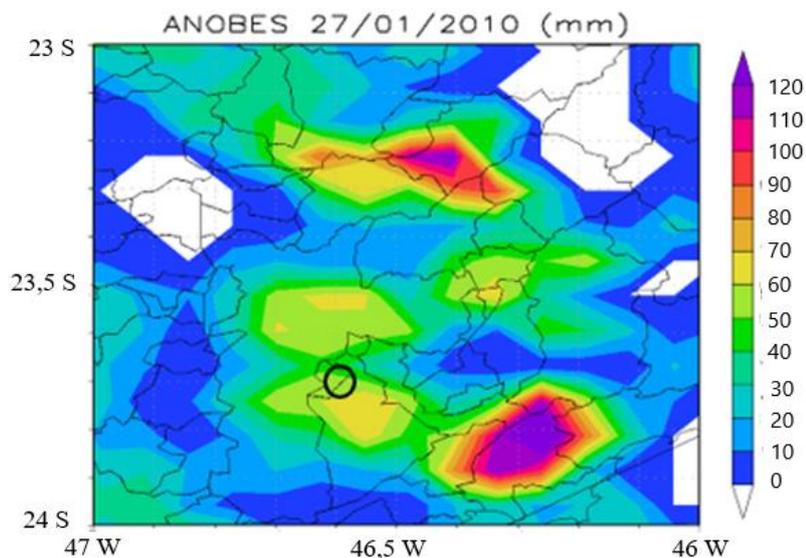
Figura 59 – Imagem de estimativa de precipitação acumulada em 30 minutos do CMORPH em 26/01/2010 de 1530 UTC. Estão indicados nas imagens o sistema de estimativa de precipitação acumulada, o dia, mês, ano, hora de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A escala de cores indica a unidade de precipitação em 30 minutos (mm). A circunferência em preto indica a área do evento de erosão.



Fonte: o próprio autor.

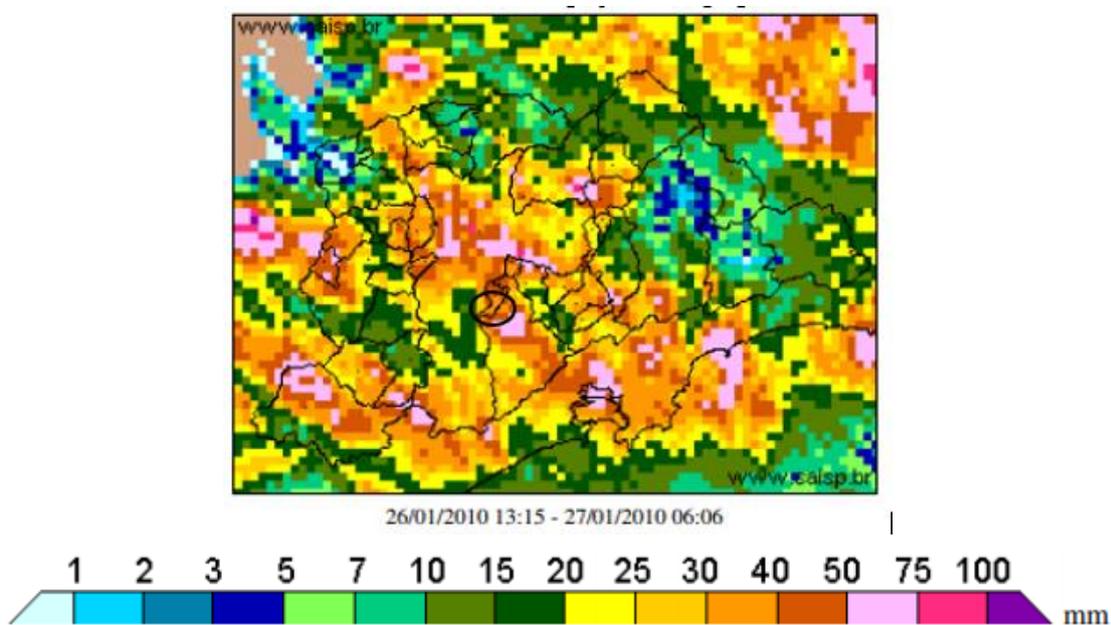
Identificado o dia e horário da estimativa de precipitação pelo método CMORPH, procurou-se um relatório de chuva emitido pelo RSP que contivesse o dia e o período da chuva. Obteve-se um relatório de chuva que iniciou as 1314 UTC de 26/1 e terminou as 0606 UTC de 27/1 com um máximo de precipitação as 1759 UTC, não mostrado. O valor acumulado estimado de chuva pelo RSP variou de 30 mm a 75 mm, como mostrado na Figura 61.

Figura 60 – Imagem da estimativa de precipitação acumulada do ANOBES das 7 h (HL) do dia 26 até 7 h do dia 27 (HL). Estão indicados na imagem o sistema de estimativa, o dia, mês, ano, hora e unidade de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A seta indica a área do evento de erosão. A escala de cores indica a unidade de precipitação (mm).



Fonte: o próprio autor.

Figura 61 – Estimativas de valores de precipitação acumulada pelo radar no evento de chuva que teve início em 26/01. Indicados contornos geopolíticos e geográficos.

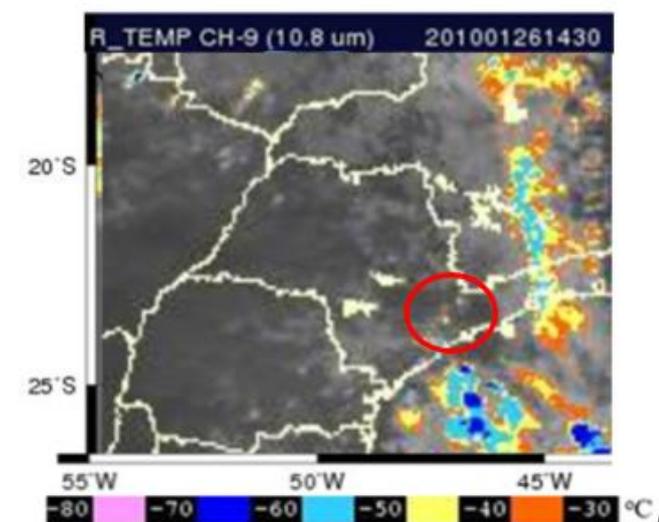


Fonte: Relatório de chuvas do DAEE/FCTH.

Com o dia e hora do relatório de evento de chuva do RSP, observou-se as imagens de satélite Meteosat-9 e comparou-se os sistemas atmosféricos atuantes. A animação das imagens de satélite indica um deslocamento dos sistemas atmosféricos de oeste para leste, não

mostradas. Na Figura 62 os sistemas convectivos se deslocam da região Centro-Oeste para a sudeste e se associam com um FF (SILVA; PEREIRA FILHO; HALLAK, 2009).

Figura 62 – Imagens do canal infravermelho do satélite Meteosat-9 de 1430 UTC de 26/01/2010. Estão indicados na imagem o canal IR (μm), o ano, mês, dia e hora. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em vermelho indica a área da RMSP. Escala de cores indica temperatura de brilho ($^{\circ}\text{C}$).



Fonte: Adaptado do satélite CPTEC-INPE. Copyright 2010-2012 EUMETSAT. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/meteosat.formulario.logic?i=br>. Acesso em: 02/03/2021.

Com as análises feitas elaborou-se a Tabela 12 que exibe uma síntese dos procedimentos. Nesta síntese tem-se os horários de início e duração obtidos com o CMORPH, RSP e satélite. Os valores estimados de precipitação acumulada com o ANOBES e o RSP. Os sistemas precipitantes sobre a área e a informação da estimativa de precipitação acumulada nos 30 dias que antecedem ao evento de erosão com os métodos ANOBES e CMORPH.

Tabela 12 – Síntese das análises do evento de erosão do município SBC-2 em 28/01/2010.

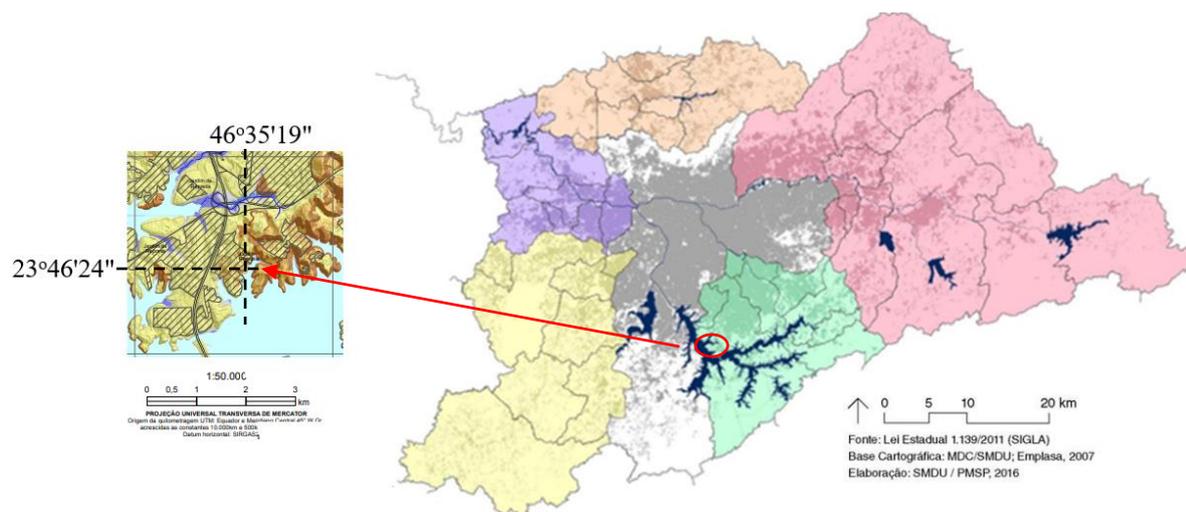
Chuva	Início	Duração
Local (UTC)	26/01 – 1230	11,5 h
Radar Meteorológico (UTC)	26/01 – 1314	17 h
Satélite Meteosat 9 (UTC)	26/01 – 1330	16 h
Estimativa acumulada ANOBES	30 < a < 70 mm	
Estimativa acumulada RSP	30 < a < 75 mm	
Sistemas Precipitantes	Sistemas convectivos e FF	
Precipitação acumulada em 30 dias (mm)	ANOBES – 543,8 e CMORPH – 487,3	

Fonte: o próprio autor.

4.7 Evento no município de São Bernardo do Campo – 3 - 05/02/2010

O evento de erosão ocorreu no município de São Bernardo do Campo em 05 de fevereiro de 2010. Este evento foi localizado a 23,773356 s e 46,58857 W no Jardim Imigrantes. Na carta geotécnica do município e local determinado obtiveram-se as características: área é urbanizada (residencial) em zona de inundação, relevo de planícies e terraços fluviais, solos não hidromorficos, terrenos silto-arenosos e com nível d'água subterrâneo muito profundo, e declividades $< 5^\circ$ (Figura 63).

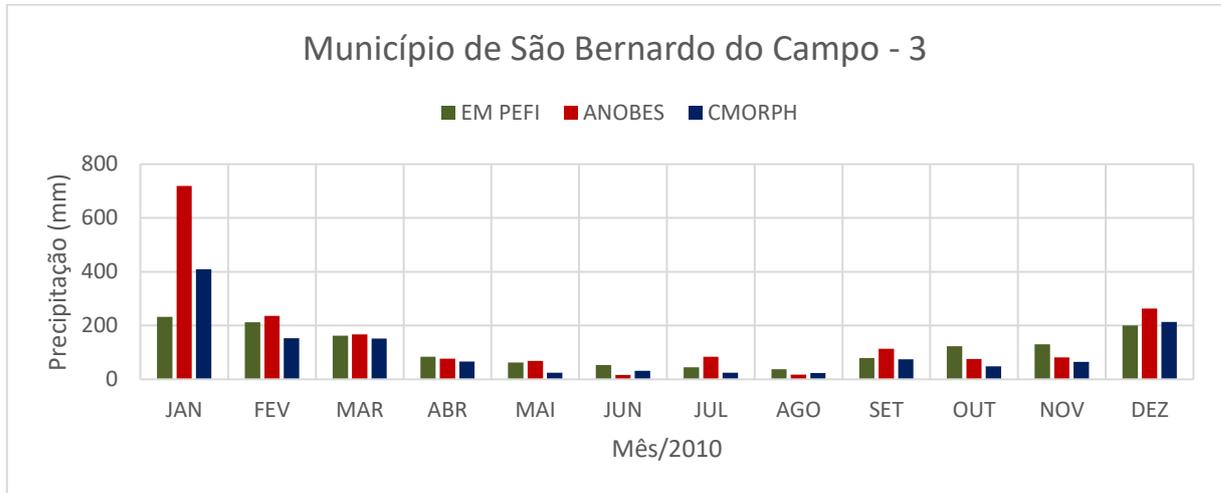
Figura 63 – Detalhes da Carta Geotécnica nas coordenadas geográficas do evento de erosão. Estão indicados na imagem a localização do município e do ponto do evento de erosão (ponto preto). Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos.



Fonte: Adaptado da Carta geotécnica. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15213>. Acesso em 05/05/2021. E Fonte: Lei Estadual 1.139/2011 (SIGLA), Base Cartográfica MDC/SMDU; Emplasa, 2007.

Com os dados de estimativa de precipitação diária traçou-se o gráfico dos meses e do ano de 2010 (Figura 64) e comparou-se com a climatologia da EM do PEFI. E também foi traçado o gráfico, de estimativa de precipitação acumulada, dos 30 dias que antecedem ao evento de erosão, Figura 65. Para estes gráficos utilizou-se os dados dos métodos de CMORPH e ANOBES.

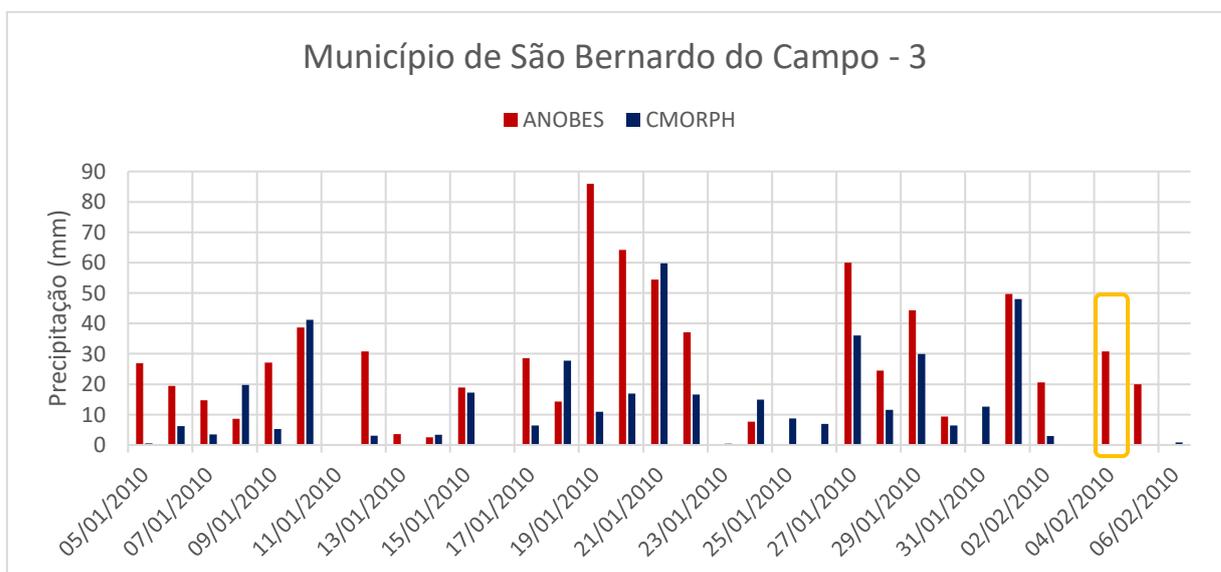
Figura 64 – Estimativa de precipitação acumulada mensal durante 2010 no município de São Bernardo do Campo. Utilizou-se dados de CMORPH e ANOBES. A estimativa de precipitação acumulada anual com CMORPH foi de 1284,0 mm e com ANOBES foi de 1918,4 mm. Na série climatológica EM-PEFI foi 1419,3 mm.



Fonte: o próprio autor e Boletim climatológico anual da Estação Meteorológica do IAG/USP, Seção Técnica de Serviços Meteorológicos.

Na figura acima, o mês mais chuvoso deste ano neste local é janeiro. Em janeiro o ANOBES estimou uma precipitação 3 vezes maior que o esperado pela média climatológica, desta forma neste mês choveu o valor de precipitação excedente do ano. O estimado pelo CMORPH foi de 1284,0 mm menor do que a média climatológica de 1419,3 mm para o ano, enquanto que o estimado para o ANOBES foi de 1918,4 mm que é bem maior.

Figura 65 – Série histórica da estimativa de precipitação acumulada diária nos 30 dias que antecede o evento de erosão no município de Ribeirão Pires. Está indicado o dia anterior de maior valor acumulado (em laranja) e próximo a data do evento de erosão.



Fonte: o próprio autor.

Na Figura 65, o evento foi registrado em 5/2/2010 neste dia a precipitação estimada pelo CMORPH foi 0,0 mm e pelo ANOBES 19,9 mm, a precipitação não foi medida pelos satélites. No dia 04 há um pequeno volume estimado de precipitação acumulada com o CMORPH 0,2 mm e com o ANOBES 30,8 mm, persistindo a não medição pelos satélites. No dia 3 não houve precipitação. A estimativa de precipitação acumulada total de 05/01/2010 a 05/02/2010 é de 742,5 mm para ANOBES e 416,8 mm para o CMORPH. Na Tabela 13 se fez um resumo destes dados.

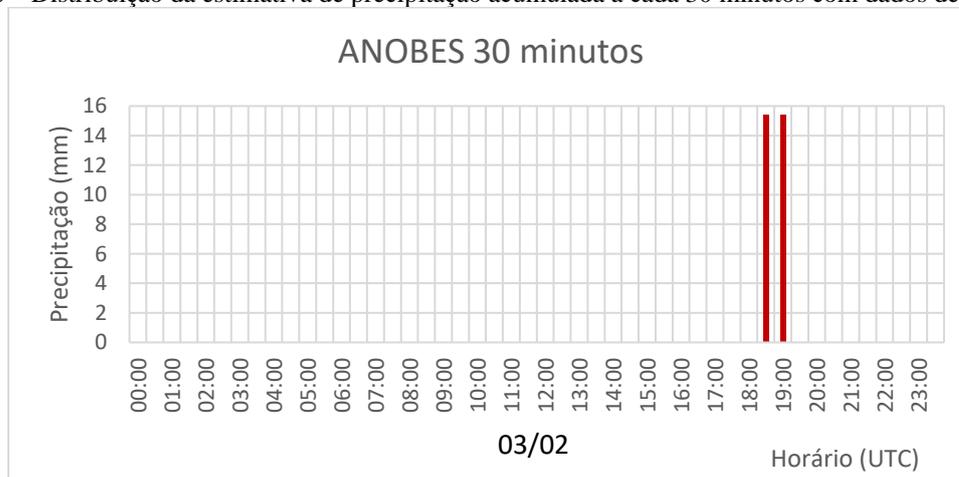
Tabela 13 – Estimativa de precipitação acumulada diária entre as 7 h de um dia até às 7 h do dia anterior (HL), em ANOBES e CMORPH. Destacado em laranja o dia de estimativa de precipitação acumulada elevada.

Acumulado do dia	ANOBES diário(mm)	CMORPH diário(mm)
05/02/2010	19,9	0
04/02/2010	30.8	0.2
03/02/2010	0	0

Fonte: o próprio autor.

Por meio da Figura 65 e da Tabela 13, a chuva acumulada no dia 04/02 é a mais provável de ter desencadeado o evento de erosão do dia 05/02. Os dados do método ANOBES são mais confiáveis, mas estes dados são acumulados da 7 h da manhã do dia 4 até as 7 h da manhã do dia 3. Para determinar o horário e a estimativa de precipitação acumulada da chuva calculou-se os valores do ANOBES a cada 30 minutos utilizando-se os dados de CMORPH, que tem resolução temporal a cada 30 minutos, de acordo com a equação 2. Deste modo foram adquiridos os valores e traçou-se o gráfico da Figura 66.

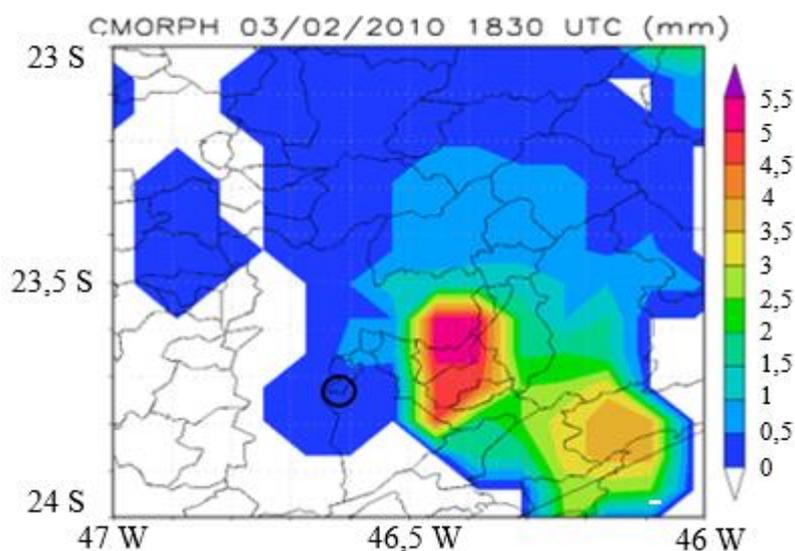
Figura 66 – Distribuição da estimativa de precipitação acumulada a cada 30 minutos com dados de ANOBES.



Fonte: o próprio autor.

Uma imagem do máximo da precipitação sobre a RMSP e sobre o local do evento de erosão se mostra na Figura 67. Acompanhando outras imagens, não mostradas, infere-se que a precipitação chegou sobre o município as 1800 UTC se deslocando para oeste variando de intensidade e terminando as 1900 UTC com picos de 15,4 mm. O valor acumulado da precipitação durante a chuva de 03 a 04/02 ficou entre 30 mm e 40 mm, como mostrado na Figura 68.

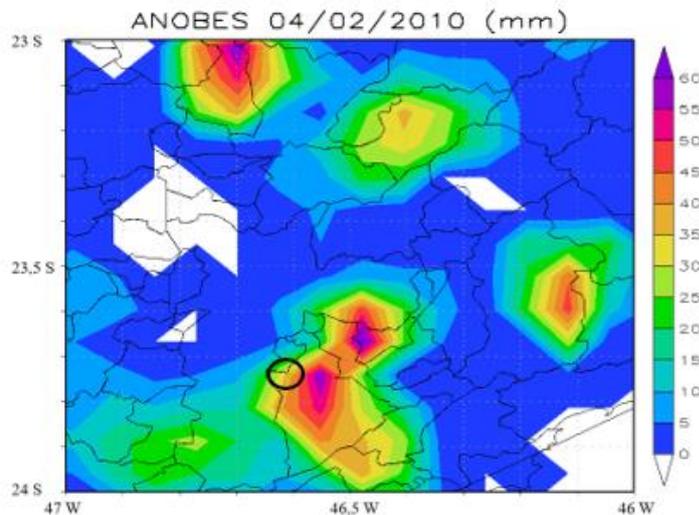
Figura 67 – Imagem de estimativa de precipitação acumulada em 30 minutos do CMORPH em 03/02/2010 de 1830 UTC. Estão indicados nas imagens o sistema de estimativa de precipitação acumulada, o dia, mês, ano, hora de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A escala de cores indica a unidade de precipitação em 30 minutos (mm). A circunferência em preto indica a área do evento de erosão.



Fonte: o próprio autor.

Identificado o dia e horário da estimativa de precipitação pelo método CMORPH, procurou-se um relatório de chuva emitido pelo RSP que contivesse o dia e o período da chuva. Obteve-se um relatório de chuva que iniciou as 1645 UTC de 3/2 e terminou as 0229 UTC de 4/2 com um máximo de precipitação as 1948 UTC, não mostrado. O valor acumulado estimado de chuva pelo RSP variou de 5 mm a 20 mm, como mostrado na Figura 69.

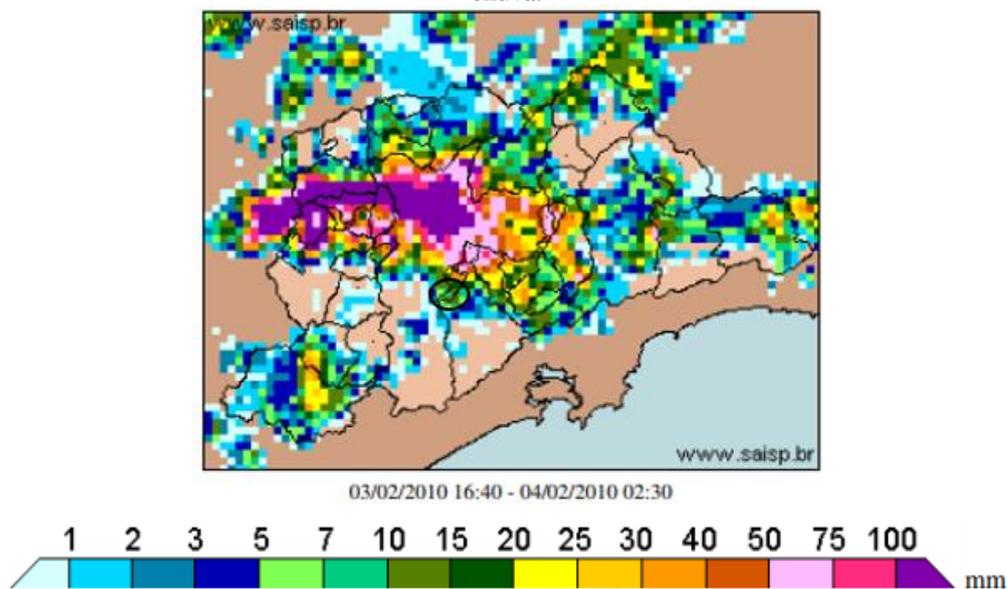
Figura 68 – Imagem da estimativa de precipitação acumulada do ANOBES das 7 h (HL) do dia 26 até 7 h (HL) do dia 27. Estão indicados na imagem o sistema de estimativa, o dia, mês, ano, hora e unidade de precipitação. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A seta indica a área do evento de erosão. A escala de cores indica a unidade de precipitação (mm).



Fonte: o próprio autor.

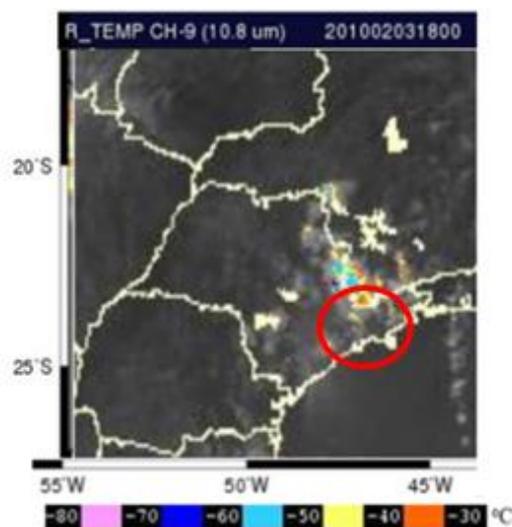
A partir dos dados do RSP procurou-se nas imagens de satélite, Meteosat-9, a manifestação dos sistemas atmosféricos. A animação das imagens de satélite indica um deslocamento dos sistemas atmosféricos de oeste para leste, não mostrado. Na Figura 70 poucas nuvens predominam e alguma instabilidade configurando uma CI (SILVA; PEREIRA FILHO; HALLAK, 2009).

Figura 69 – Estimativas de valores de precipitação acumulada pelo radar no evento de chuva que teve início em 03/02. Indicados contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em preto indica o local do evento de chuva.



Fonte: Relatório de chuvas do DAEE/FCTH.

Figura 70 – Imagens do canal infravermelho do satélite Meteosat-9 de 1800 UTC de 03/02. Estão indicados na imagem o canal IR (μm), o ano, mês, dia e hora. Estão também indicados os contornos geopolíticos e geográficos. A circunferência em vermelho indica a área da RMSP. Escala de cores indica temperatura de brilho ($^{\circ}\text{C}$).



Fonte: Disponível em: <http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/meteosat.formulario.logic?i=br>. Acesso em: 02/05/2021. copyright 2010-2012 EUMETSAT

Com as análises feitas elaborou-se a Tabela 14 que exibe uma síntese dos procedimentos. Nesta síntese tem-se os horários de início e duração obtidos com o CMORPH, RSP e satélite. Os valores estimados de precipitação acumulada com o ANOBES e o RSP. Os sistemas precipitantes sobre a área e a informação da estimativa de precipitação acumulada nos 30 dias que antecedem ao evento de erosão com os métodos ANOBES e CMORPH.

Tabela 14 – Síntese das análises do evento de erosão do município SBC-3 em 05/02/2010.

Chuva	Início	Duração
Local (UTC)	03/02 - 1830	1h
Radar Meteorológico (UTC)	03/02 – 1742	6,5 h
Satélite Meteosat 9 (UTC)	03/02 – 1800	3 h
Estimativa acumulada ANOBES	30 < a < 40 mm	
Estimativa acumulada RSP	5 < a < 20 mm	
Sistemas Precipitantes	CI	
Precipitação acumulada em 30 dias (mm)	ANOBES – 742,5 e CMORPH – 416,8	

Fonte: o próprio autor.

4.8 Resumo das análises de eventos de erosão selecionados

Na Tabela 15 foram reunidas: as datas de ocorrência dos eventos de erosão e as datas do evento de chuva anterior a erosão. Para cada evento de erosão ocorre um evento de chuva de 1 a 3 dias antes.

Tabela 15 – Resumo dos eventos de erosão analisados. Na 1ª coluna identifica-se o local do evento de erosão; na 2ª a data em que ocorreu o evento de erosão; na 3ª data do provável evento de chuva que gerou a erosão.

Local	Data do Evento de Erosão	Data do Evento de Chuva
Caieiras	10/02/09	07/02/09
Mogi das Cruzes	07/01/10	05/01/10
Osasco	22/12/07	19/12/07
Ribeirão Pires	11/02/13	09/02/13
SBC-1	12/01/10	11/01/10
SBC-2	28/01/10	27/01/10
SBC-3	05/02/10	03/02/10

Fonte: o próprio autor.

Na Tabela 16 foram reunidas as durações estimadas da chuva com diferentes meios, CMORPH, RSP e satélite. O intervalo de duração da precipitação estimado pelo CMORPH está contido no intervalo estimado pelo RSP e pelo satélite.

Tabela 16 – Resumo dos eventos de erosão analisados. Na 1ª coluna identifica-se o local do evento de erosão; na 2ª o tempo de duração da chuva no local da erosão CMORPH; 3ª o tempo de duração da chuva obtida pelo RSP sobre a área da RMSP; na 4ª o tempo de duração da chuva obtida por imagens de satélite na área da RMSP; na 5ª o início da chuva no RSP; e na 6ª o início da chuva estimada pelo CMORPH.

Local	Duração da chuva CMORPH (h)	Duração da chuva RSP (h)	Duração da chuva Satélite (h)	Início da chuva RSP (UTC)	Início da chuva CMORPH (UTC)
Caieiras	5,5	17,5	7,5	1519	1730
Mogi das Cruzes	4,5	15	15	1453	2030
Osasco	12,5	31	29,5	2208	0630
Ribeirão Pires	5	11,5	12	1453	1830
SBC-1	7,5	16	16	1418	2030
SBC-2	11,5	17	16	1314	1330
SBC-3	1	6,5	3	1742	1830

Fonte: o próprio autor.

Na Tabela 17 foram reunidos alguns valores da estimativa de precipitação acumulada dos dados de CMORPH e ANOBES obtidos. O estimado de precipitação no dia da chuva que

ocasionou a erosão é muito variável (colunas 2 e 3). Deve-se considerar o erro de cálculo, e/ou observação dos instrumentos e o método. Na 4ª coluna obteve-se o valor máximo precipitado em 30 minutos, o que são valores elevados no período. Na 5ª coluna se tem a duração da chuva em CMORPH local, e 6ª coluna o valor da estimativa de precipitação nos 30 dias que antecedem ao registro do evento de erosão em CMORPH e ANOBES.

Tabela 17 – Resumo dos eventos de erosão selecionados. Na 1ª coluna identifica-se o local do evento de erosão; na 2ª estimativa de precipitação acumulada no dia do evento de chuva medida pelo CMORPH; 3ª estimativa de precipitação acumulada no dia do evento medida pelo ANOBES em 30 minutos; na 4ª máximo volume no período da chuva com ANOBES; na 5ª estimativa de precipitação acumulada em 30 dias que antecedem ao evento de erosão em CMORPH e ANOBES.

Local	Dia CMORPH (mm)	Dia ANOBES (mm)	Máximo Chuva em ANOBES (mm)	Duração da chuva CMORPH (h)	Prec. Acum. 30 dias CMORPH e ANOBES (mm)	
Caieiras	57,0	63,0	11,8	5,5	283,2	306,7
Mogi das Cruzes	6,7	34,6	6,7	4,5	215,7	412,7
Osasco	18,2	51,3	4,5	12,5	110,6	184,4
Ribeirão Pires	3,3	10,1	3,5	5	232,7	237,8
SBC-1	9,4	54,2	19,8	7,5	225,7	369,7
SBC-2	63,0	69,5	10	11,5	487,3	543,8
SBC-3	0,2	30,8	15,4	1	416,8	742,5

Fonte: o próprio autor.

5 CONCLUSÕES

Os resultados mostram que os valores estimados pelo método CMORPH são menores aos estimados pelo ANOBES e que a série climatológica. Os eventos de erosão são mais frequentes no verão, estação das chuvas. Os locais com mais eventos de erosão são próximos ou no interior de serras, locais onde ocorrem circulações orográficas.

Para os 7 eventos analisados nota-se que as chuvas ocorreram de 1 a 3 dias antes do evento de erosão ser registrado. Foi possível determinar a data e horário da chuva pelos métodos CMORPH e ANOBES e quantizar os valores de estimativa de precipitação acumulada.

Os valores das estimativas a seguir foram obtidos pelo método ANOBES. Os máximos de precipitação em 30 minutos variaram de 3,5 mm a 19,8 mm. A estimativa de precipitação diária variou entre 10,1 mm a 69,5 mm. E a estimativa de precipitação no período que antecede 30 dias ao evento de erosão variou entre 184,4 mm e 742,5 mm. Identificou-se que existem eventos de erosão associados a volumes normais de chuva e eventos associados a volumes muito elevados de chuva. Os resultados de Caieiras e SBC mostram que os eventos de erosão independem da saturação do solo ou de chuvas anteriores. Um solo saturado é mais propício a ocorrência do evento de erosão. Os resultados de Osasco mostram uma chuva de 51,3 mm em 12h e 30 minutos, mas com volume acumulado em 30 dias de apenas 184,4 mm.

As análises meteorológicas dos eventos de chuva que produziram os eventos de erosão a partir de imagens de satélite e de radar meteorológico indicam que os sistemas precipitantes estão associados a FF, LI e CI.

Com o método utilizado conseguiu-se relacionar os dados obtidos pelos métodos de CMORPH e ANOBES com os eventos detectados por radar meteorológico e por imagens de satélite. Se tem dados dos métodos CMORPH e ANOBES para o território brasileiro. Desta forma, pode-se utilizar o método descrito para o estudo das chuvas ocorridas em locais remotos no território nacional.

Com os resultados não foram possíveis estabelecer limiares entre os eventos de erosão e de chuva. Um dos motivos de isto ter ocorrido foi a pequena quantidade de eventos de erosão analisados. Para trabalhos futuros a análise de maior número de eventos de erosão seja feita na tentativa de estabelecer limiares entre evento de chuva e evento de erosão.

6 REFERÊNCIAS

- AHMED, Syed I. et al. Within-storm rainfall distribution effect on soil erosion rate. *International Scholarly Research Notices*, v. 2012, 2012.
- ALVARENGA, Livia Alves. Precipitação no sudeste brasileiro e sua relação com a Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Agrogeoambiental**, v. 4, n. 2, 2012.
- ANAGNOSTOU, Emmanouil N.; KUMMEROW, Christian. Stratiform and convective classification of rainfall using SSM/I 85-GHz brightness temperature observations. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 14, n. 3, p. 570-575, 1997.
- ATKINSON, B. W., 1981. Meso-scale atmospheric circulations. Academic Press, London, 1981. 495 pp.
- BAOYUAN, Liu; KELI, Zhang; YUN, Xie. An empirical soil loss equation. In: Proc. 12th **ISCO Conf.** 2002. p. 21-25.
- BARBOSA, Humberto Alves; ERTÜK, Aydin Gürol; SILVA, L. R. M. Using the Meteosat-9 images to the detection of deep convective systems in Brazil. **Hyperspectral Remote Sens**, v. 2, p. 69-82, 2012.
- BERTONI, José; NETO, Francisco Lombardi. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2005. (LIVRO)
- BITAR, Omar Yazbek Guia Cartas geotécnicas [livro eletrônico]: orientações básicas aos municípios / autores e organizadores Omar Yazbek Bitar, Carlos Geraldo Luz de Freitas, Eduardo Soares de Macedo. -- São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2015.
- BONAN, Gordon. **Ecological climatology: concepts and applications**. Cambridge University Press, 2015. (LIVRO)
- BRITO, Annanery de Oliveira; MARTINS, Ildeu Soares; AICHA, Nádia Niman. Estudos da erosão urbana no Distrito Federal. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, Garça**, v. 20, n. 1, p. 85-92, 2012.
- CANTALICE, José Ramon Barros. Escoamento e erosão em sulcos e em entressulcos em distintas condições de superfície do solo. 2002.
- Cartilha erosão / José Camapum de Carvalho e Noris Costa Diniz editores- Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2007. 34p.: il. 3º edição.
- CARVALHO, Daniel F. de et al. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 3-9, 2009.
- CAVALCANTI, Iracema FA. **Tempo e clima no Brasil**. Oficina de textos, 2016. (2009 - LIVRO)

COELHO, Victor HR et al. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 64-72, 2014.

CORGHI, F.; GIACHETI, H. Processos erosivos na Área Urbana de Bauru-SP. **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO). Anais de Trabalhos Completos, Goiás/Goiânia**, v. 1, p. 227, 2006.

(CPRM, 2013) - <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes---Sao-Paulo-5088.html>. Acesso em: 05 de maio de 2021.

DAVIE, Tim. **Fundamentals of hydrology**. Routledge, 2019. (LIVRO)

DE CÁSSIA VICENTE, Emanuella et al. CARACTERÍSTICAS DAS PRECIPITAÇÕES CONVECTIVAS INTENSAS NA ÁREA DO RADAR METEOROLÓGICO DE SÃO PAULO.

DE JESUS, Andrelisa Santos; DE CARVALHO, José Camapum. Processos erosivos em área urbana e as implicações na qualidade de vida. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 37, n. 1, p. 1-17, 2017.

DYONISIO, Hamilton Antônio Ferreira. Erosão hídrica: suscetibilidade do solo. **Revista Eletrônica Thesis**, v. 2010, n. 13, p. 15-25, 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de dados das cartas cartográficas. Disponível em: <http://www.baixarmapas.com.br/sao-paulo-rmsp/>. Acesso em: abril/2021.

FARR, T. G.; KOBRICK, M. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 81, n. 48, p. 583-585, 2000.

FARR T. G., Rosen P. A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank M. and Alsdorf D. The shuttle radar topography mission. **Reviews of geophysics**, v. 45, n. 2, 2007. doi:10.1029/2005RG000183.

FARRES, P. J. The dynamics of rainsplash erosion and the role of soil aggregate stability. **Catena**, v. 14, n. 1-3, p. 119-130, 1987.

FF (ED.). PRUSKI. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Universidade Federal de Viçosa, 2006.

FISHER, Edwin L. An observational study of the sea breeze. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 17, n. 6, p. 645-660, 1960.

FREITAS, Edmilson D. et al. Interactions of an urban heat island and sea-breeze circulations during winter over the metropolitan area of São Paulo, Brazil. **Boundary-layer meteorology**, v. 122, n. 1, p. 43-65, 2007.

FUENTES LLANILLO, R. Regionalização do Estado do Paraná. In: SEAB. (Org.). Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação do Solo. 1ª ed. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná, 1989, v. 1, p. 41-50.

GONÇALVES, Flávio A. et al. Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 2, p. 269-276, 2006.

GROHMANN, Carlos Henrique; RICCOMINI, Claudio; DOS SANTOS STEINER, Samar. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 2, p. 73-83, 2008.

GUERRA, Antonio José Teixeira. Processos erosivos nas encostas. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**, v. 6, p. 149-209, 1998.

GUERRA, Antonio Teixeira; DA SILVA, Antonio Soares; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Bertrand Brasil, 2007.

HALLAK, Ricardo; PEREIRA FILHO, Augusto José. Metodologia para análise de desempenho de simulações de sistemas convectivos na região metropolitana de São Paulo com o modelo ARPS: sensibilidade a variações com os esquemas de advecção e assimilação de dados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 591-608, 2011.

HILLEL, Daniel. **Introduction to environmental soil physics**. Elsevier, 2004.

HOMANN, Camila Tavares. **Avaliação dos efeitos urbanos sobre circulações de mesoescala em função da expansão territorial da Região Metropolitana de São Paulo**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HUDSON, N. Soil conservation. Ithaca, Cornell University Press, 1977. 320p

HUNT, Roy E. **Geotechnical engineering investigation handbook**. Crc Press, 2005. (LIVRO)

IAG/USP. Boletim climatológico anual da Estação Meteorológica do IAG/USP, Seção Técnica de Serviços Meteorológicos, v. 16. 2014.

JENNY, Hans. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. Courier Corporation, 1994.

JOHANNSEN, Lisbeth Lolk et al. Impact of Disdrometer Types on Rainfall Erosivity Estimation. **Water**, v. 12, n. 4, p. 963, 2020.

KINNELL, P. I. A. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: A review. **Journal of hydrology**, v. 385, n. 1-4, p. 384-397, 2010.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. et al. Soil erosion research methods. Washington: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141-160.

LEPSCH, Igo F. Formação e conservação dos solos – 2ª. Edição, Oficina de Textos, 2010. ISBN 978-85-7975-008-3 e ISBN978-85-7975-231-5.

MARQUES, JG de S. e M. et al. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados: primeira aproximação. **Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 1997.

MENDES, P. P. M. Processo erosivo em área urbana: condomínio Privê, cidade satélite Ceilândia, DF VII Congresso Brasileiro de Geógrafos. **Vitória ES**, 2014.

MORGAN, Royston Philip Charles. **Soil erosion and conservation**. John Wiley & Sons, 2005. 3ª.ed.

Morgan, R. P. C. (Royston Philip Charles), 1942– Soil erosion and conservation / R. P. C. Morgan. – 3rd ed. p. cm. Includes bibliographical references and index. ISBN 1-4051-1781-8 (pbk.: alk. paper) 1. Soil erosion. 2. Soil conservation. I. Title. S623.M68 2005 631.4ç5 – dc22

NAKAJIMA, Karem Kiyomi. **Proposta de técnicas de controle da erosão às margens da PR-317 entre Floresta e Peabiru**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

OLIVEIRA, Amauri Pereira de; SILVA DIAS, Pedro Leite da. Aspectos observacionais da brisa marítima em São Paulo. **II CBM: Anais 1980-2006**, 1982.

OLIVEIRA, Felipe Ferreira; DOS SANTOS, Ramon Eduardo Salles; DE ARAUJO, Rodrigo da Cruz. Dinâmica, agentes causadores e fatores condicionantes de processos erosivos: aspectos teóricos. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, v. 5, n. 3, p. 60-83, 2018.

PEREIRA, Marcos Gervasio et al. Formação e caracterização de solos. **Embrapa Solos-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2019.

PEREIRA FILHO, A.J., K. C. Crawford, and C. L. Hartzell, “Improving WSR-88D hourly rainfall estimates,” *Weather and Forecasting*, vol. 13, no. 4, pp. 1016–1028, 1998.

PEREIRA FILHO, A. J.; Vemado, F.; Zaine, J. E.; Reis, F. A. G. V.; Giordano, L. do C.; Ferreira, J. C. P.; Iwashita, S. S.; Mello, J. P. M. 2018. COEFICIENTES DE ALERTA METEOROLÓGICO PARA EROSÕES LINEARES: INTEGRAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITE E REDES DE SUPERFÍCIE.

PEREIRA FILHO, A. J., Vemado, F., Vemado, G., Reis, F. A. G. V., Giordano, L. do C., Cerri, R. I., Santos, C. C., Lopes, E. S. S., Gramani, M. F., Ogura, A. T., Zaine, J. E., Cerri, L. E. da S., Augusto Filho, O., D’Affonseca, F. M., Amaral, C. S., 2018. A Step towards Integrating CMORPH Precipitation Estimation with Rain Gauge Measurements. *Advances in Meteorology*. Article ID 2095304.

PINHEIRO, Adilson; TEIXEIRA, Lizandra Poeta; KAUFMANN, Vander. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4, n. 2, p. 188-199, 2009.

PROGRAMA NACIONAL DE SOLOS DO BRASIL – PronaSolos. Disponível em <https://geoportail.cprm.gov.br/pronasolos/>.

REBOITA, Michelle Simões et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

REBOITA, Michelle Simões et al. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. 2012.

ROCHA FILHO, K.; CONDE, Flavio; ANDRIOLI, Cristiane Pires. Correção em tempo real da precipitação estimada por um radar meteorológico com uma rede de superfície. **XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Bento Gonçalves, RS, BRAZIL, ABRH, Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, 2013.

RODRIGO-COMINO, Jesús; SENCIALES-GONZÁLEZ, José María; RUIZ-SINOGA, José Damián. The Effect of Hydrology on Soil Erosion. 2020.

SALOMÃO, Fernando X. T., IWASA, Oswaldo Y., Erosão e a Ocupação Rural e Urbana, in BITAR, Omar Yaszbeq (coordenação geral). Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia e Engenharia: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Geologia. Série Meio Ambiente. 1995.

SATYAMURTY, Prakki; NOBRE, Carlos A.; DIAS, Pedro L. Silva. South America. In: Meteorology of the southern hemisphere. American Meteorological Society, Boston, MA, 1998. p. 119-139.

SILVA, Fabrício Daniel Dos Santos; PEREIRA FILHO, Augusto José; HALLAK, Ricardo. Classificação de sistemas meteorológicos e comparação da precipitação estimada pelo radar e medida pela rede telemétrica na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2009, 24: 292-307.

SPELLMAN, Frank R. The handbook of Meteorology. Scarecrow Press, 2012. (LIVRO)

SUN, Ruochen et al. Evaluation of the latest satellite–gauge precipitation products and their hydrologic applications over the Huaihe River basin. *Journal of Hydrology*, v. 536, p. 302-319, 2016.

TAVARES, Alexandre O.; PATO, Rosinda L.; MAGALHAES, M. Carmo. Spatial and temporal land use change and occupation over the last half century in a peri-urban area. **Applied geography**, v. 34, p. 432-444, 2012.

VAN DELDEN, Aarnout. The dynamics of meso-scale atmospheric circulations. **Physics reports**, v. 211, n. 6, p. 251-374, 1992.

VANZELA, Luiz et al. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 55-64, 2010.

ZAMUNER, Lourival Domingos; DE NÓBREGA, Maria Teresa; MARTONI, Astrid Meira. A urbanização e o desencadeamento de processos erosivos em área de preservação ambiental na

cidade de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 24, p. 1793-1800, 2002.