



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

ESTEVÃO CONCEIÇÃO GOMES JUNIOR

**MONITORAMENTO CLIMÁTICO APLICADO À  
HIDROSEDIMENTOLOGIA EM MEGAPARCELAS NA  
REGIÃO GEOGRÁFICA INTERMEDIÁRIA DE LONDRINA  
(PR)**

---

Londrina  
2021

ESTEVÃO CONCEIÇÃO GOMES JUNIOR

**MONITORAMENTO CLIMÁTICO APLICADO À  
HIDROSEDIMENTOLOGIA EM MEGAPARCELAS NA  
REGIÃO GEOGRÁFICA INTERMEDIÁRIA DE LONDRINA  
(PR)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para o título de Doutor em Geografia.

Orientadora: Prof. Dra. Deise Fabiana Ely  
Coorientadora: Prof. Dra. Graziela Moraes de Cesare Barbosa

Londrina  
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Gomes Junior, Estevão Conceição .

Monitoramento climático aplicado à hidrossedimentologia em megaparcels na Região Geográfica Intermediária de Londrina / Estevão Conceição Gomes Junior. - Londrina, 2021.  
177 f.

Orientador: Deise Fabiana Ely.

Coorientador: Graziela Moraes de Cesare Barbosa.

Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2021.  
Inclui bibliografia.

1. Variabilidade pluviométrica - Tese. 2. Índices climáticos - Tese. 3. Standardized Precipitation Index - Tese. 4. Megaparcels - Tese. I. Ely, Deise Fabiana . II. Barbosa, Graziela Moraes de Cesare. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Geografia. IV. Título.

CDU 91

ESTEVÃO CONCEIÇÃO GOMES JUNIOR

**MONITORAMENTO CLIMÁTICO APLICADO À  
HIDROSEDIMENTOLOGIA EM MEGAPARCELAS NA  
REGIÃO GEOGRÁFICA INTERMEDIÁRIA DE LONDRINA  
(PR)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para o título de Doutor em Geografia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientadora: Profa. Dra. Deise Fabiana Ely  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof. Dr. Marciel Lohmann  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Profa. Dra. Gislaine Cristina Luiz  
Universidade Federal de Goiás – UFG

---

Prof. Dr. Lindberg Nascimento Junior  
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

---

Prof. Dr. Guillaume Fortin  
Université de Moncton (Canadá)

Londrina, 17 de maio de 2021.



## AGRADECIMENTOS

Preciso agradecer a muitas pessoas que permitiram a execução deste estudo. Mas, antes, quero apontar que parte desta tese se fez em um momento histórico conturbado, quando o mundo enfrentava (e ainda enfrenta) a pandemia de COVID-19. Certamente, ao redor do mundo, muitos pesquisadores viram seus estudos ruindo...

Diante de tal cenário, a conclusão desta tese, fruto de um esforço conjunto de pesquisadores da Universidade Estadual de Londrina e do Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR, marca um episódio especial na minha história.

Obviamente, reservo esse espaço para agradecer a todos os profissionais da saúde que não mediram esforços para salvar vidas. E, em especial, aos profissionais da saúde do nosso país que permitiram que o número de 567.862 mortes - até o momento desta escrita - pela pandemia de COVID-19 não fosse ainda maior. Devo também estender meus agradecimentos aos profissionais da educação que, assim como eu, tiveram que se reinventar e continuar a missão de ensinar.

Agradeço, em especial;

À minha orientadora, *Deise Fabiana Ely*, pelo apoio, incentivo e confiança na execução deste estudo;

À minha coorientadora, *Graziela Moraes de Cesare Barbosa*, pelo estímulo, suporte e parceria na execução deste estudo;

Aos pesquisadores da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada pelo suporte intelectual e debate dos dados;

À equipe de projetos da *Itaipu Binacional* pelo fomento;

À *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* e *Fundação Araucária* pelo suporte financeiro em 2018, fundamental para construção deste estudo;

Ao *Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR*, nomeadamente ao *José Francirlei, Luciano, Jean, Rafael, Victor* e demais do Laboratório de Solos, e ao *Prof. Dr. Pablo Ricardo Nitsche* pelo ensinamento meteorológico/climático;

Aos membros da banca, *Prof. Dr. Marciel Lohmann*, *Profa. Dra. Gislaine Cristina Luiz* e *Prof. Dr. Guillaume Fortin* pelos apontamentos essenciais para construção desta tese;

Ao também membro da banca, *Prof. Dr. Lindberg Nascimento Junior*, que me mostrou anos atrás uma representatividade necessária: “*precisamos de mais pesquisadores negros no estudo do clima e em tantos outros*”. Muito obrigado.

À minha mãe, *Carmen*, que desde o início apoiou meus sonhos e lutou comigo por todas as conquistas até este momento alcançadas. Ela merece uma tese inteira!

Ao meu irmão, *Bruno*, que me trouxe saúde mental e saúde emocional em momentos de adversidades;

E a minha esposa e companheira de tudo, *Débora*, que me ensina todos os dias a ser um homem melhor para mim, para ela e para todos ao nosso redor.

GOMES JUNIOR, Estevão Conceição. **Monitoramento climático aplicado à hidrossedimentologia em megaparcels na Região Geográfica Intermediária de Londrina**. 2021. 177 f. Tese de Doutorado em Geografia – Universidade Estadual de Londrina.

## RESUMO

Tiveram início nos anos 2000 os estudos voltados para a abordagem hidrossedimentológica em megaparcels. Sendo assim, pesquisas direcionadas ao monitoramento climático podem contribuir para a interpretação e entendimento da dinâmica dos sedimentos no solo frente às diferentes intensidades pluviométricas e, conseqüentemente, no contingenciamento de focos erosivos, bem como na potencialidade agrícola da terra. Desta forma, a presente pesquisa tem por objetivo investigar e caracterizar a dinâmica climática regional de municípios localizados na Região Geográfica Intermediária de Londrina por meio de diferentes metodologias de monitoramento e descrever a influência da precipitação pluviométrica diária, mensal e anual na erosão dos solos dispostos em megaparcels. Para tanto, foram monitorados dois *locus* de estudo em escala regional e local: a Região Geográfica Intermediária de Londrina e duas megaparcels localizadas na Fazenda Santa Cândida (Cambé/PR), com diferentes técnicas empregadas à análise da variabilidade climática. Foram utilizados os dados diários, mensais e anuais da precipitação pluviométrica de 13 estações meteorológicas dispostas na supracitada região e foram aplicados os seguintes indicadores de monitoramento climático: *Standardized Precipitation Index (SPI)*, técnica dos percentis (99%, 95% e 90%), testes de tendência de Mann Kendall e Curvatura de Sen e índices climáticos de precipitação (ETCCDMI/WMO). Os resultados indicaram que a Região Geográfica Intermediária de Londrina apresenta duas estações do ano bem definidas, tendo como base o ano hidrológico: a chuvosa entre outubro e março e outra com redução das chuvas entre abril e setembro. O mês de agosto destaca-se como o mais seco, com 50mm durante a média histórica e janeiro como o mais úmido com 228mm no mesmo cenário. A aplicação do SPI-3 indicou a primavera e o verão do ano de 1996/1997 e 2015/2016 entre os mais úmidos de toda série histórica (1987-2018) e a primavera e o outono do ano de 1999/2000 entre os mais secos de toda a série; o verão e o inverno do ano de 1987/1988 destacam-se entre os mais secos. Com a técnica dos percentis observou-se que chuvas acima de 43mm/dia são consideradas extremas para o percentil 90%. Dentre os municípios que compõem a região, Cambé apresentou as maiores variabilidades pluviométricas relacionadas ao aumento nos dias consecutivos secos, na precipitação nos dias chuvosos, no número de dias com precipitação acima de 20 e 25mm, nos eventos extremos de precipitação e na intensidade das chuvas. Sob uma ótica sazonal, o outono apresentou tendência negativa (redução das chuvas) para todos os cenários em que houve significância estatística superior ao nível de confiança de 90%. Em relação às análises hidrossedimentológicas foi verificada uma preponderância da atuação dos sistemas frontais, frentes estacionárias e cavados na gênese dos eventos de precipitações analisados. Foi constatado que eventos superiores a 14,1mm precipitados em duas horas e/ou com intensidades  $\geq 12$  mm/h são capazes de causar erosões nas megaparcels em ambos os tratamentos (com e sem terraços), ainda que a megaparcels sem terraços tenha apresentado duas vezes mais perda de sedimentos em comparação com a megaparcels com terraços.

**Palavras-chave:** Variabilidade pluviométrica; Índices climáticos; *Standardized Precipitation Index*; Megaparcels; Manejo e conservação dos solos.

GOMES JUNIOR, Estevão Conceição. **Climatic monitoring applied to hydrosedimentology in megaparcels in the Região Geográfica Intermediária de Londrina.** 2021. 177 p. PhD Thesis in Geography - Londrina State University, Londrina.

## ABSTRACT

Studies on the hydrosedimentological approach in megaparcels started in the 2000s. Thus, research aimed at climate monitoring can contribute to the interpretation and understanding of the dynamics of soil sediments in the different rainfall intensities and, consequently, not contingency of erosive focus, as well as in the agricultural land potential. Thus, this research aims to investigate and characterize the regional climate dynamics of the municipality in the Região Geográfica Intermediária de Londrina through different methodologies of climate monitoring, daily, monthly and yearly in the erosion of the megaparcels pluviometric soils. To this end, two study locus were monitored on a regional and local scale: the Região Geográfica Intermediária de Londrina and two megaparcels at Fazenda Santa Cândida (Cambé / PR), with different techniques employed in the analysis of climatic variability. Daily, monthly and previous data on the rainfall separation of 13 meteorological stations in the aforementioned region were used and the main indicators of climate monitoring were identified: Standardized Precipitation Index (SPI), percentile technique (99%, 95% and 90%) , Mann Kendall and Sen Curvature trend tests and climatic capacity indices (ETCCDMI / WMO). The results indicated that the Região Geográfica Intermediária de Londrina has two well-defined seasons, based on the hydrological year: the rainy season between October and March and the other with reduced rainfall between April and September. The month of August stands out as the driest, with 50mm during the historical average and January as the most humid with 228mm in the same scenario. The application of SPI-3 indicated the spring and summer of the year 1996/1997 and 2015/2016 among the most humid in the entire historical series (1987-2018) and the spring and autumn of the year 1999/2000 among the driest; the summer and winter of 1987/1988 stand out among the driest. With the percentile technique, it was observed that rainfall above 43mm/day is considered extreme for the 90% percentile. Among the municipalities that make up the region, Cambé presented the greatest rainfall variability related to the increase in consecutive dry days, in the precipitation in the rainy days, in the number of days with precipitation above 20 and 25mm, in the extreme events of precipitation and in the intensity of the rains. From a seasonal way, autumn presented a negative trend (reduced rainfall) for all scenarios in which there was statistical significance above the 90% confidence level. Regarding the hydrosedimentological analyzes, a preponderance of the performance of the frontal systems, stationary fronts and dug in the genesis of the analyzed precipitation events was verified. It was found that events greater than 14.1 mm precipitated in two hours and/or with intensities  $\geq 12$  mm/h are capable of causing erosion in the megaparcels in both treatments (with and without terraces), even though the megaparcels without terraces has presented two times more loss of sediment compared to megaparcels with terraces.

**Keywords:** Rainfall variability; Climate indices; Standardized Precipitation Index; Megaparcels; Soil management and conservation.

GOMES JUNIOR, Estevão Conceição. **Monitoreo climático aplicado a la hidrosedimentología en megaparcels de la Região Geográfica Intermediária de Londrina.** 2021. 177 p. Tesis de Doctorado en Geografía - Universidade Estadual de Londrina.

## RESÚMEN

Los estudios sobre el enfoque hidrosedimentológico en megaparcels comenzaron en la década de 2000. Así, la investigación dirigida al monitoreo climático puede contribuir a la interpretación y comprensión de la dinámica de los sedimentos en el suelo ante las diferentes intensidades de lluvia y, en consecuencia, en la contingencia de focos erosivos, así como en el potencial agrícola del terreno. Así, la presente investigación tiene como objetivo investigar y caracterizar la dinámica climática regional de municipios ubicados en la Região Geográfica Intermediária de Londrina a través de diferentes metodologías de monitoreo y describir la influencia de las lluvias diarias, mensuales y anuales en la erosión de suelos dispuestos en megaparcels. Para ello, se monitorearon dos loci de estudio a escala regional y local: la Região Geográfica Intermediária de Londrina y dos megaparcels ubicadas en Fazenda Santa Cândida (Cambé/PR), con diferentes técnicas empleadas en el análisis de la variabilidad climática. Se utilizaron datos de precipitación diaria, mensual y anual de 13 estaciones meteorológicas en la región antes mencionada y se aplicaron los siguientes indicadores de monitoreo climático: Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), técnica de percentiles (99%, 95% y 90%), Mann Kendall y Sen Pruebas de tendencia de curvatura e índices de precipitación y precipitación (ETCCDMI / WMO). Los resultados indicaron que la Região Geográfica Intermediária de Londrina tiene dos estaciones bien definidas, en función del año hidrológico: la temporada de lluvias entre octubre y marzo y la otra con precipitaciones reducidas entre abril y septiembre. El mes de agosto se destaca como el más seco, con 50 mm durante la media histórica y enero como el más húmedo con 228 mm en el mismo escenario. La aplicación de SPI-3 indicó la primavera y el verano del año 1996/1997 y 2015/2016 entre los más húmedos de toda la serie histórica (1987-2018) y la primavera y otoño del año 1999/2000 entre los más seco de toda la serie; el verano y el invierno de 1987/1988 destacan entre los más secos. Con la técnica de percentiles, se observó que las precipitaciones superiores a 43 mm / día se consideran extremas para el percentil del 90%. Entre los municipios que conforman la región, Cambé presentó la mayor variabilidad de precipitaciones relacionada con el incremento de días secos consecutivos, en la precipitación en los días lluviosos, en el número de días con precipitación superior a 20 y 25mm, en los eventos extremos de precipitación. y en la intensidad de las lluvias. Desde el punto de vista estacional, el otoño presentó una tendencia negativa (precipitación reducida) para todos los escenarios en los que hubo significación estadística por encima del nivel de confianza del 90%. En cuanto a los análisis hidrosedimentológicos, se verificó una preponderancia del desempeño de los sistemas frontales, frentes estacionarios y cavados en la génesis de los eventos de precipitación analizados. Se encontró que eventos mayores a 14.1 mm precipitados en dos horas y/o con intensidades  $\geq 12$ mm /h son capaces de causar erosión en las megaparcels en ambos tratamientos (con y sin terrazas), aunque la megaparcels sin terrazas ha presentado dos veces más pérdida de sedimentos en comparación con la megaparcels con terrazas.

**Palabras clave:** Variabilidad pluviométrica; Índices climáticos; Índice de precipitación estandarizado; Megaparcels; Manejo y conservación de suelos.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Escalas geográficas do clima (tempo longo e tempo curto) .....	24
<b>Figura 2.</b>	Temperatura (°C) e concentração de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ppm) na atmosfera terrestre .....	27
<b>Figura 3.</b>	Precipitação mensal em 2015 e durante a série histórica de 1987-2018 para Londrina.....	28
<b>Figura 4.</b>	Precipitação mensal em 2016 e durante a série histórica de 1987-2018 para Londrina.....	29
<b>Figura 5.</b>	Contribuições naturais e antrópicas nas mudanças de temperatura ao longo dos anos .....	34
<b>Figura 6.</b>	Dinâmica geral do ciclo da água.....	35
<b>Figura 7.</b>	Diferentes parcelas medidoras de perda de solo.....	41
<b>Figura 8.</b>	Macroporosidade observada por tomografia (acima) e imagem binarizada (abaixo) em diferentes usos da terra: (a) sem cultivo, (b) cultivo convencional, (c) floresta nativa.....	47
<b>Figura 9.</b>	Mapa de localização da área de estudo.....	51
<b>Figura 10.</b>	Mapa climático do estado do Paraná .....	53
<b>Figura 11.</b>	Localização dos postos pluviométricos .....	54
<b>Figura 12.</b>	Mapa geológico da área de estudo.....	56
<b>Figura 13.</b>	Mapa hipsométrico e de declividade da área de estudo.....	56
<b>Figura 14.</b>	Mapa de solos da área de estudo.....	58
<b>Figura 15.</b>	Localização das megaparcels estudadas: à esquerda sem terraços e à direita com terraços.....	59
<b>Figura 16.</b>	Cultivo de soja na Fazenda Santa Cândida na megaparcels sem terraços em dezembro/2018.....	60
<b>Figura 17.</b>	Amostrador automático ISCO Série 6712 .....	62
<b>Figura 18.</b>	Mapa de localização dos pontos de amostragem de solos.....	62
<b>Figura 19.</b>	Mosaico esquemático das topossequências e seus respectivos perfis de elevação .....	63
<b>Figura 20.</b>	Pontos amostrais de determinação das velocidades de infiltração de água no solo, na megaparcels sem terraço (à esquerda) e com terraço (à direita).....	65

<b>Figura 21.</b> Amostrador isocinético tipo US-DH-48 utilizado para coleta da água e sedimentos durante os eventos de precipitação .....	66
<b>Figura 22.</b> Recipientes de coleta e armazenamento das amostras de água durante os eventos de chuva.....	66
<b>Figura 23.</b> Esquema dos procedimentos realizados nas megaparcels na Fazenda Santa Cândida, entre 2017 e 2019 .....	68
<b>Figura 24.</b> Distribuição das precipitações médias mensais (1987-2018) nas estações meteorológicas estudadas .....	76
<b>Figura 25.</b> Média anual das precipitações (mm) na Região Geográfica Intermediária de Londrina (1987-2018).....	77
<b>Figura 26.</b> Índice padronizado de precipitação (SPI-3) dos anos secos para a Região Geográfica Intermediária de Londrina durante a primavera.....	83
<b>Figura 27.</b> Índice padronizado de precipitação (SPI-3) dos anos úmidos para a Região Geográfica Intermediária de Londrina durante a primavera .....	85
<b>Figura 28.</b> Índice padronizado de precipitação (SPI-3) dos anos secos para a Região Geográfica Intermediária de Londrina durante o verão.....	86
<b>Figura 29.</b> Índice padronizado de precipitação (SPI-3) dos anos úmidos para a Região Geográfica Intermediária de Londrina durante o verão .....	87
<b>Figura 30.</b> Índice padronizado de precipitação (SPI-3) dos anos secos para a Região Geográfica Intermediária de Londrina durante o outono .....	88
<b>Figura 31.</b> Índice padronizado de precipitação (SPI-3) dos anos úmidos para a Região Geográfica Intermediária de Londrina durante o outono .....	89
<b>Figura 32.</b> Índice padronizado de precipitação (SPI-3) dos anos secos para a Região Geográfica Intermediária de Londrina durante o inverno .....	90
<b>Figura 33.</b> Índice padronizado de precipitação (SPI-3) dos anos úmidos para a Região Geográfica Intermediária de Londrina durante o inverno .....	91
<b>Figura 34.</b> Limiares de precipitação para os percentis 99%, 95% e 90% para as estações meteorológicas estudadas na Região Geográfica Intermediária de Londrina.....	93
<b>Figura 35.</b> Número de eventos no percentil 99% em escala decadal (1987-1996, 1997-2006, 2007-2018) para as estações meteorológicas da Região Geográfica Intermediária de Londrina.....	94
<b>Figura 36.</b> Precipitação anual dos dias úmidos em Alvorada do Sul na série histórica (1987-2018) .....	95

<b>Figura 37.</b> Dias no ano com precipitação acima de 10mm/dia em Alvorada do Sul na série histórica (1987-2018).....	98
<b>Figura 38.</b> Dias no ano com precipitação acima de 20mm/dia em Califórnia na série histórica (1987-2018).....	98
<b>Figura 39.</b> Dias no ano com precipitação acima de 25mm/dia em Porecatu na série histórica (1987-2018).....	99
<b>Figura 40.</b> Precipitação anual total dos eventos localizados no percentil 99% em Arapongas na série histórica (1987-2018).....	100
<b>Figura 41.</b> Quantidade máxima de precipitação em um dia em Cambé na série histórica (1987-2018).....	100
<b>Figura 42.</b> Quantidade máxima de precipitação em cinco dias em Colorado na série histórica (1987-2018).....	101
<b>Figura 43.</b> Dias consecutivos secos em Cambé na série histórica (1987-2018) .....	103
<b>Figura 44.</b> Precipitação anual dos dias úmidos em Cambé na série histórica (1987-2018).....	103
<b>Figura 45.</b> Dias no ano com precipitação acima de 20mm/dia .....	103
<b>Figura 46.</b> Dias no ano com precipitação acima de 25mm/dia em Cambé na série histórica (1987-2018).....	103
<b>Figura 47.</b> Precipitação anual total dos eventos localizados no percentil 95% em Cambé na série histórica (1987-2018).....	104
<b>Figura 48.</b> Precipitação anual dividida pelo número de dias com chuva (intensidade média) em Cambé na série histórica (1987-2018).....	104
<b>Figura 49.</b> Intensidade diária (precipitação anual dividido do número de dias com chuva) para a Região Geográfica Intermediária de Londrina.....	105
<b>Figura 50.</b> Resultados do teste de Mann-Kendall em meses e estações do ano para Alvorada do Sul .....	106
<b>Figura 51.</b> Resultados do teste de Mann-Kendall em meses e estações do ano para Cambé .....	107
<b>Figura 52.</b> Resultados do teste de Mann-Kendall em meses e estações do ano para Centenário do Sul .....	108
<b>Figura 53.</b> Resultados do teste de Mann-Kendall em meses e estações do ano para Colorado .....	108
<b>Figura 54.</b> Resultados do teste de Mann-Kendall em meses e estações do ano para Rolândia.....	109



<b>Figura 55.</b> Temperatura média registrada na estação meteorológica na microbacia de Cambé/PR.....	112
<b>Figura 56.</b> Média das temperaturas máximas registrada na estação meteorológica na microbacia de Cambé/PR .....	112
<b>Figura 57.</b> Média das temperaturas mínimas registrada na estação meteorológica na microbacia de Cambé/PR .....	113
<b>Figura 58.</b> Umidade relativa do ar registrada na estação meteorológica na microbacia de Cambé/PR .....	113
<b>Figura 59.</b> Médias máximas da umidade relativa do ar registradas pela estação meteorológica na microbacia de Cambé/PR.....	114
<b>Figura 60.</b> Médias mínimas da umidade relativa do ar registradas pela estação meteorológica na microbacia de Cambé/PR.....	114
<b>Figura 61.</b> Acumulados pluviométricos mensais no primeiro ano hidrológico na microbacia de Cambé/PR .....	115
<b>Figura 62.</b> Precipitação pluviométrica mensal (2017 a 2019) – microbacia de Cambé/PR.....	116
<b>Figura 63.</b> Concentração de nitrogênio e carbono da biomassa microbiana.....	118
<b>Figura 64.</b> Análise episódica com os parâmetros climáticos para o evento em 04/10/2018.....	119
<b>Figura 65.</b> Imagem de satélite no canal infravermelho (GOES-16) com a presença de nebulosidade concentrada no norte do Paraná em 04/10/2018.....	120
<b>Figura 66.</b> Hietograma da precipitação observada no evento do dia 04/10/2018 nas megaparcels.....	121
<b>Figura 67.</b> Hidrograma das megaparcels com e sem terraço no evento do dia 04/10/2018 .....	121
<b>Figura 68.</b> Sedimentograma das megaparcels com e sem terraço no evento do dia 04/10/2018 .....	122
<b>Figura 69.</b> Visão aérea das megaparcels sem terraço (a) e com terraço (b) enfatizando a cobertura do solo pela palhada .....	123
<b>Figura 70.</b> Baixa concentração de cobertura vegetal observada no terço médio da parcela com terraço.....	124
<b>Figura 71.</b> Rompimento de terraço observado após evento pluviométrico.....	124
<b>Figura 72.</b> Afloramento basáltico observado após evento pluviométrico.....	125

<b>Figura 73.</b> Análise episódica com os parâmetros climáticos para o evento em 23 e 24/11/2018 .....	127
<b>Figura 74.</b> Imagem de satélite no canal infravermelho (GOES-16) com a presença de nebulosidade concentrada no centro-sul do Brasil em 24/11/2018 .....	128
<b>Figura 75.</b> Hietograma da precipitação observada no evento do dia 23-24/11/2018 nas megaparcels .....	129
<b>Figura 76.</b> Hidrograma das megaparcels com e sem terraço no evento do dia 23-24/11/2018 .....	130
<b>Figura 77.</b> Sedimentograma das megaparcels com e sem terraço no evento do dia 23-24/11/2018.....	130
<b>Figura 78.</b> Rolos de fibra (à esquerda) e instalação da manta de fibra de coco no canal escoadouro (à direita) .....	131
<b>Figura 79.</b> Análise episódica com os parâmetros climáticos para o evento em 26/02/2019 .....	132
<b>Figura 80.</b> Imagem de satélite no canal infravermelho (GOES-16) com a presença de nebulosidade em 26/02/2019 .....	133
<b>Figura 81.</b> Hietograma da precipitação observada no evento do dia 26/02/2019 nas megaparcels.....	134
<b>Figura 82.</b> Hidrograma das megaparcels com e sem terraço no evento do dia 26/02/2019 .....	134
<b>Figura 83.</b> Sedimentograma das megaparcels com e sem terraço no evento do dia 26/02/2019 .....	135
<b>Figura 84.</b> Arraste da manta de fibra de coco durante o evento de chuva ocorrido em 26/02/2019 .....	137
<b>Figura 85.</b> Análise episódica com os parâmetros climáticos para o evento em 16/03/2019 .....	138
<b>Figura 86.</b> Imagem de satélite no canal infravermelho (GOES-16) com a presença de nebulosidade em 16/03/2019 .....	138
<b>Figura 87.</b> Hietograma da precipitação observada no evento do dia 16/03/2019 nas megaparcels.....	139
<b>Figura 88.</b> Hidrograma das megaparcels com e sem terraço no evento do dia 16/03/2019 .....	140
<b>Figura 89.</b> Sedimentograma das megaparcels com e sem terraço no evento do dia 16/03/2019 .....	140

<b>Figura 90.</b> Semeadura de milho e braquiária nos canais dos terraços nas megaparcels.....	141
<b>Figura 91.</b> Imagem de satélite no canal infravermelho (GOES-16) com a presença de nebulosidade em 28/05/2019 .....	142
<b>Figura 92.</b> Análise episódica com os parâmetros climáticos para o evento em 28/05/2019 .....	142
<b>Figura 93.</b> Hietograma da precipitação observada no evento do dia 28/05/2019 nas megaparcels.....	143
<b>Figura 94.</b> Hidrograma das megaparcels com e sem terraço no evento do dia 28/05/2019 .....	144
<b>Figura 95.</b> Sedimentograma das megaparcels com e sem terraço no evento do dia 28/05/2019 .....	144
<b>Figura 96.</b> Sistema de drenagem da saída de água nas megaparcels.....	146

## **LISTA DE QUADRO**

<b>Quadro 1.</b> Descrição das formas de transporte dos sedimentos.....	47
<b>Quadro 2.</b> Classificação do período a partir dos valores de SPI.....	70

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Articulação das escalas geográficas do clima.....	26
<b>Tabela 2.</b>	Vantagens e desafios do monitoramento climático contemporâneo.....	32
<b>Tabela 3.</b>	Material, tamanho e modo de transporte do sedimento.....	44
<b>Tabela 4.</b>	Localização das estações meteorológicas utilizadas na área de estudo.....	54
<b>Tabela 5.</b>	Unidades de mapeamento de solos da área de estudo .....	57
<b>Tabela 6.</b>	Classificação do período a partir dos valores de SPI.....	72
<b>Tabela 7.</b>	Síntese dos índices climáticos e suas definições .....	78
<b>Tabela 8.</b>	Volume e variação das chuvas no trimestre OND em Primeiro de Maio e Londrina (1987-2018).....	79
<b>Tabela 9.</b>	Volume e variação das chuvas no trimestre JFM em Primeiro de Maio e Londrina (1987-2018).....	80
<b>Tabela 10.</b>	Volume e variação das chuvas no trimestre AMJ em Primeiro de Maio e Londrina (1987-2018).....	81
<b>Tabela 11.</b>	Volume e variação das chuvas no trimestre JAS em Primeiro de Maio e Londrina (1987-2018).....	82
<b>Tabela 12.</b>	Estações meteorológicas circundantes a microbacia de Cambé/PR e seus respectivos eventos de precipitação iguais ou superiores a 30mm/dia.....	92
<b>Tabela 13.</b>	Limiares de eventos extremos de precipitação em diferentes percentis para a Região Geográfica Intermediária de Londrina.....	93
<b>Tabela 14.</b>	Características socioespaciais e físicas das estações meteorológicas de Londrina-Agrometeorologia e Londrina-São Luiz.....	97
<b>Tabela 15.</b>	Tendências dos índices climáticos para as 12 estações meteorológicas monitoradas na Região Geográfica Intermediária de Londrina.....	102
<b>Tabela 16.</b>	Tendências dos índices climáticos para as 12 estações meteorológicas monitoradas na Região Geográfica Intermediária de Londrina.....	110
<b>Tabela 17.</b>	Resultados do teste de Mann-Kendall e estimador de curvatura de Sen (Q) para as estações meteorológicas na Região Geográfica Intermediária de Londrina que apresentaram tendência significativa estatisticamente com intervalo de confiança de 90% .....	111
<b>Tabela 18.</b>	Resultados do teste de Mann-Kendall para as precipitações mensal anuais e sazonais das doze estações meteorológicas na Região Geográfica Intermediária de Londrina .....	117

<b>Tabela 19.</b> Velocidade de infiltração básica (VIB) e infiltração acumulada (I acumulada) do terço inferior, médio e superior das megaparcels com e sem terraço.....	125
<b>Tabela 20.</b> Análise química dos solos após o evento de chuva do dia 04/10/2018.....	129
<b>Tabela 21.</b> Intervalos de precipitação associados aos registros pluviométricos no evento de 23-24/11/2018 .....	131
<b>Tabela 22.</b> Análise química dos solos após o evento de chuva do dia 23-24/11/2018.....	136
<b>Tabela 23.</b> Intensidade das chuvas e CSS das 13h00 às 14h00 no evento de 26/02/2019 .....	136
<b>Tabela 24.</b> Análise química dos solos após o evento de chuva do dia 26/02/2019.....	141
<b>Tabela 25.</b> Análise química dos solos após o evento de chuva do dia 16/03/2019 .....	145
<b>Tabela 26.</b> Intensidade das chuvas e CSS no evento de 28/05/2019.....	146

## LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

AMJ	Abril-Maio-Junho
CAV	Cavado
CSS	Concentração de Sedimentos em Suspensão
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EST	Frente Estacionária
ETCCDI	Equipe de Detecção e Índices de Mudanças Climáticas
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	Ponderação pelo Inverso da Distância
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
JAS	Julho-Agosto-Setembro
JFM	Janeiro-Fevereiro-Março
km/h	Quilômetros por hora
mm	Milímetros
mPa	Massa Polar Atlântica
mTa	Massa Tropical Atlântica
mTc	Massa Tropical Continental
NOAA	Administração Oceânica e Atmosférica Nacional dos Estados Unidos
OND	Outubro-Novembro-Dezembro
RGIL	Região Geográfica Intermediária de Londrina
SF	Sistema Frontal
SIMEPAR	Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SPD	Sistema Plantio Direto
SPI	Standardized Precipitation Index
t	Toneladas
UTM	Universal Transversa de Mercator
VIB	Velocidade de Infiltração Básica
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1.	OBJETIVOS .....	20
1.1.1.	Objetivo Geral .....	20
1.1.2.	Objetivos Específicos .....	20
1.2.	PROBLEMA, JUSTIFICATIVA E HIPÓTESES .....	21
1.3.	ESTRUTURA DA TESE .....	22
<b>2.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>23</b>
2.1.	ESCALAS DO CLIMA .....	23
2.2.	MONITORAMENTO CLIMÁTICO .....	30
2.2.1.	Panoramas Climáticos Atuais E Projeções Para O Futuro .....	38
2.3.	EROSÃO HÍDRICA .....	42
2.4.	HIDROSSEDIMENTOLOGIA EM MEGAPARCELAS .....	46
<b>3.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>54</b>
3.1.	CARACTERIZAÇÃO REGIONAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	54
3.1.1.	Aspectos Do Meio Físico .....	56
3.2.	CARACTERIZAÇÃO LOCAL DA ÁREA DE ESTUDO .....	62
3.2.1.	Características Físicas Das Megaparcelsas .....	64
3.2.2.	Amostragem Hidrossedimentológica .....	65
3.3.	INDICADORES UTILIZADOS NO MONITORAMENTO CLIMÁTICO .....	73
3.3.1.	Standardized Precipitation Index (SPI) .....	73
3.3.2.	Técnica Dos Percentis .....	74
3.3.3.	Índices Climáticos .....	75
3.3.4.	Teste Estatísticos De Mann-Kendall E Curvatura De Sen .....	77
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>80</b>
4.1.	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA REGIONAL .....	80
4.1.1.	Monitoramento Dos Períodos Secos E Úmidos – Índice Padronizado De Precipitação (Sigla Em Inglês – SPI) .....	86
4.1.2.	Limiares Extremos De Precipitação .....	95
4.1.3.	Índices Climáticos .....	98



4.1.4.	Tendências Climáticas.....	110
4.2.	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA LOCAL: MEGAPARCELAS.....	116
4.2.1.	Temperatura.....	116
4.2.2.	Umidade Do Ar .....	117
4.2.3.	Chuvas .....	119
4.3.	MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO E ANÁLISE EPISÓDICA .....	120
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>151</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>154</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>171</b>
	<b>APÊNDICE A. ....</b>	<b>177</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Planeta Terra é um complexo sistema com entradas e saídas de energia que variam significativamente de um lugar para o outro. São justamente estas diferenciações que permitem uma diversidade de paisagens e fatores bióticos e abióticos. Assim, dentre os inúmeros agentes de diferenciação destaca-se o clima, como resultado da interação entre a radiação solar e a superfície terrestre, desempenhando um papel fundamental na criação e desenvolvimento de espécies animais, tipos vegetacionais, relevo, solo e tantas outras esferas do meio físico.

A temática da mudança climática é uma das questões definidoras do nosso tempo e um desafio fundamental para o século XXI. Além disso, não é apenas uma tese científica ou um desafio ambiental, é antes de tudo uma questão humana. Como debatido por Cameron (2009), essas mudanças estão afetando adversamente os indivíduos em todo o planeta, devido as alterações nos ecossistemas e aumento na frequência de desastres naturais.

Uma possível alteração na temperatura ou no volume de chuvas tem impacto direto nestes mesmos ecossistemas, no habitat ou propriamente nas espécies e, de uma maneira mais ampla, afeta os recursos naturais. De forma paralela, ocorrem fenômenos oceânico-atmosféricos naturais, como El-Niño e La-Niña, capazes de interferir na temperatura e precipitação continental, afetando bilhões de pessoas ao redor do planeta.

Diversos estudos como o de Sorre (1952), Monteiro (1991), Christofolletti (1999) e Marengo (2006) apontam o clima como um importante objeto de estudo para a interpretação da dinâmica do planeta Terra em escala espacial e temporal. Assim, entende-se que a atuação dos elementos e fatores climáticos afeta diretamente outros objetos de estudo do meio físico, como o solo por exemplo.

A relação *solo x clima* descrita por Jenny (1941) relaciona o clima como um dos cinco fatores de formação dos solos e remonta a um passado de pesquisas que visavam entender a manifestação dos elementos e fatores climáticos sobre a dinâmica pedológica, principalmente no que tange a relação *precipitação pluviométrica x solo*.

A precipitação pluviométrica e suas grandezas (altura, duração, intensidade e tempo de retorno) estão diretamente ligadas aos processos de movimentação de sedimentos, a citar a erosão. Não há dúvidas que a erosão é responsável por grande

parte da perda da produtividade agrícola no Brasil (TEN CATEN et al., 2012; FREITAS e MENDONÇA, 2016; VIEIRA FILHO e GASQUES, 2016).

A erosão hídrica, entendida aqui como processo natural e antrópico, trata-se do deslocamento de sedimentos do seu local de origem por meio do escoamento. Esse deslocamento iniciado quando a gota da chuva toca a superfície, desestabilizando os agregados do solo, muito se relaciona com as grandezas da precipitação pluviométrica, como altura da lâmina d'água e intensidade.

É sob esse panorama de caracterização ambiental que as pesquisas que compõem a grande área científica denominada *Hidrossedimentologia* foram iniciadas no século XIX e intensificadas no século XX com a preocupação em estudar os sedimentos levando em conta os processos hidroclimatológicos, enfatizando a relação água-sedimento, de fundamental importância para a agricultura.

Assim, tem-se na agricultura uma das principais aplicações do monitoramento climático ao estudo hidrossedimentológico, observado por meio de modelos estatísticos que buscam mapear tendências climáticas e seus reflexos na dinâmica do solo e da água. Neste sentido, no presente estudo foi aplicado o *Standardized Precipitation Index* (SPI) para entendimento da variabilidade climática na Região Geográfica Intermediária de Londrina, observando os períodos normais, secos e úmidos. As tendências às alterações climáticas foram verificadas por meio do teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) e as intensidades destas alterações com o auxílio do método da Curvatura de Sen (Sen, 1965).

A partir do estudo divulgado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) que indicou o aumento da frequência dos eventos climáticos extremos durante o século XXI, a comunidade científica mundial dedicada as pesquisas nesta área do conhecimento intensificou seus estudos visando compreender não apenas a natureza física dos fenômenos, mas o real impacto para a sociedade.

No monitoramento climático destaca-se a análise dos eventos extremos de precipitação. A utilização de seus parâmetros é de suma importância para a agricultura, tendo em vista a vasta perda das áreas agrícolas por meio da erosão. Desta forma, a análise dos eventos extremos de precipitação por métodos estatísticos descritivos, como o método dos percentis, permite a partir de uma série temporal longa estabelecer limiares e verificar as maiores precipitações observadas em cada estação pluviométrica e relacioná-los com a erosividade das chuvas, como já observado por Wischmeier e Smith (1978).

Sob uma perspectiva global, a equipe conjunta de Detecção e Índices de Mudanças Climáticas (ETCCDI/Organização Meteorológica Mundial) estipulou um conjunto de índices descritivos que envolvem, por exemplo frequência, amplitude e persistência dos fenômenos climáticos. O conjunto principal inclui 27 índices de extremos de temperatura e precipitação, sendo que, para o presente estudo, serão analisados 11 índices pluviométricos.

Com isso, a precipitação pluviométrica e o solo podem ser entendidos sob dois cenários: *intensidade das chuvas vs. capacidade máxima do solo sob diferentes precipitações pluviométricas*. Assim, crê-se que os eventos extremos de precipitação contribuirão em larga escala para a erodibilidade dos solos, reduzindo as áreas destinadas aos mais variados usos da terra.

Mesmo o Brasil sendo um país de proporções continentais e com extensas áreas aráveis, os estudos destinados ao levantamento hidrossedimentológico em bacias hidrográficas ainda é escasso. Análises direcionadas ao estudo hidrossedimentológico em megaparcels de solo despontam atualmente em estados brasileiros com forte potencial agrícola, como Rio Grande do Sul e Paraná, visando, entre outros objetivos, compreender a dinâmica pluviométrica sob diferentes usos e manejos do solo na escala da propriedade.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo geral**

Dado o panorama exposto, a presente tese tem por objetivo avaliar a dinâmica climática regional de municípios localizados na Região Geográfica Intermediária de Londrina por meio de diferentes metodologias de monitoramento e mensurar a influência da precipitação pluviométrica diária, mensal e anual na erosão dos solos dispostos em megaparcels nesta região.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Identificar os valores pluviométricos potencialmente iniciais à erosão dos solos;
- Analisar características físico-químicas dos solos após os eventos extremos de precipitação;

- Quantificar a perda de solo durante diferentes eventos de precipitação;
- Elaborar materiais cartográficos que auxiliem tomadores de decisão no planejamento de uso e manejo dos solos nos municípios na Região Geográfica Intermediária de Londrina.

## **1.2. Problema, justificativa e hipóteses**

Os estudos voltados para a abordagem hidrossedimentológica em megaparcels são relativamente novos. Sendo assim, pesquisas direcionadas ao monitoramento climático muito podem contribuir para a interpretação e entendimento do comportamento dos sedimentos do solo frente às diferentes intensidades pluviométricas e, conseqüentemente, na manutenção de focos erosivos e na potencialidade agrícola da terra.

A falta do manejo conservacionista do solo tende a minar não apenas a capacidade de uso da terra, mas também leva ao empobrecimento de atributos físico-químicos dos solos que, em longo prazo, pode certamente tornar a terra imprópria para o cultivo. Como destacado por Minella (2016), a erosão hídrica no Brasil é o principal mecanismo de degradação dos solos, com estimativas de perdas econômicas por volta de R\$8 bilhões/ano, em um total absoluto de 847.000.000 t/ano.

Assim, o presente trabalho também busca divulgar à comunidade a resposta hidrossedimentológica dos solos da Fazenda Santa Cândida dispostos em megaparcels, localizada no município de Cambé/PR, pois pode servir como parâmetro para análises futuras.

Em linhas gerais, o termo megaparcels ganhou impulso ao final do século XX, nos Estados Unidos, divulgado por pesquisadores que visavam compreender a variabilidade hidrossedimentológica na escala da propriedade. No Brasil, pesquisadores das Universidades Federal de Santa Maria, Federal do Rio Grande do Sul e Estadual do Rio Grande do Sul foram os pioneiros na aplicação desta temática.

Não há um consenso com relação as medidas exatas de uma megaparcels. Mas, observa-se em trabalhos já publicados (DEUSCHELE, 2016; DIDONE et al. 2020) que as medidas variam de 0,5 ha a 3,5 ha, constituindo uma amostra significativa das características morfológicas da propriedade rural.

A principal hipótese levantada no presente estudo é de que haverá uma diferenciação sedimentológica frente à diferentes intensidades pluviométricas e altura das lâminas d'água para os sedimentos nas megaparcels. Acredita-se que na megaparcels onde foram aplicadas técnicas de manejo, como terraceamento e curva de nível, dispõe de menor concentração de sedimentos por amostra, tanto para eventos de precipitação habituais ou extremos, se comparada àquelas onde não há prática alguma de manejo conservacionista do solo.

### 1.3. Estrutura da tese

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos, sendo o **primeiro** destinado à introdução. O **segundo** elucida a fundamentação teórica utilizada no estudo, trazendo as principais abordagens, aplicações e conceituações acerca da hidrossedimentologia no estudo da água e do solo. Este capítulo conta ainda com uma discussão sobre a Climatologia Geográfica, campo da ciência geográfica destinado a discutir as relações e impactos dos elementos e fatores climáticos sobre a sociedade e suas atividades. Para tanto, serão abordadas as escalas do clima e a importância de sua delimitação visando um melhor entendimento dos fenômenos climáticos em escala regional e local.

O **terceiro capítulo** detalha os materiais e métodos utilizados nesse estudo, a caracterização dos elementos do meio físico da área de estudo: relevo, material de origem, solos e hidrografia. Esse capítulo conta ainda com a descrição das ferramentas de monitoramento climático utilizadas, como o *Standardized Precipitation Index (SPI)*, técnica dos percentis, testes de tendência (Mann Kendall e Curvatura de Sen) e indicadores climáticos voltados à análise dos extremos de precipitação, com apoio do software RClimdex 1.0 (ZHANG e FENG, 2004). No término deste capítulo é explicitada a metodologia do monitoramento hidrossedimentológico nas megaparcels.

No **quarto capítulo** são apresentadas as discussões e resultados e, por fim, o **quinto capítulo** apresenta as considerações finais, dificuldades metodológicas encontradas durante a tese e sugestões para estudos futuros.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Destaca-se como bases conceituais adotadas nesta fundamentação teórica as premissas de Monteiro (1991) e Ribeiro (1993) para a delimitação das escalas geográficas do clima. Wischmeier e Smith (1978), Guerra *et al.* (1999) e Beuselinck *et al.* (2002) para o estudo da erosão hídrica. Merten *et al.* (2013) para estudo da erosão no estado do Paraná. Para o âmbito da caracterização hidrossedimentológica menciona-se Arnold *et al.* (1998), Minella *et al.* (2007) e Carvalho (2008). E cita-se Köppen (1901), Zhang e Feng (2004), Pell *et al.* (2007), Dubreuil *et al.* (2017), Ely e Fortin (2019) e Salton (2019) no tocante à temática do monitoramento climático.

### 2.1. Escalas do clima

Entender a origem e atuação dos fenômenos da natureza sempre instigou as populações, desde o surgimento dos primeiros hominídeos até os dias atuais. É justamente a complexidade que a natureza expõe para o ser humano (mesmo o ser humano sendo natureza) que a busca por respostas faz da ciência algo tão interessante.

A natureza teve sua ressignificação a partir da atuação constante e maciça do ser humano, que age intencionalmente sobre os elementos naturais para melhorar suas condições de sobrevivência. Assim, com a presença do ser humano sobre a Terra, a natureza está sempre sendo redescoberta, desde o fim de sua história natural e a criação da natureza social, ao desencantamento do mundo, com a passagem de uma ordem vital a uma ordem racional (SANTOS, 1992).

Uma vez figurada a natureza social, as populações passaram a observar os elementos da natureza de forma pormenorizada, justamente para compreender sua razão de existência e aprimorar sua capacidade de domínio. Com isso, os elementos e fatores climáticos começaram a ser observados e registrados pela sociedade, ainda que por princípios místicos e/ou religiosos, por entender que seriam determinantes no desenvolvimento de espécies animais e vegetais.

A concepção mágica de natureza possui um amplo espectro temporal, iniciada pelo homem pré-histórico e observada ainda hoje. Assim, nessa concepção a natureza era resultado de uma ação sobrenatural que iria além das possibilidades do homem social.

A natureza mística do período pré-histórico se relacionava ainda diretamente com a mentalidade e preceitos religiosos, materializado em muitos casos pelas formas humanas, no chamado antropomorfismo. Com isso, eventos climáticos “sobrenaturais” como chuva, neve e trovões eram atribuídos a essas figuras místicas e divinas.

Para Moraes (1999), a ruptura do pensamento místico/religioso da natureza para uma concepção racional e filosófica se deu, em definitivo, na Grécia no século VI a.C., justificada pela maior dinamicidade econômica baseada no comércio.

A busca pela racionalidade científica e pensamentos filosóficos para explicar os fatos da natureza na Grécia Antiga muito se deve aos estudiosos da Escola de Mileto, tendo como grande expoente Tales de Mileto. Ainda que Sócrates e Aristóteles tenham produzido suas análises posteriormente, Tales de Mileto revolucionou a Grécia Antiga fomentando a racionalidade científica voltada, especialmente, para decifrar as incógnitas tangentes à natureza, principalmente com relação a água, chuva e força dos ventos.

A visão moderna de natureza data do final do século XVIII (MORAES, 1999; ELY, 2006), ainda que Copérnico tenha no século XV dado um salto científico ao defender a teoria geocêntrica. Mas foi, efetivamente, no século XVIII que a Geografia passou a observar a natureza como objeto de estudo e por meio de um método concebido pelos estudos de Ritter, Hegel e Humboldt na atual Alemanha.

Não se pretende neste estudo destrinchar as concepções estética e filosóficas empregadas no conceito de natureza, fundamentais para a construção das bases teórico-metodológicas da ciência geográfica de escola alemã. Para tanto, cita-se os trabalhos de Suertegaray e Nunes (2001), Ely (2006), Springer (2009), Vitte e Silveira (2010) e Vitte *et al.* (2012). Porém, faz-se um destaque para a construção da Climatologia como um ramo científico que tem a natureza como objeto de estudo e por ela (ou a partir dela) se configura como fundamental para compreender o clima dos lugares.

É sabido que Alexander von Humboldt teve significativa importância na consolidação da Geografia como ciência. Porém, pouco se sabe que este naturalista foi determinante para os estudos climáticos na Prússia, atual Alemanha, na segunda metade do século XVIII.

Em sua publicação *Quadros da natureza* (1950, trad. Assis Carvalho), Humboldt em seus estudos climatológicos identificou e mapeou correntes marítimas, mediu e monitorou pluviosidades, temperaturas do ar e da água, mediu, além de elaborar teorias acerca das relações entre temperatura, umidade do ar e pressão atmosférica



(SPRINGER, 2009). Ainda observou a estreita relação entre as massas de ar presentes no continente africano e sua relação com longos períodos de seca, destacando que:

[...] a configuração do solo africano em grande parte de sua área perpassa pela relação das massas continentais atuantes, produzindo longos períodos de seca em vastas áreas, impossibilitando o surgimento e manutenção da vida. É preciso ressaltar que os ventos quentes, a falta de rios caudalosos e de extensas áreas densamente vegetadas impossibilitam a criação de um clima úmido e fresco (HUMBOLDT, 1950, p.13, trad. Assis Carvalho).

Assim, acredita-se que atuação dos diferentes elementos e fatores climáticos, enquanto variáveis quali-quantitativas podem interferir na condição de vida de um povo, apresentando reflexos em âmbitos econômicos, sociais, culturais, ambientais, entre outros, como já discutido em larga escala em estudos consagrados (SORRE, 1952; AYOADE, 1996; TROPMAIR, 2004; TADDEI, 2006; MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

A Climatologia emerge das bases conceituais construídas pela Meteorologia, esta última responsável por estudar os processos e fenômenos da atmosfera, registrando, medindo e armazenando suas variáveis e condições físicas de formação em uma escala temporal.

A escala temporal se configura tanto para a Meteorologia como para a Climatologia como atributo de significativa importância para interpretação da dinâmica atmosférica. Para tanto, o *tempo* é entendido como a soma da ação concomitante de variáveis atmosféricas em um limitado e curto período temporal. Já o *clima* é definido como um período variando de meses a milhares ou milhões de anos (IPCC, 2019), que de forma clássica, trata-se de um período de 30 anos, como já proposto pela Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2012).

Tendo observado que os conhecimentos climáticos seriam de grande valia para compreender a influência da dinâmica atmosférica na vida em sociedade, um variado rol de cientistas propôs novas abordagens para analisar o fenômeno climático, como por exemplo, por meio das concepções teórico-metodológicas de Julius Hann, Max Sorre, Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, entre outros.

Neste sentido, Sorre (1957) trouxe para a ciência climatológica a ideia da climatologia dinâmica, entendendo que é possível observar o ambiente atmosférico por meio de uma configuração habitual do tempo em uma sucessão habitual (ritmo, gênese, duração, intensidade, velocidade e frequência) em determinado lugar, suprimindo a perspectiva dominante de que o clima seria a atuação de fenômenos meteorológicos que

caracterizam o estado médio da atmosfera em um ponto da superfície terrestre (HANN, 1882).

A análise rítmica, portanto, consiste na representação do ritmo climático por meio de gráficos compostos por longas faixas de representação diária de todos os atributos atmosféricos mensuráveis e concomitantes sobre um lugar, acompanhados da informação sobre o sistema meteorológico atuante em cada dia (MONTEIRO, 1976).

A disposição do registro dos elementos, fatores e fenômenos climáticos na análise rítmica se mostra como uma potente ferramenta de análise climática temporo-espacial, justamente por propiciar a observação da variabilidade do clima em sucessão diária, destacando os “anos padrão”/“ritmo habitual”, além da gênese e da dinâmica atmosférica na área estudada.

A concepção de sucessão dos tipos de tempo, ritmo e duração de Sorre (1952) aliados aos estudos de análise rítmica de Monteiro (1971) constituíram as bases teórico-metodológicas da Climatologia Geográfica brasileira. Assim, a análise rítmica é moldada no mapeamento da sucessão do tempo atmosférico, portanto, da própria dinâmica atmosférica, possuindo um caráter eminentemente geográfico (MONTEIRO, 1971).

A Climatologia Geográfica brasileira vem utilizando a análise rítmica como metodologia de pesquisa desde a década de 1940 (ZAVATINI, 2002), sendo complementada nos últimos anos com a análise dos dados climáticos tratados estatisticamente para uma determinada escala espacial, visando o estabelecimento de Medidas de Tendência Central e Dispersão e dos cálculos de Regressão e Correlação Linear Simples (ELY, 2006).

Em linhas gerais, a escala é uma referência de valor ou recorte espacial arbitrada segundo critérios que interessam à compreensão de um fenômeno e que nas ciências atmosféricas está relacionada ao comportamento da atmosfera de um lugar; portanto orientada no sentido da compreensão de sua extensão (espaço) e de sua duração (tempo) (RIBEIRO, 1993; MONTEIRO, 1999).

Como descrito por Ribeiro (1993):

O fenômeno climático é constituído por um conjunto de elementos de naturezas diversas e que convivem ao mesmo tempo no mesmo espaço, em regime de trocas energéticas recíprocas e interdependentes. Por isso, a sua abstração racional exige um referencial escalar com possibilidades metodológicas, isto é, uma escala taxonômica como parte da própria metodologia da pesquisa climatológica. A cada nível escalar deve corresponder uma abordagem específica, no sentido da coerência entre extensão e duração do fenômeno climático com as técnicas analíticas, desde a

obtenção dos dados, passando pelo seu tratamento estatístico – matemático, até a sua apresentação gráfica e cartográfica (RIBEIRO, 1993, p. 01).

Para Sant’Anna Neto (2001) as escalas do clima não devem ser entendidas apenas como as dimensões temporo-espaciais nas quais os elementos climáticos se manifestam, mas, sim, como processos dinâmicos dotados de atributos altamente sensíveis aos ritmos, variações e alterações de todas as forças terrestres, atmosféricas e cósmicas que, de alguma forma, exercem ou provocam qualquer tipo de interferência no sistema climático.

O clima entendido como resultado das conexões dinâmicas entre superfície terrestre, atmosfera e grandezas espaciais, tem o homem como agente formador e transformador de diferentes tipos climáticos (ELY, 2006), possibilitando observar sua influência e poder de ação em diferentes escalas espaciais (global, regional, local) e temporais (diário, mensal, anual, sazonal).

A relação entre as escalas espaciais e temporais do clima é intrínseca, mas precisa ser entendida em sua totalidade para que se possa observar o ponto de convergência entre elas. Na escala temporal, por exemplo, a manifestação dos processos climáticos está atrelada à noção de *tempo*, seja um tempo longo ou curto. O tempo longo é definido pela escala geológica de processos que duram milhares ou milhões de anos, modificando os climas do planeta (global) (BRANDÃO, 1996; SANT’ANNA NETO, 2001). Já o tempo curto compreende a atuação climática associada à presença do homem enquanto agente social e modificador do espaço (regional e local).

Ressalta-se que há direta congruência entre o tempo longo e o tempo curto, uma vez que a dinâmica climática local contribui para a consolidação de uma dinâmica climática global e vice-versa.

Ayoade (1988) e Ribeiro (1993), visando sistematizar as escalas globais, regionais e locais do clima em dimensões espaciais, propuseram três níveis interativos para basear as unidades taxonômicas, sendo eles o nível macroclimático, mesoclimático e o microclimático. O nível macroclimático se refere à escala global, tratando-se da interação entre a curvatura da Terra e os seus movimentos de rotação e translação, possibilitando a regionalização dos climas gerais do Planeta.

A abordagem mesoclimática deve compreender a troca de energia disponível (para o processo de evaporação e de geração de campos de pressão) e as feições do meio terrestre, sendo direcionada ao estudo do clima em áreas relativamente pequenas, entre 10 a 100 km de largura, por exemplo, o estudo do clima urbano e dos sistemas

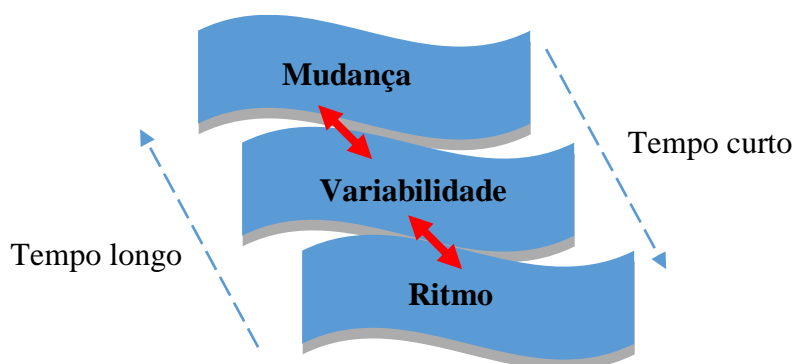
climáticos locais extremos tais como tornados e tempestades. Desta forma, a abordagem mesoclimática será utilizada para a observação, mensuração e caracterização climática da Região Geográfica Intermediária de Londrina no presente estudo.

No nível microclimático tem-se a interação entre os sistemas ambientais particulares na modificação dos fluxos de energia, podendo abarcar os estudos do clima próximo à superfície ou de áreas muito pequenas, com menos de 100 metros de extensão, nível este utilizado para a observação, mensuração e caracterização climática das megaparcelsas dispostas na Fazenda Santa Cândida, em Cambé/PR.

Como apresentado por Ribeiro (1993), o nível microclimático contempla a microrrugosidade, a cor e a textura das superfícies, aliadas aos abrigos dispostos junto ao solo, como as edificações e a vegetação constituem-se nos elementos que promovem a diferenciação na magnitude das trocas energéticas e gasosas que irão, por sua vez, modificar o comportamento do ar circundante o que, em linhas gerais, contempla o objeto de estudo da presente tese.

Visando destacar a integração entre o tempo longo e tempo curto, Sant'Anna Neto (2001) indica que três conceitos são essenciais para a compreensão dos processos climáticos, sendo eles mudança, variabilidade e ritmo (Figura 1).

**Figura 1.** Escalas geográficas do clima (tempo longo e tempo curto).



**Fonte:** Sant'Anna Neto (2001).

**Org:** Gomes Junior (2018).

A mudança climática está relacionada às variações persistentes por longos períodos (tempo longo), da ordem de décadas ou centenas de anos identificadas por meio de variações na média aritmética e/ou em outras medidas, independentes de suas causas (IPCC, 2007), como por exemplo o início de eras glaciais.

Assim, a noção de mudança climática engloba as escalas mais superiores (globais), sendo caracterizada pela atuação de processos endógenos como atividade

vulcânica constante ou exógenos, como alteração na órbita terrestre ou na emissão de radiação solar. Ribeiro (1993) indica que nesta escala há uma maior dependência da radiação solar extraterrestre, dependência essa que diminui ao se aproximar das escalas mais inferiores, como as locais.

Para Monteiro (1999), a escala superior (global) está inserida em um recorte espacial de influência que supera os milhões de km<sup>2</sup>, direcionado aos processos endógenos e exógenos de grande magnitude. Sant'Anna Neto (2001) inclui nesta escala os grandes conjuntos de paisagens planetárias, massas oceânicas e continentais e cadeias montanhosas.

A dimensão da variabilidade climática engloba fenômenos de magnitude regional (centenas ou milhares de km<sup>2</sup>), relacionados principalmente ao dipolo atmosfera terrestre-oceano. Para Blain (2010), os oceanos têm papel fundamental na variabilidade climática devido à alteração da temperatura das águas superficiais, como observado em anos de ocorrência de El-Niño na América do Sul e da Oscilação Decadal do Pacífico. Em áreas continentais, a variabilidade climática pode ser observada pela influência da continentalidade nas variações diárias e sazonais e das influências dos grandes conjuntos vegetacionais ou antrópicos (como as grandes áreas de monocultura ou pecuária) (SANT'ANNA NETO, 2001).

De grande significância para a Climatologia Geográfica, o ritmo climático passa a ser a escala de compreensão dos fenômenos locais (clima local e microclima). Uma das justificativas dessa escala ser tão representativa para a Climatologia Geográfica se dá pela efetiva atuação do homem em seu arranjo econômico, social e cultural em unidades espaciais bem menores que as globais e inseridas nas regionais e, com isso, há uma articulação dos fenômenos atmosféricos ao cotidiano da vida humana.

A noção de ritmo climático e suas possibilidades de aplicação no estudo da Climatologia Geográfica podem ser encontradas nos trabalhos de Monteiro (1969, 1971), Tarifa (2001), Zavattini (2005) e Sant'Anna Neto (2008).

Zavattini (2005) e Ogashawara (2012) propõem metodologias para o estudo dos fenômenos climáticos na escala do ritmo e sugerem que este tenha como escopo de observação em nível diário e horário para que seja possível observar e compreender a contínua sucessão dos estados atmosféricos e, assim, caracterizar os tipos de tempo sobre um determinado lugar.

Os tipos de tempo observados nas escalas inferiores (clima local e microclima) podem ser menores do que dezenas de km<sup>2</sup> (SANT'ANNA NETO, 2001). Com isso,

pesquisas voltadas para estudos de padrões de uso do solo, expansão territorial urbana, ritmos socioeconômicos, de gênese majoritariamente antrópica podem adotar, no âmbito da Climatologia Geográfica, a escala espacial local (Tabela 1):

**Tabela 1.** Articulação das escalas geográficas do clima.

<b>Nível de resolução geográfica</b>	<b>Escala espacial</b>	<b>Escala temporal</b>	<b>Gênese dos processos (não excludente)</b>	<b>Processos explicativos</b>
Generalização	Global	Mudança climática	Geológica e cósmica	Movimentos astronômicos, glaciações, vulcanismo, tectônica de placas
Organização	Regional	Variabilidade climática	Geológica e antrópica	Sazonalidade dos fenômenos climáticos, transformações das paisagens (desmatamento, poluição, urbanização, arenização)
Especialização	Local	Ritmo climático	Antrópica	Uso do solo, criação de malhas urbanas, ritmo socioeconômico

**Org.** Gomes Junior (2018), adaptado de Monteiro (1999).

É importante observar que os processos climáticos ocorrem em diferentes escalas temporais, manifestando-se em todas as escalas espaciais. E, neste sentido, o grande desafio da ciência climatológica é identificar e mensurar o impacto dos fenômenos climáticos que ocorrem em escala local e seus desdobramentos em escala global. Desta forma, destaca-se que o presente estudo está situado em escala regional observando a atuação dos fenômenos climáticos, com foco na precipitação, na variabilidade climática da Região Geográfica Intermediária de Londrina e seus desdobramentos em escala local.

## **2.2. Monitoramento climático**

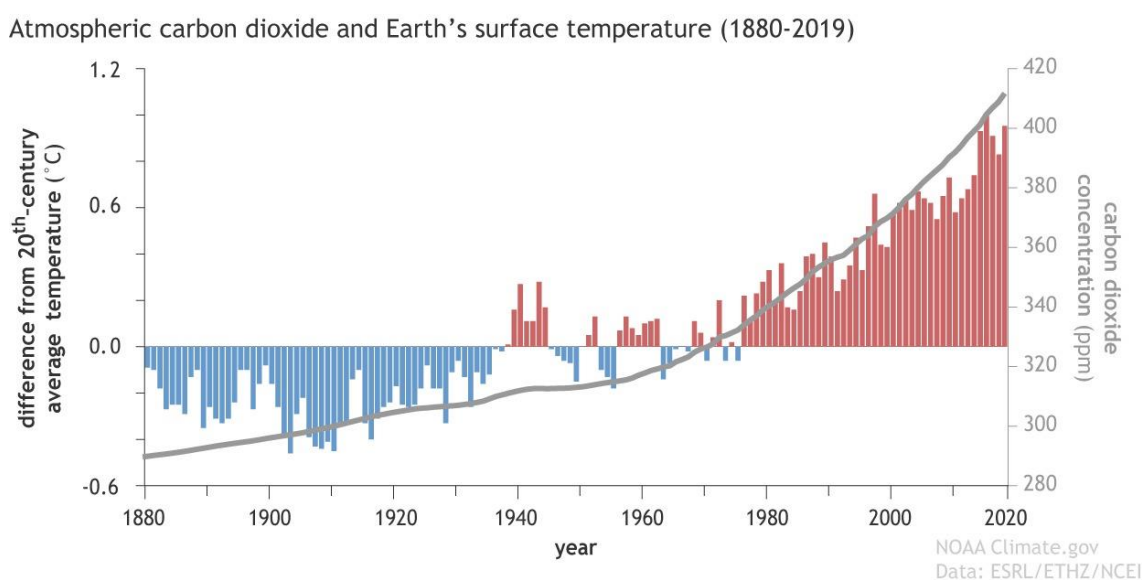
Tratando-se de um dos principais temas de pesquisa da Meteorologia, o monitoramento climático também passou a ter grande repercussão na ciência geográfica, particularmente sob duas óticas: da previsão de perturbações nos elementos climáticos e da elaboração de planos de ação para os tomadores de decisões, uma vez instaurada a perturbação. E, direcionado ao objeto de estudo desta pesquisa, a

perturbação climática se relaciona às alterações na frequência e intensidade das chuvas, assim como discutido por Adachi *et al.* (2017).

Uma vez compreendido o ritmo climático e a ideia de perturbações em escalas temporais, o homem enquanto agente modificador do espaço geográfico adapta a agricultura às suas necessidades. Essa adaptação permite que a mercantilização da agricultura se torne objeto de negociação entre nações e estopins para guerras. Nesse sentido, o monitoramento climático no século XXI possibilita novos produtos e ferramentas que, combinados com a ação internacional, permite que cientistas em todo o mundo forneçam melhores informações aos tomadores de decisões dos governos e setores privados, mais rapidamente do que em qualquer outra época no passado (WANG *et al.*, 2008).

Em um cenário nacional no qual os eventos de precipitação pluviométrica de alta intensidade se tornam mais frequentes (MARENGO, 2006; MACHADO *et al.* 2014), dados divulgados no primeiro trimestre de 2016 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), pela Administração Nacional dos Oceanos e Atmosfera dos Estados Unidos (NOAA) e pela Agência Meteorológica do Japão indicaram uma mudança significativa na temperatura global, demonstrando que os primeiros 15 anos do século XXI estão entre os mais quentes desde o início da mensuração, iniciada no final do século XIX (Figura 2).

**Figura 2.** Temperatura (°C) e concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub> ppm) na atmosfera terrestre.

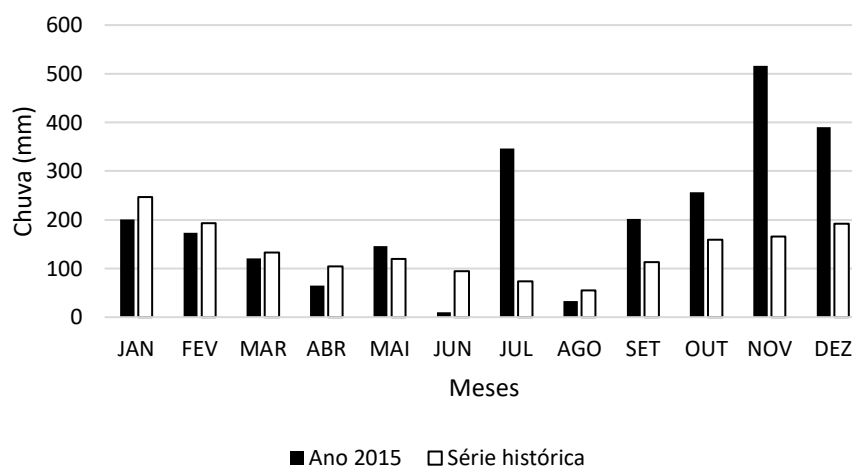


**Fonte:** Diamond (2019), adaptado por NOAA (2019).

Temperatura e precipitação, inseridos no grande contexto do clima, constituem variáveis quantitativas de suma importância para estudos que buscam estimar os impactos dos eventos climáticos na sociedade, nos ecossistemas e nos recursos naturais (MORGAN, 2005). A alteração na temperatura global tem impacto direto em diferentes partes do mundo, a exemplo da América do Sul (CEPAL, 2015), Brasil (DUBREUIL *et al.*, 2018) ou no estado do Paraná (SILVA e GUETTER, 2003). Sem causas ainda conhecidas - embora haja um consenso científico pautado por variáveis astronômicas, geológicas, oceanográficas e meteorológicas - fenômenos como o El-Niño e La-Niña constituem, também, agentes interferentes na variabilidade da temperatura e da precipitação continental.

A exemplo dos impactos de eventos extremos de precipitação cita-se os ocorridos no município de Londrina/PR nos anos de 2015 e 2016 (IAPAR, 2016). Em 2015, os meses de maio e julho (este último geralmente mais seco) bateram recordes de precipitação (IAPAR, 2015), além do excesso de chuvas na primavera e verão deste mesmo ano (Figura 3). Janeiro de 2016 apresentou um novo recorde de precipitação, ultrapassando os 400 mm/mês (Figura 4). Em maio do mesmo ano os indicadores apontaram precipitação mensal acima dos 250 mm (IAPAR, 2016).

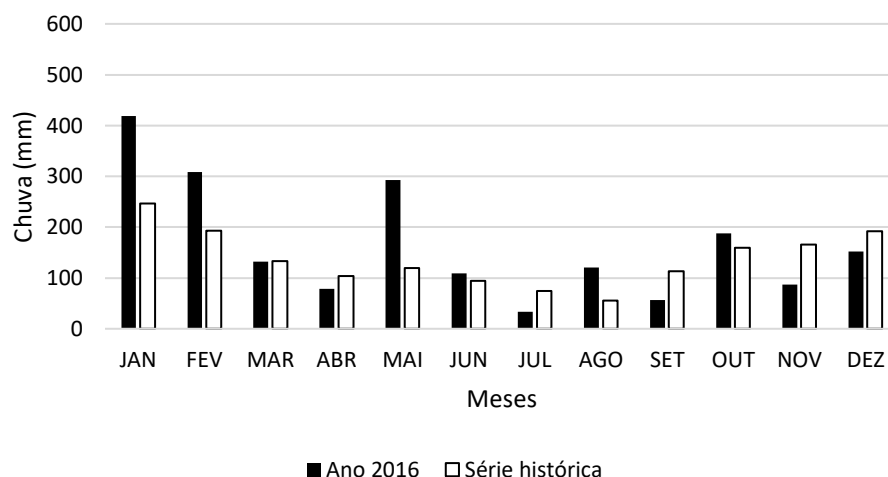
**Figura 3.** Precipitação mensal em 2015 e durante a série histórica de 1987-2018 para Londrina.



**Fonte:** IAPAR (2015), Águas Paraná (2018).  
**Org.** pelo autor.



**Figura 4.** Precipitação mensal em 2016 e durante a série histórica de 1987-2018 para Londrina.



**Fonte:** IAPAR (2015), Águas Paraná (2018).  
**Org.** pelo autor.

Como destacado por Vacario e Machado (2019), as últimas seis décadas marcam um aumento nos eventos de inundações e alagamentos em Londrina, fazendo com que eventos de precipitação interfiram em algum grau em áreas urbanas e rurais. Tem-se, portanto, que a avaliação dos impactos sobre a perda de solos em áreas rurais é um dos motivos para o desenvolvimento dessa tese.

Eventos de chuva influenciam diretamente na perda de solo que, por sua vez, carregam os sedimentos por meio das enxurradas para os cursos hídricos, tendo como resultado deslizamento de massa, assoreamento de rios e perda da produtividade agrícola e potencialidade do solo. Um dos grandes desafios para os cientistas do solo e hidrossedimentólogos é ainda a investigação da conectividade entre as etapas da transferência de sedimentos da vertente até o canal fluvial (WALLING, 2005).

A temperatura do ar, umidade e precipitação são alguns dos elementos climáticos comumente integrados em estudos de monitoramento climático, tendo em vista sua ampla influência em ambientes urbanos e rurais. Assim, o objetivo do monitoramento climático é a medição das variáveis climáticas em uma determinada escala espaço temporal que possa fornecer informações necessárias para o planejamento e permitir a geração de produtos cartográficos interpretativos (mapas, gráficos, tabelas) que expressem valores mínimos, máximos ou médios.

Com relação ao monitoramento da temperatura do ar, o descobrimento do potencial destrutor dos gases de efeito estufa por diversos pesquisadores (CHILINGAR *et al.*, 2008; RANVEER *et al.*, 2015; DARKWAH *et al.*, 2018) intensificou as medições

diárias dos dados, visando entender a ocorrência do clima atual e, com isso, fomentando a criação de um banco de dados direcionado ao monitoramento climático. Contudo, estudos relacionando às atividades humanas e seus impactos na atmosfera terrestre tiveram início apenas na década de 1950 (BRASIL, 2008).

Ressalta-se que o balanço de gases de efeito estufa é fundamental para a existência de vida no Planeta Terra e que também se trata de um processo natural. Porém, o desequilíbrio de energia observado na Terra (HANSEN *et al.*, 2011; TRENBERTH *et al.*, 2014) tem criado ambientes que podem alterar a manutenção da vida. O balanço de energia pode ser alterado pelas seguintes formas (BRASIL, 2008):

- a) Mudança na quantidade de energia que chega à superfície terrestre;
- b) Mudança na órbita da Terra ou do próprio Sol;
- c) Mudança na quantidade de energia que chega à superfície terrestre e é refletida de volta ao espaço devido à presença de nuvens ou de partículas na atmosfera (também chamadas de aerossóis, que resultam de queimadas, por exemplo);
- d) Alteração na quantidade de energia de maiores comprimentos de onda refletida de volta ao espaço devido às mudanças na concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

Tendo em vista a comoção mundial com os gases de efeito estufa e a problemática acerca do aquecimento global modificando a temperatura terrestre, os estudos voltados para a análise da precipitação pluviométrica se intensificaram.

Desta forma, a precipitação desempenha um papel importante no ciclo global de energia e água. Seu monitoramento é de especial importância para a avaliação e gestão da água doce relacionada com o uso da terra, agricultura e hidrologia. Com isso, o alto interesse em análises da variabilidade da precipitação a longo prazo surge da necessidade de avaliar as mudanças climáticas e seus impactos em todas as escalas espaciais (SCHNEIDER *et al.* 2007).

Clarke e Dias (2003) mencionam a necessidade do Brasil ampliar o monitoramento climático em todas as suas regiões, principalmente no que diz respeito ao acompanhamento dos registros hidrológicos. Isto porque, para os autores, é necessário considerar separadamente os recursos de água superficial, na forma dos rios, lagos, reservatórios e várzeas e os recursos de água subterrânea que, por mais que sejam resultados da dinâmica dos processos atmosféricos e oceânicos, devem ter manejos específicos cada vez mais popularizados.

A simbiose entre a dinâmica atmosférica e oceânica rege a ordem climática global, dificultando o estudo destas duas esferas de maneira desassociada. Isso porque a temperatura da superfície do mar, por exemplo, é útil para monitorar eventos atmosférico-oceânicos como El Niño (ENOS) e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), além da quantificação e modelagem de muitos outros aspectos do clima, como acidificação oceânica, concentração de CO<sub>2</sub>, processos biofísicos e distribuições de organismos marinhos (BANZON *et al.*, 2016).

O presente estudo focará em literaturas onde o monitoramento climático tem sua aplicação no ambiente rural, onde a agricultura se fundamenta. Porém, estudos direcionados ao monitoramento climático em ambiente urbano podem ser encontrados em Monteiro (1976), Mendonça (1994, 2002 e 2004), Amorim (2000) e Fialho e Souza (2007), dentre outros.

Os níveis previstos da mudança climática global terão implicações nos sistemas sensíveis ao clima, como a silvicultura, outros recursos naturais e a agricultura. No que diz respeito à agricultura, o monitoramento nas mudanças da temperatura, precipitação e radiação solar permite ao pesquisador inferir sobre a produtividade da cultura e da produção, incluindo mudanças na lucratividade agrícola, preços, oferta, demanda e comércio (KAISER *et al.* 1993).

Minella (2016) destaca que o monitoramento climático voltado à agricultura (agroclimático) permite demonstrar de maneira mais efetiva a magnitude dos possíveis problemas nas lavouras de forma menos intuitiva. Com isso, a quantificação dos custos, seja para medidas paliativas ou para recuperação de possíveis áreas degradadas, ajuda na justificação dos investimentos, uma vez pautados no monitoramento climático durante uma escala temporal pertinente.

Inserido no contexto das práticas agroclimáticas, o monitoramento climático tem contribuído desde o plantio até o beneficiamento. Silva *et al.* (2003) destacam que o monitoramento da temperatura do ar, da precipitação pluviométrica e da umidade relativa tem contribuído no controle da água nas lavouras, permitindo uma irrigação comedida e um manejo racional das culturas.

Com o advento da tecnologia e seus subprodutos, o monitoramento climático ganhou uma nova roupagem, permitindo o armazenamento dos dados em ambiente digital e a aplicação de modelos e métodos estatístico-matemáticos de forma menos onerosa, agilizando a geração de dados e permitindo a aplicação de modelos de tendências climáticas globais.

Destaca-se neste contexto que o monitoramento climático via satélite, iniciado na década de 1960, tornou-se instrumento fundamental na identificação dos diferentes eventos de grande escala que agem em conjunto com o oceano e a atmosfera terrestre, auxiliando inclusive na análise rítmica em conjunto com as cartas sinóticas de superfície (ROSEGHINI, 2007).

Com a proposta de integração das estações meteorológicas automáticas no Brasil como forma de monitoramento climático em tempo real tem ganhado destaque com a consolidação das redes de internet banda larga e redes de internet móveis (SILVA *et al.*, 2012; MAGNONI *et al.* 2012; LONDE *et al.* 2014). Assim, indicadores como a temperatura do ar, umidade, radiação solar e precipitação podem ser acompanhadas em tempo real e facilitar tomadas de decisões.

Ainda que o avanço tecnológico tenha trazido contribuições significativas para o monitoramento climático em nível global, Becher e Zimmermann (2013) mencionam que há significativos desafios a serem superados. Desta forma, baseadas no Guia de Práticas Climatológicas (OMM, 2011), as autoras citadas destacam as vantagens e desafios a serem observados no monitoramento climático contemporâneo (Tabela 2).

**Tabela 2.** Vantagens e desafios do monitoramento climático contemporâneo.

<b>Vantagens</b>	<b>Desafios</b>
Fornecer dados para a previsão da mudança climática e, portanto, para uma previsão e planejamento eficaz a longo prazo.	Preparação e disseminação de informações para usuários e tomadores de decisão.
Os dados são um fator-chave para a construção de infraestrutura e agricultura (curto e longo prazo).	Fechar a lacuna entre a previsão do clima e ação política.
Ferramenta poderosa na gestão de risco de desastres, principalmente sobre prevenção de desastres e redução de riscos.	Altas diferenças de preço, como alguns métodos são baseados em tecnologia altamente sofisticada.
Informação climática para negociações internacionais e acordos	O controle de qualidade dos dados deve ser feito regularmente.

**Fonte:** Becher e Zimmermann (2013, p.02).

**Org.:** Gomes Junior (2018).

Iniciativas são tomadas ao redor do mundo para popularizar o monitoramento climático como ferramenta mitigadora de desastres naturais. Um exemplo está no projeto *Expert Team* (ET) da Comissão de Climatologia (CCI) do Serviço Nacional Meteorológico e Hidrológico (NMHS) dos Estados Unidos, China e Suíça e demais

países associados. Fomentado pela Organização Mundial Meteorológica (OMM), o objetivo deste projeto é “promover a capacidade dos países ao redor do mundo em monitorar o clima por meio do fornecimento de materiais de treinamento e o compartilhamento de resultados operacionais entre pesquisadores, centros de pesquisa e universidades ao redor do globo” (WANG *et al.* 2014).

Nesta direção, para obter uma perspectiva sobre as tendências de mudanças climáticas em escala global, a equipe conjunta de Detecção e Índices de Mudanças Climáticas (ETCCDI) estipulou um conjunto com 27 índices climáticos que permitem analisar variações na temperatura e na precipitação. Inserem-se na utilização destes índices climáticos os trabalhos de Zhang e Yang (2004), Karl *et al.* (2009), Silva *et al.* (2015) e Ely e Fortin (2019), dentre outros.

Os extremos de precipitação ainda podem ser observados adotando a técnica dos percentis, que ordena os dados de precipitação diária e divide a amostra em 100 partes, cada uma com percentagem de dados aproximadamente igual (COSTA *et al.* 2015) e aplicados para o município de Londrina (SALTON, 2019), que está presente na área de estudo desta tese.

Vale ressaltar que consagrados índices de monitoramento climático como o *Standardized Streamflow Index* (SSI) (McKEE *et al.* 1993), *Palmer Drought Severity Index* (PDSI) (PALMER, 1965), *Surface Water Supply Index* (SWSI) (SHAFER e DEZMAN, 1982), *Crop Moisture Index* (CMI) (PALMER, 1965) e *Standardized Precipitation Index* (SPI) (McKEE *et al.* 1993) têm possibilitado o estudo da relação *clima x agricultura*.

No SPI, por exemplo, a precipitação é analisada durante um período de  $n$  meses, sob diferentes escalas temporais. Trata-se da padronização da precipitação baseada no desvio-padrão em relação à média, ajustados à distribuição gama, sendo classificado o valor que os desvios-padrões se afastam da média, variando de 2,00 ou acima para períodos extremamente úmidos e -2,00 e abaixo para períodos extremamente secos.

A seca é um dos incidentes climáticos mais difíceis, imponderáveis e incontrolláveis, assim como inundações e furacões (SEÇKIN; TOPÇU, 2016) e é classificada em três tipos: meteorológica, agrícola e hidrológica (WILHITE; GLANTZ, 1987), ambas de fundamental importância para propor um diagnóstico climático.

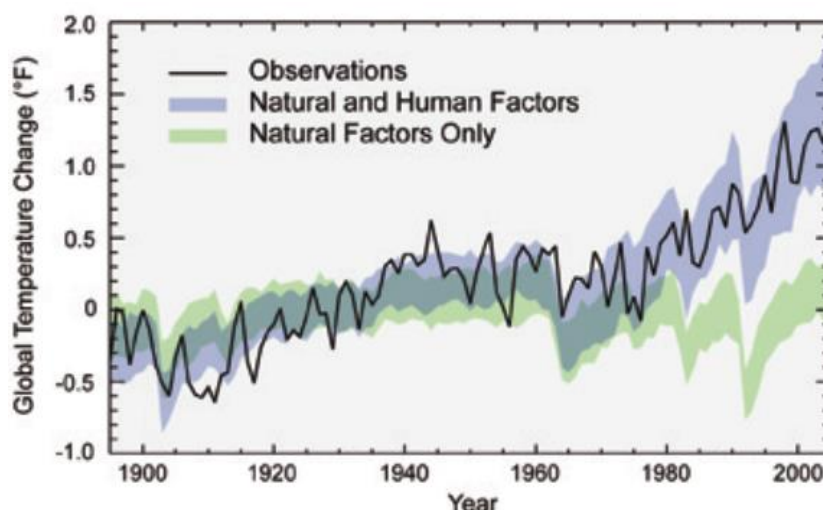
### 2.2.1. Panoramas climáticos atuais e projeções para o futuro

Já é sabido que, ao longo da existência do Planeta Terra, o clima varia constantemente. Essa constante mudança no padrão climático é resultado de oscilações orbitais, vulcanismo, nebulosidade e, em larga parcela, pela alteração na quantidade de radiação solar que chega à superfície terrestre.

As alterações históricas do clima na Terra ocorrem desde a exosfera com a chegada da radiação solar incidente até as profundezas dos mares e oceanos. Estas mudanças climáticas também alteram a localização e comportamento das espécies e o funcionamento dos ecossistemas.

Uma vez entendidas em conjunto, as alterações em nível global sinalizam que o planeta está aquecendo e, no último meio século, esse aquecimento tem sido impulsionado principalmente pela atividade humana (HATFIELD; PARKIN, 2014), explicitados na figura 5.

**Figura 5.** Contribuições naturais e antrópicas nas mudanças de temperatura ao longo dos anos.



**Fonte:** Huber e Knutti, 2012.

Como divulgado pelo 4<sup>a</sup> Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), é muito provável que o aumento nas temperaturas médias globais observado nos últimos 50 anos tenha sido causado principalmente pela geração antropogênica de gases de efeito estufa.

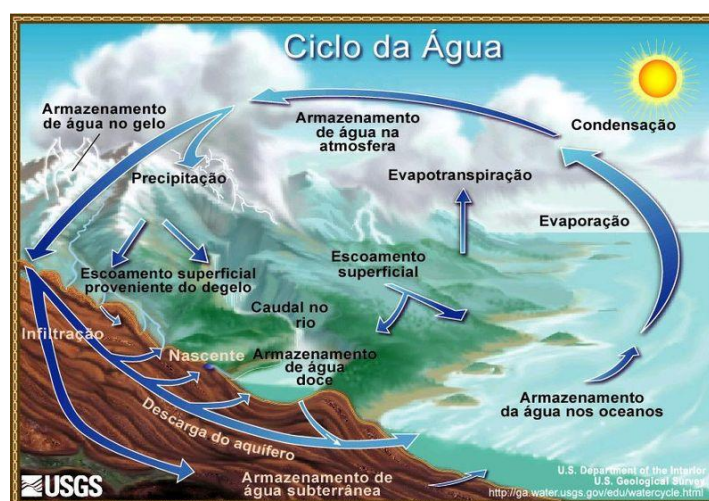
Uma mudança climática leva à variação na frequência, intensidade, extensão espacial, duração e tempo dos extremos climáticos. Para Marengo *et al.* (2014), a maior exposição de pessoas e ativos econômicos a essas mudanças têm sido a principal causa

dos aumentos de longo prazo nas perdas econômicas decorrentes de desastres relacionados ao clima. Além disso, os estudos indicam que, em muitas regiões do mundo, os fatores socioeconômicos estarão entre os principais propulsores de aumentos futuros nas perdas relacionadas (IPCC, 2007; MARENGO *et al.* 2014; HATFIELD e PARKIN, 2014).

As mudanças climáticas tendem a afetar a demanda de água no planeta, influenciando diretamente o ciclo hidrológico, seja nas áreas de captação de água subterrânea ou na recarga dos aquíferos livres e semiconfinados, alterando a dinâmica econômica, social e cultural da água no planeta.

O ciclo hidrológico é um fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação da Terra (SILVEIRA, 2004). Assim, a água circula constantemente da atmosfera em direção ao solo e aos oceanos, em uma relação cíclica (Figura 6).

**Figura 6.** Dinâmica geral do ciclo da água.



**Fonte:** Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), 2012.

Cabe ressaltar que o ciclo da água é dinâmico e naturalmente variável e as sociedades e ecossistemas funcionam adaptados à essa variabilidade (ELY; DUBREUIL, 2017). Entretanto, como descrito por Georgakakos *et al.* (2014), a mudança climática está alterando o ciclo da água de diversas maneiras, em diferentes escalas temporais e áreas geográficas, apresentando riscos e eventos inoportunos.

Dentre os eventos inoportunos cita-se a elevação do nível do mar e o aumento na recorrência dos eventos extremos de precipitação. Para Hatfield e Parkin (2014), a elevação do nível do mar causará conturbações econômicas em maior escala nas cidades costeiras, que deverão rearranjar seu sistema urbano.

Melillo e Yoke (2014) indicam que a mudança climática já afeta significativamente a população mundial, uma vez que os eventos extremos ligados a mudança se tornam cada vez mais frequentes ou intensos, como fortes ondas de calor, tempestades, inundações e secas prolongadas.

Na agricultura, os reflexos das mudanças climáticas aparecem na aptidão das áreas agrícolas, produção de alimentos ou ainda na capitalização das lavouras. Os rendimentos das safras e os estoques de reprodutores podem ser drasticamente reduzidos, resultando em aumento dos preços dos alimentos, escassez de alimentos, fome e, até mesmo, conflitos políticos. As perturbações do clima na produção agrícola aumentaram nos últimos 40 anos e prevê-se que aumentem nos próximos 25 anos. Após a segunda metade do século XXI esses impactos serão cada vez mais negativos na maioria das culturas e animais (HATFIELD e PARKIN, 2014).

O avanço da ocupação desordenada nas cidades, este atrelado a ordem desigual de construção das cidades apoiam-se nos processos oriundos da urbanização mal planejada resultam no impacto negativo junto aos recursos naturais, notadamente no solo, água, relevo e vegetação, sistema receptor das atividades agropecuárias.

Para Rossato (1993), o processo de urbanização ocorreu de forma acentuada no período pós-industrialização, gerando crescimento demográfico nos centros urbanos, igualmente acelerados pela forte migração rural, principalmente após a década de 1970 no Brasil, modificando a dinâmica agroindustrial local, regional e continental.

Em linhas gerais, muitos países na América do Sul não são resilientes estruturalmente para superar desastres relacionados ao clima (GOSLING; ARNELL, 2011; MARENGO *et al.* 2011; BARROS *et al.* 2014). As inundações repentinas e os deslizamentos de terra, devido às chuvas intensas afetam todo o continente e alteram as relações socioeconômicas, além das vidas humanas perdidas. Inundações sazonais e secas também afetaram regiões como a Amazônia, os Vales Andinos, a Bacia do Prata e o nordeste do Brasil e regiões da América Central, com enormes impactos nas economias nacionais e regionais (IPCC, 2012; MAGRIN *et al.* 2014, MARENGO *et al.* 2014).



Entre 1901 a 2012 na América Central e do Sul as temperaturas aumentaram entre 0,5 a 3°C, com os aumentos mais significativos na América do Sul tropical (MARENGO *et al.* 2016). Nas chuvas, os sinais mais consistentes são um aumento gradual da intensidade da precipitação no norte da América do Sul, bem como no nordeste do Brasil e na costa noroeste do Peru e do Equador (MARENGO *et al.* 2014).

Ao observar a sazonalidade da precipitação na América do Sul, Marengo *et al.* (2014) detectaram ampla variabilidade interanual no leste andino e no nordeste do Brasil, com uma ligeira diminuição desde os anos de 1970.

Como destacado por Marengo *et al.* (2014), as projeções de redução na precipitação podem ser resultado de águas mais quentes nos oceanos Atlântico e Pacífico, causando mudanças nos padrões de vento e no transporte de umidade na América do Sul. Isso poderia levar a grandes impactos econômicos no Brasil: mais de 70% da energia brasileira é derivada de fontes hidrelétricas (MARENGO *et al.* 2011).

O Brasil aqueceu cerca de 0,7°C nos últimos 50 anos, superior à melhor estimativa do aumento médio global de 0,64°C (IPCC, 2007). Em escala regional, como indicado por Sansigolo e Kayano (2010) há uma elevação de 0,5°C a 0,6°C na temperatura média do ar no Sul do Brasil; na região Amazônica o aumento significativo na temperatura do ar e a queda no percentual de chuvas causarão alterações alarmantes após 2040 (MARENGO *et al.* 2016).

Nesta direção, países agricultores como o Brasil deverão passar por reformulações em seus processos produtivos, adaptando-se às mudanças climáticas. Muitas regiões agrícolas experimentarão declínios em sua produção, assim como na pecuária, devido ao aumento do estresse causado por ervas daninhas, doenças, pragas de insetos e outros impactos induzidos pelas mudanças climáticas (PELLEGRINO *et al.* 2007; GHINI *et al.* 2008). A conexão entre as escalas climáticas globais, regionais e locais vem sendo palco de estudo de diversos pesquisadores ao redor do mundo (ORLANSKI, 1975; OKE, 1980; IPCC, 2007). Desta forma, as escalas climáticas locais, entendidas aqui como microclimáticas, possuem significativa importância em nível de propriedade, como na área de estudo do presente projeto.

Como descrito por Kingra e Kaur (2017), o microclima impacta diretamente nas imediações das plantas, sendo muito importante como regulador e nas reações fisiológicas dos vegetais e nos processos de troca de energia entre a planta e sua atmosfera circundante. A falta de elementos climáticos ideais leva a distúrbios nesses processos e resultam em uma diminuição indesejada da produtividade das culturas.

A radiação solar e a umidade do solo são grandezas diretamente unidas e são determinantes na escala microclimática. Isso porque a radiação solar é a principal fonte de energia para a evapotranspiração, que é controlada pelo microclima. E, a umidade do solo, é controlada pela radiação solar incidente (STIGTER, 2010).

Portanto, o estudo da dinâmica climática em microescala permite observar a interação dos atributos do meio físico em uma ótica detalhada, neste estudo, voltada para a interação entre solo e chuvas em um novo recorte espacial: as megaparcels.

### **2.3. Erosão hídrica**

O avanço desordenado das cidades e os processos oriundos da urbanização planejada de maneira inadequada, geralmente, resultam no impacto negativo junto aos recursos naturais, observados no solo, água, relevo e vegetação. Assim, difunde-se uma pressão político-econômica de suprir as necessidades da população humana que, por sua vez, acabam por romper com os ciclos naturais de energia do Planeta Terra (SILVA; MAGALHÃES, 1993).

Por possuir uma vocação justificável, o meio rural se torna o receptáculo da pressão político-econômica para geração de alimentos, tendo a capacidade de resiliência do solo comprometida, pois a produção de alimentos e matérias primas de forma intensiva e sem práticas adequadas de manejo do solo podem levar à degradação da fertilidade física, química e biológica, destruição da macro, meso e microfauna, além do comprometimento econômico e perda da capacidade de uso da terra para fins agrícolas (PERUSI, 2005).

São nos solos que as atividades humanas se desenvolvem, sob um aspecto de suporte e fonte de materiais para obras civis, meio para descarte de resíduos e armazenamento, filtragem de águas pluviais (PEDRON *et al.* 2004) e assim, compreender sua dinâmica de atuação permite destacar suas potencialidades e estimar suas limitações.

Em todo o mundo, cerca de  $12 \times 10^6$  ha de terras aráveis são destruídas e inutilizadas anualmente por causa de práticas agrícolas não sustentáveis (LAL e STEWART, 1990) e apenas cerca de  $1,5 \times 10^9$  ha de terras estão sendo cultivadas (WRI, 1992). Na China a erosão do solo provocada pela água afeta uma área de  $3,6 \times 10^6$  km<sup>2</sup>, o que representa aproximadamente 37% da área terrestre do país (NI *et al.* 2008).

Portanto, o manejo conservacionista dos solos tem se consolidado como uma importante área na Ciência do Solo, propondo a aplicação de técnicas edáficas, vegetativas e mecânicas para a sua utilização sustentável (MACHADO, 2010).

Com o entendimento da importância do manejo conservacionista do solo na Europa e nos Estados Unidos nas décadas de 1930 a 1950 (BENNETT, 1939; McDONALD, 1941; HELMS, 1991), o Brasil importou maquinário e mão-de-obra para atuação nas lavouras. Porém, as práticas foram, em muitos casos, adotadas em sua integralidade no território brasileiro. Não foram feitas adequações à realidade agroclimática e pedológica local, causando perda na produtividade agrícola e intensificando processos naturais, como a erosão.

A cada ano 75 bilhões de toneladas de solo são removidas pela erosão eólica e hídrica, sendo que a maior parte deste número provém de terras agrícolas (PIMENTEL *et al.* 1995). Quando a erosão é potencializada pela ação humana (acelerada ou antrópica) (CUNHA, 1997; FREIRE, 2006), torna-se uma das principais formas de degradação do solo e, no século XXI, é uma realidade, especialmente nas regiões de clima tropical e subtropical (LAL, 2001).

A erosão causada pela água e pelo vento afeta adversamente a qualidade e a produtividade do solo, reduzindo as taxas de infiltração, a capacidade de retenção de água, os nutrientes, a matéria orgânica, a biota do solo e a sua profundidade (EL-SWAIFY e MOLDENHAUER, 1985; LEPSCH, 2011).

A erosão hídrica inicia seu processo com a desagregação das partículas do solo, causada pela quebra dos agregados pelo impacto da gota de chuva, a seguir passando para o transporte e deposição da partícula em uma escala espacial que varia desde alguns milímetros a centenas de quilômetros (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010; LAL, 2001; MERTEN *et al.* 2001).

Uma vez iniciado o processo de erosão hídrica, o escoamento da água aumenta, de modo que menos água entra na superfície do solo, diminuindo a água disponível para a cultura. Solos moderadamente erodidos absorvem de 10 a 300 mm menos água por hectare/ano do que solos não erodidos (MURPHEE; MCGREGOR, 1991; LANGDALE *et al.* 1992).

Em virtude da localização do Brasil em uma zona de clima predominantemente tropical, de alta precipitação pluviométrica anual e com propriedades agrícolas utilizando o sistema de plantio convencional, a erosão hídrica desponta como o grande causador da perda de produtividade agrícola das terras.

Dentre as principais medidas que buscam reduzir as perdas de solo por erosão hídrica em áreas agrícolas está o Sistema Plantio Direto (SPD), fundamentado na redução ou retirada do revolvimento do solo, cobertura permanente e rotação de culturas (HERNANI *et al.* 1998).

No Brasil, o SPD foi primariamente aplicado na região Sul, nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul, no início dos anos de 1970, por instituições estaduais e federais, como o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Embrapa Trigo e pela empresa britânica Imperial Chemical Industries (ICI) (ANGHINONI, 2007).

Desde então, o SPD tem sido implementado em lavouras e áreas experimentais para teste e validação da eficiência deste sistema na redução da perda de solo por erosão hídrica (HERNANI *et al.* 1998; MERTEN *et al.* 2015). Estudos realizados no Brasil, em condições de chuvas naturais, demonstram que o SPD é muito eficiente no controle de perdas de solo, com redução de 60% a 90% quando comparado com outros sistemas de manejo com maior mobilização de solo (DE MARIA *et al.* 1999).

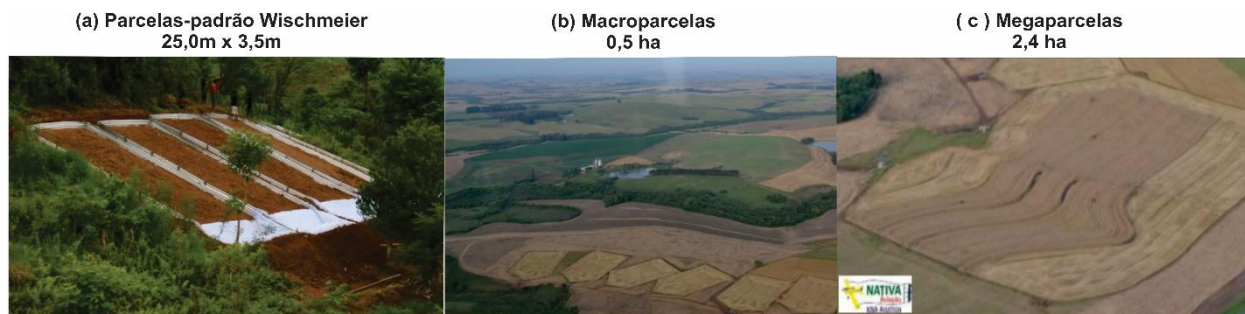
Os rendimentos de culturas em solos gravemente erodidos são mais baixos comparados com os obtidos em solos protegidos, porque a erosão reduz a fertilidade do solo e a disponibilidade de água (PIMENTEL *et al.* 1995), além da possível eutrofização recorrente nos corpos hídricos próximos aos focos erosivos.

A erosão típica da agricultura convencional pode diminuir a diversidade e a abundância de organismos no solo, enquanto práticas que mantêm o teor de matéria orgânica em níveis ótimos favorecem a proliferação da biota do solo (CANTARELLA *et al.* 2001).

Dentre as metodologias de estudo de perda de solo, destaca-se a observação em parcelas com sistemas coletores (Figura 7), como as parcelas-padrão Wischmeier (WISCHMEIER, 1959; WISCHMEIER; SMITH, 1978). Estas parcelas inserem-se na proposta de predição das perdas de solo e no planejamento do controle da erosão hídrica, por meio da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE).

Com dimensões médias entre 22 a 25m de comprimento por 3,5m de largura (Figura 7), a parcela de Wischmeier popularizou-se no mundo como a principal metodologia de análise e quantificação da perda de solo e água em propriedades rurais. Após os eventos de chuva são observados a quantidade de água e os sedimentos perdidos aplicando equações que permitem mensurar essa perda em escala local e regional.

**Figura 7.** Diferentes parcelas medidoras de perda de solo: (a) parcelas padrão-Wischmeier, (b) macroparcelas, (c) megaparcelsas.



**Fonte:** a) NSSC (2010), b) Londero (2015), c) Deuschle (2016).

Estudos propõem a observação e quantificação da perda de solo e água a partir da observação em megaparcelsas ( $>0,5\text{ha}$ ) com intuito de uma maior aproximação com as reais condições de campo (OSTERKAMP; TOY, 1997; BONILLA *et al.* 2006; LONDERO, 2015). Tais estudos observaram que parcelas com dimensões menores que 0,5 ha tendem a subestimar a perda de solo e água, dificultando a implementação de técnicas adequadas de manejo e conservação dos solos e água.

Londero (2015) procurou entender o comportamento dos diferentes tipos de sistema de manejo do solo e analisou a perda de água e sedimentos em bacias hidrográficas a partir de parcelas experimentais superiores a 2 ha. Os resultados indicados pela referida autora mostram que a aplicação de práticas conservacionistas mecânicas, como os terraços, reduz em 90% o volume de escoamento superficial, minimizando o impacto dos eventos de precipitação.

Os terraços constituem uma das principais medidas de redução do escoamento superficial em virtude de sua acessível implantação e manutenção (VALENTIN *et al.* 2005; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010; FANG *et al.* 2017). Além de reduzir a energia cinética da água, os terraços possibilitam o movimento dos sedimentos até as cotas mais baixas de maneira controlada. Porém, muitos agricultores optam pela retirada de terraços das áreas de cultivo para otimizar a implementação de maquinário agrícola e aproveitamento de área útil, causando danos prejudiciais para o solo e para as culturas.

Como observado por Deuschle (2016), o incremento de fitomassa também é utilizado como prática conservacionista direcionada a redução do impacto dos eventos de precipitação, indicando que a incorporação de fitomassa apresenta maior eficiência no controle da erosão em comparação com a escarificação e demonstra que, em condições de boa cobertura vegetal, mesmo em eventos de alta magnitude as perdas de

solo são baixas; ressaltando a eficiência da cobertura do dossel deixada pela cultura implantada em amenizar a energia da gota da chuva.

Ao estudar a contribuição da palhada em solos rasos no sudeste da China, Zhu *et al.* (2014) indicaram que a ausência ou volume restrito de cobertura vegetal sob o solo potencializam o escoamento superficial de solos com predomínio de partículas coloidais, reduzindo a aptidão para a agricultura, sendo as áreas com solos de profundidade entre 20-50cm as mais afetadas.

As preocupações atuais que estão motivando o desenvolvimento da modelagem hidrológica em grandes áreas incluem mudanças climáticas, gerenciamento do abastecimento de água em regiões áridas, inundações em grande escala e impactos externos do manejo da terra (ARNOLD *et al.* 1998). A gestão integrada da água de grandes áreas deve ser realizada dentro de uma unidade espacial, a bacia hidrográfica (FANG *et al.* 2017). Assim, o limite da bacia hidrográfica permite uma análise completa da atuação erosiva no determinado recorte espacial, reduzindo a possibilidade da interferência de sedimentos e água de áreas de contribuição vizinhas.

## **2.4. Hidrossedimentologia em megaparcelsas**

Como descrito por Arnold *et al.* (1998), o desenvolvimento e a gestão de recursos hídricos em grandes parcelas requerem uma compreensão dos processos hidrológicos e sedimentológicos circundantes, visto que o rio é o receptáculo do escoamento superficial e subsuperficial. Portanto, o estudo hidrossedimentológico em grandes parcelas exige que a caracterização agroclimática e hidrossedimentológica seja realizada na escala de bacias hidrográficas, favorecendo o entendimento da atuação dos fenômenos em microescala.

Por levar em conta os processos hidroclimatológicos, enfatizando a relação água-sedimento, os conhecimentos da Sedimentologia são fundamentais para o monitoramento hidrossedimentológico em megaparcelsas, como a granulometria das partículas e sua mineralogia. Os processos erosivos geradores da produção de sedimentos tiveram seus estudos intensificados a partir da década de 1970, quando estudos em parcelas experimentais começaram a ser desenvolvidos para incentivar o uso de práticas conservacionistas do solo e da água em virtude de sua degradação (BARROS, 2012). De acordo com Carvalho (2008) o transporte de sedimentos pode ocorrer de diferentes formas (Quadro 1):

**Quadro 1.** Descrição das formas de transporte dos sedimentos.

<b>Carga sólida</b>	<b>Características</b>
Carga Sólida de Arrasto (CSA)	As partículas de sedimento rolam ou escorregam longitudinalmente; no curso d'água, estando em contato com o leito praticamente o tempo todo.
Carga Sólida Saltante (CSL)	As partículas pulam ou saltitam ao longo do curso d'água por efeito da correnteza ou devido ao choque com outras partículas.
Carga Sólida em Suspensão (CSS)	As partículas são suportadas pelas componentes verticais das velocidades do fluxo turbulento, enquanto são transportadas pelas componentes horizontais dessas velocidades, sendo suficientemente pequenas para permanecerem em suspensão, subindo e descendo na corrente acima do leito.

**Fonte:** Subcommittee on Sedimentation (1963); Carvalho (2008).

Para Coiado e Paiva (2003), a degradação das bacias hidrográficas pelo agente antrópico associada aos fenômenos naturais de precipitação, como os verificados nas regiões tropicais, resulta, num curto espaço de tempo, em quantidades de sedimentos muito maiores que aquelas produzidas em centenas de anos em condições de equilíbrio natural. Deste modo, é essencial considerar a taxa de sedimento transportada como uma variável a ser equacionada em projetos de barragens, canais, reservatórios de acumulação ou qualquer obra hidráulica (MALUTTA, 2012).

O conhecimento da carga sólida em suspensão em escalas espaciais é relevante para vários campos da hidrologia, como os processos eco-hidrológicos, a operação de instalações hidrotécnicas e recuperação de áreas degradadas de recarga (MUELLER *et al.* 2013). Tal estudo permite identificar, após os eventos de precipitação, o tempo de decantação dos sedimentos nos rios e suas características físico-químicas.

Destacando a importância do acompanhamento sazonal dos sedimentos em suspensão em rios intermitentes, Sadid *et al.* (2017) observaram que a precipitação no Oriente Médio, durante os meses de inverno e verão, excede a evapotranspiração e configura como a principal fonte de água para irrigação e recarga de água subterrânea.

O nível da água pode ser monitorado com a leitura das réguas linimétricas por um observador e/ou por um sensor de nível ou sensor de pressão instalado em uma seção pré-selecionada de um curso hídrico (SANTOS; ANJOS, 2001). A vazão deve ser medida em diversos níveis da água para que a relação entre nível-vazão seja mais representativa (MALUTTA, 2012).

O monitoramento hidrossedimentológico programado e constante (fundamentalmente da descarga sólida) permitirá que se calcule anualmente a eficiência

de retenção de sedimentos e, com isso, a evolução da eficiência desta (FARINACCIO *et al.* 2013).

A relação água-sedimento pode ser observada em diversos cenários. Destaca-se a composição granulométrica do sedimento como atributo utilizado neste trabalho para o diagnóstico da área de estudo.

Observado a mudança significativa da composição granulométrica dos sedimentos frente às mudanças violentas no leito do rio (barragens, aterros, canalizações etc.), Bruk (1985) propõe que para a regulação ideal as grandezas da descarga do material do leito ( $Q_{sml}$ ), diâmetro médio das partículas do leito ( $D$ ), descarga líquida ( $Q$ ) e declividade do leito ( $I$ ) devem ser expressas em:

$$Q_{sml} . D = Q . I \quad (1)$$

Os sedimentos que chegam ao curso d'água possuem granulometrias desiguais e seu processo de transporte varia de acordo com as condições locais de escoamento (BARBEDO, 2003; SILVA 2012), destacado na tabela 3:

**Tabela 3.** Material, tamanho e modo de transporte do sedimento.

Material	$\varnothing$ (mm)	Transporte
Argila	$0 < \varnothing < 0,002$	Em suspensão
Silte	$0,002 < \varnothing < 0,053$	Em suspensão
Areia	$0,053 < \varnothing < 2,0$	Em suspensão (areia fina), rolamento, arraste ou saltação

$\varnothing$  = diâmetro da partícula.

**Fonte:** Adaptado de Vestena (2008).

A partícula de sedimento estando sujeita à ação da velocidade do fluxo e do seu peso, sua distribuição dentro da água irá variar, apresentando uma concentração mínima na superfície e um máximo perto do leito, com uma granulometria variada (PEREIRA, 2010). Portanto, intensidade das precipitações, taxa de escoamento superficial, distâncias percorridas, fixação ou mobilização dos sedimentos disponíveis influenciam na concentração dos sedimentos e na vazão (WILLIAMS, 1989).

O transporte do sedimento é um fenômeno complexo que depende de processos erosivos que ocorrem nas vertentes da bacia, no leito e margens dos rios que fornecem



material que dependem da energia do fluxo para serem transportados (SANTOS *et al.* 2001).

Portanto, o transporte e depósito dos sedimentos dependem do peso da partícula. As partículas mais pesadas são deslocadas sobre o fundo por rolamento, deslizamento ou saltos curtos. As partículas mais leves são descoladas em suspensão (CARVALHO, 2008; MALUTTA, 2012).

Devido à grande diferenciação do potencial de energia atuante no sedimento, ele pode se manter em suspensão ou no fundo do rio. Isso é causado por fatores como tamanho, peso e forma da partícula, além da maneira com que o escoamento ocorre, podendo este ser laminar ou turbulento (SILVA, 2012). A velocidade da corrente, obstáculos existentes no leito e outras funções inter-relacionadas como declividade do leito, forma do canal e temperatura da água também influenciam na forma com que o sedimento irá se depositar (CARVALHO, 2008).

A concentração e localização do sedimento no leito também são influenciadas pelas condicionantes climáticas; que devem ser registradas em diferentes escalas temporais, observando a sazonalidade das coletas. Para Zanin *et al.* (2017), a concentração de sedimentos suspensos perto do fundo de reservatórios é maior do que na superfície.

Carvalho (2008) indica que de 70% a 90% de todo o sedimento transportado pelos cursos d'água ocorrem no período de chuvas, principalmente durante as precipitações intensas, gerando perturbações conhecidas no ambiente urbano como enchentes ou alagamentos. Por isso, em períodos chuvosos o monitoramento dos sedimentos deve ser intensificado.

O estudo da sedimentação é de vital interesse na conservação, desenvolvimento e utilização dos solos e dos recursos hídricos. Sem esses recursos o homem não pode existir nos moldes conhecidos e, eles sendo de baixa qualidade ou insuficientes, certamente o destino do homem não será sadio (VANONI, 1977).

A formação de sedimentos locados em áreas urbanas ou rurais deve ser conhecida para entendimento da sua produção e concentração. Com isso, Durães (2014) destaca que a dinâmica dos sedimentos em uma bacia hidrográfica perpassa diretamente pela caracterização das atividades antrópicas, como desmatamento, atividades agrícolas ou mineração.

Assim, Oliveira (2008) destaca os principais problemas causados pelo transporte de sedimentos pela ação da água:

- ✓ As partículas em suspensão degradam o uso consumptivo da água, aumentando o custo de tratamento;
- ✓ O sedimento degrada a água especificamente para abastecimento, recreação, consumo industrial, resfriamento, uso em hidroelétricas e vida aquática;
- ✓ O sedimento em suspensão impede a penetração de luz e do calor, reduzindo a atividade da fotossíntese necessária à salubridade dos corpos d'água.

Com o objetivo de direcionar os pesquisadores no monitoramento hidrossedimentológico em parcelas de perda de solo, o *National Soil Survey Center – USA* (SOIL SURVEY, 2010) indica que o objetivo central da metodologia por ele proposta é quantificar a quantidade total de perda de solo durante um determinado período de tempo (ano) sob condições climáticas e de declive específicas e validar as práticas de manejo conservacionistas introduzidas e avaliar a diferença com as práticas convencionais de cultivo. Com isso, espera-se que os agricultores e a sociedade de maneira geral sejam beneficiados com a redução ou substituição das práticas convencionais de cultivo.

Minella (2016) indica que o monitoramento da perda de solo em megaparcels permite quantificar o impacto da agricultura nos processos erosivos e hidrológicos, bem como a influência da presença/ausência de práticas conservacionistas na redução no escoamento superficial. Por meio deste monitoramento torna-se possível propor medidas conservacionistas de solo e água na escala da lavoura, gerando benefícios socioeconômicos diretos na escala da bacia hidrográfica.

Para Hsieh *et al.* (2009), a falta de dados acerca da erosão do solo na escala da bacia hidrográfica é um fator que dificulta a capacidade de monitoramento, sendo ainda mais grave em países subdesenvolvidos. No Brasil, embora existam alguns estudos na escala de pequenas bacias, eles são insuficientes para uma modelagem dos processos erosivos em escala nacional (MINELLA *et al.*, 2014).

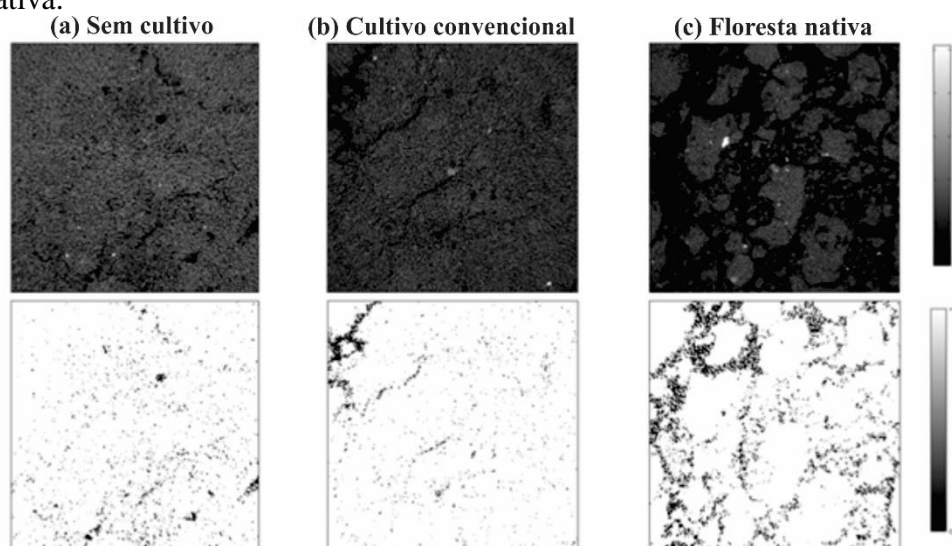
Londero (2015) propõe no estudo hidrossedimentológico em megaparcels, a análise da precipitação, vazão e concentração de sedimentos, durante os principais eventos pluviométricos, além da caracterização agroclimática regional, como as massas de ar predominantes, o relevo regional e local, manejo e tipo de solo, entre outros. Tais variáveis permitem observar a atuação das chuvas frente às diferentes configurações do meio físico, a exemplo, na área de estudo, sob diferentes usos e manejos do solo.

Macroporosidade, umidade do solo, condutividade hidráulica e agentes cimentantes dos argilominerais são atributos que também devem ser considerados no estudo hidrossedimentológico, tendo em vista que os eventos erosivos estão condicionados, parcialmente ou integralmente a esses indicadores.

A macroporosidade indica os poros de maior diâmetro na composição esquelética do solo, geralmente associados aos poros entre-agregados. Trata-se de um importante indicador morfopedológico, preponderante no desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, no desenvolvimento das plantas. Os valores de macroporosidade devem ser de, pelo menos, 10% do volume total do solo para permitir trocas gasosas e crescimento radicular da maioria das culturas de sequeiro (TAVARES FILHO *et al.*, 2010).

Altamente influenciada por fatores ambientais, como o impacto da chuva, ciclos de molhagem-secagem e congelamento-degelo, biota do solo e raízes de plantas, bem como medidas de manejo agrícola (Figura 8), a macroporosidade é, por excelência, responsável pela infiltração da água no solo, sendo um significativo atributo quando se pretende observar a dinâmica hidrológica no sistema água-solo (BODNER *et al.* 2010).

**Figura 8.** Macroporosidade observada por tomografia (acima) e imagem binarizada (abaixo) em diferentes usos da terra: (a) sem cultivo, (b) cultivo convencional, (c) floresta nativa.



**Fonte:** Beraldo *et al.* (2014).

Como descrito por Buske *et al.* (2014), a determinação da umidade do solo é fundamental em várias situações na agricultura e é imperativa para definir o momento de operações mecanizadas e controlar o correto manejo da irrigação. Definida como o

armazenamento temporário de precipitação dentro de uma camada superficial do solo que, geralmente, é limitada à zona de aeração (ENGMAN, 1991) afetada por diversos atributos do solo, como estrutura, textura e porosidade.

Também relacionada a porosidade, a condutividade hidráulica do solo (K) é uma propriedade que expressa a facilidade com que a água nele se movimenta (GONÇALVES; LIBARDI, 2013), importante para o manejo do solo, para a produção das culturas e para a preservação do solo e do ambiente.

O registro das atividades realizadas na megaparcela ou eventos climáticos representativos é fundamental na elaboração dos planos de ação, utilizados por proprietários rurais e técnicos agrícolas. Destaca-se o registro mensal da precipitação, práticas de manejo (semeadura, reforma, pousio), colheita (expressa em kg ou volume), eventos climáticos extremos como veranicos e geadas (SOIL SURVEY, 2010).

Outro aspecto de relevância no estudo da erosão em megaparcelas se dá em virtude da escala temporal de análise. Os diferentes processos hidrossedimentológicos e geomorfológicos que predominam em diferentes escalas temporais atuam de forma cíclica ou por meio das possíveis perturbações ambientais. Isso significa que a escolha das escalas temporais mais longas permite monitorar a sazonalidade dos eventos climáticos e seu impacto na paisagem para, inclusive, propor medidas mitigadoras.

A maioria dos programas de monitoramento está limitada a poucos anos, o que implica que as medições não são necessariamente representativas das taxas de erosão de longo prazo e das flutuações de longo prazo nos controles. Ollesch e Vacca (2002) recomendam que os estudos tenham, no mínimo, três anos, sendo seis anos uma escala temporal adequada. Desta forma, os modelos preditivos devem refletir corretamente as mudanças no uso da terra e no manejo agrícola, incentivando a pesquisa em escalas temporais mais longas (ARNOLD *et al.* 1998).

Bagarello e Ferro (2004), em estudo realizado em terrenos de 176 m<sup>2</sup>, 0,16 m<sup>2</sup> e 0,04 m<sup>2</sup>, indicaram que o tamanho da parcela influencia na recomendação de práticas de manejo, uma vez que os processos hidrossedimentológicos recorrem de diferentes formas.

Para áreas de drenagem superiores a 10km<sup>2</sup> o efeito dos sedimentos geralmente se torna dominante sobre suas fontes, resultando em um declínio gradual no processo pedogenético (BOIX-FAVOS *et al.* 2006).

Observando as características dos estudos de erosão do solo no Brasil, Merten *et al.* (2013) constataram que predominam as parcelas de pequenas proporções (0,5-

100m<sup>2</sup>). Assim, a abordagem em megaparcels ainda apresenta poucos estudos em nível nacional.

Em linhas gerais, as megaparcels tendem a gerar maior escoamento superficial devido aos processos de erosão ativa pelas suas maiores áreas experimentais (DEVENTE; POESEN, 2005; BOIX-FAVOS *et al.*, 2006). Porém, seus resultados permitem a modelagem de forma mais significativa para a realidade das lavouras, com menores margens de erros.

Assim, o manejo conservacionista em megaparcels possibilita a ocupação da paisagem de forma a cultivar as terras agrícolas de maneira mais eficiente do ponto de vista hidrológico, otimizando os fluxos de água em favor do agricultor e da sociedade, melhorando, dessa maneira, as funções do solo, tanto econômicas como sociais e ambientais (LONDERO, 2015).

Diante do exposto até aqui, entende-se que o total precipitado e sua intensidade são variáveis essenciais para entendimento da dinâmica erosiva nas megaparcels em diferentes tratamentos, tendo como pano de fundo a atuação climática regional. A presente tese avaliar a dinâmica climática regional de municípios localizados na Região Geográfica Intermediária de Londrina por meio de diferentes metodologias de monitoramento e mensurar a influência da precipitação pluviométrica diária, mensal e anual na erosão dos solos dispostos em megaparcels nesta região a partir de ensaios mais próximos possíveis da escala real das propriedades rurais da área de estudo.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Quanto à área de estudo, optou-se pela caracterização separada dos dois *locos* de análise, um em escala regional e outro local. Tal necessidade surge da interação entre as escalas climáticas regionais, direcionadas à alteração das sazonalidades dos fenômenos climáticos e/ou transformações na paisagem (variabilidade climática) e as locais, responsáveis pela alteração dos fenômenos no nível da propriedade, alterando o desdobramento das lavouras, por exemplo.

Neste sentido, os municípios da Região Geográfica Intermediária de Londrina, delimitados enquanto escala regional, manifestam seus fenômenos climáticos sobre o local, as megaparcelsas e o rio localizado na Fazenda Santa Cândida (Cambé/PR). Tal observação vai de encontro com o proposto por Jajcay *et al.* (2016) que ressaltam a atuação da temperatura do ar e da precipitação em uma manifestação regional interferindo na dinâmica atmosférica local.

Outra justificativa para a delimitação da Região Geográfica Intermediária de Londrina se deve ao fato do presente estudo configurar um dos subprojetos aprovados na chamada pública 01/2017 do Programa da Rede Paranaense de Apoio a Agropesquisa e Formação Aplicada/ Fundação Araucária/Seti/Senar/PR , que visa quantificar o escoamento superficial e a erosão do solo em sete mesorregiões do estado do Paraná, por meio do estudo em megaparcelsas. Em linhas gerais, a presente pesquisa ficou responsável por realizar uma caracterização climática da área em que estão inseridas as megaparcelsas pertencentes à Mesorregião 5 - Norte.

#### 3.1.Caracterização regional da área de estudo

A Região Geográfica Intermediária de Londrina insere-se no novo recorte das Regiões Geográficas proposto pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), entendendo as mudanças ocorridas no território brasileiro ao longo das três últimas décadas. Nesta nova divisão foram incorporados, principalmente, elementos como desenvolvimento da rede urbana, fluxos de gestão e centros de comando político-econômicos.

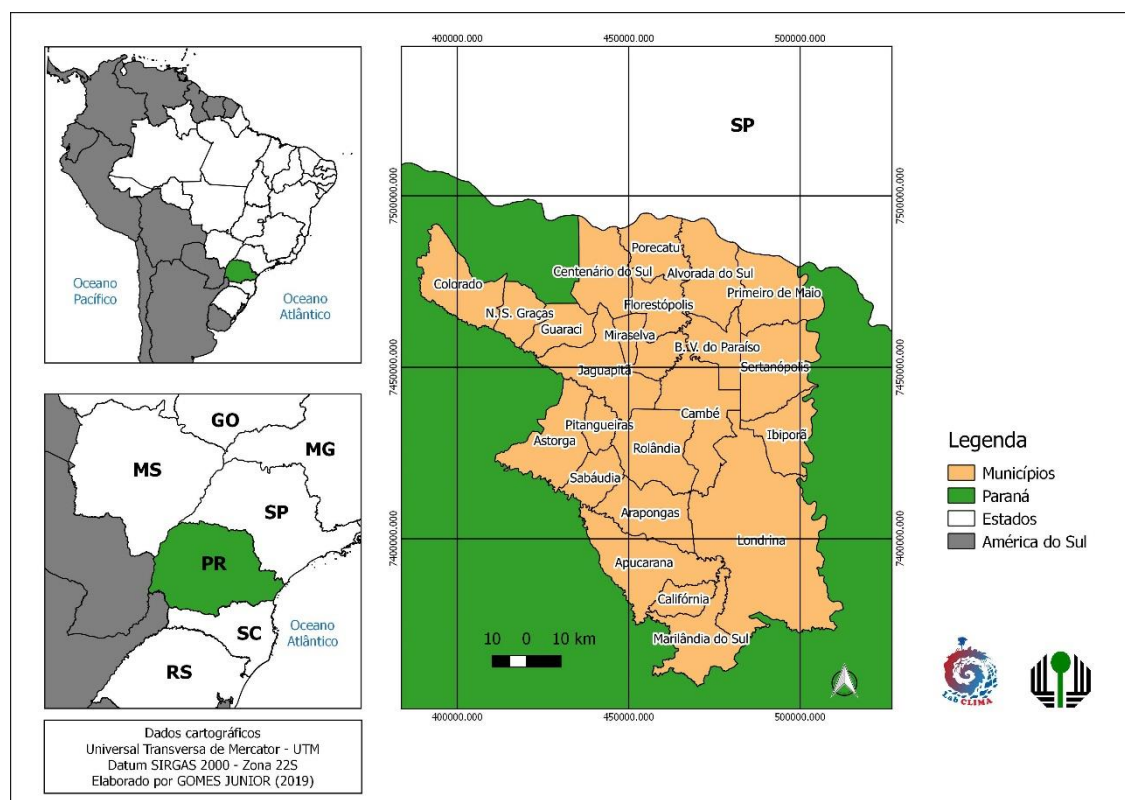
Ademais, essa região faz divisa ao norte com o estado de São Paulo, pelo rio Paranapanema e possui como principais cursos hídricos o rio Tibagi, a leste e o rio Ivaí,

a oeste. É constituída por 94 municípios, dos quais se destacam Londrina, Arapongas e Cornélio Procópio, em função de suas dimensões populacionais e projeção econômica.

A caracterização climática regional do presente estudo abrangerá os municípios localizados, em sua maioria, na Região Geográfica Intermediária de Londrina, como Alvorada do Sul, Apucarana, Arapongas, Bela Vista do Paraíso, Califórnia, Cambé, Centenário do Sul, Florestópolis, Guaraci, Ibioporã, Jaguapitã, Londrina, Marilândia do Sul, Miraselva, Nossa Senhora das Graças, Pitangueiras, Primeiro de Maio, Porecatu, Prado Ferreira, Rolândia, Sabáudia e Sertãoópolis (Figura 9).

Dois municípios estão localizados na Região Geográfica Intermediária de Maringá (Astorga e Colorado). Em termos climáticos, tal região foi delimitada por tratar-se de uma área com os menores valores pluviométricos do estado e maiores médias térmicas, constituindo uma região térmica basicamente homogênea, além de sua proximidade com a área de instalação das megaparcelsas.

**Figura 9.** Mapa de localização da área de estudo.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 3.1.1. Aspectos do meio físico

#### Clima

A Região Geográfica Intermediária de Londrina se encontra sob Trópico de Capricórnio, configurando como área de transição da Zona Intertropical para a Zona Temperada Sul. Porém, predominam as características típicas do clima tropical, com verões chuvosos e invernos com redução na precipitação. No verão prevalecem os sistemas atmosféricos de baixa pressão e no inverno os de alta (BORSATO; MENDONÇA, 2013).

De acordo com a Classificação Climática de Köppen (KÖPPEN, 1901; KÖPPEN, 1936; PEEL *et al*, 2007) ocorrem na área de estudo os seguintes tipos climáticos:

**Cfa:** Clima temperado úmido com verão quente (ou ainda subtropical úmido), caracterizado pela ausência de uma estação seca e possui a temperatura do mês mais quente acima de 22° C, ou seja, com verões quentes (acima de 30°C); mas sujeito à ocorrência de geadas nos meses de inverno, com uma temperatura média inferior a 16°C e com chuvas bem distribuídas.

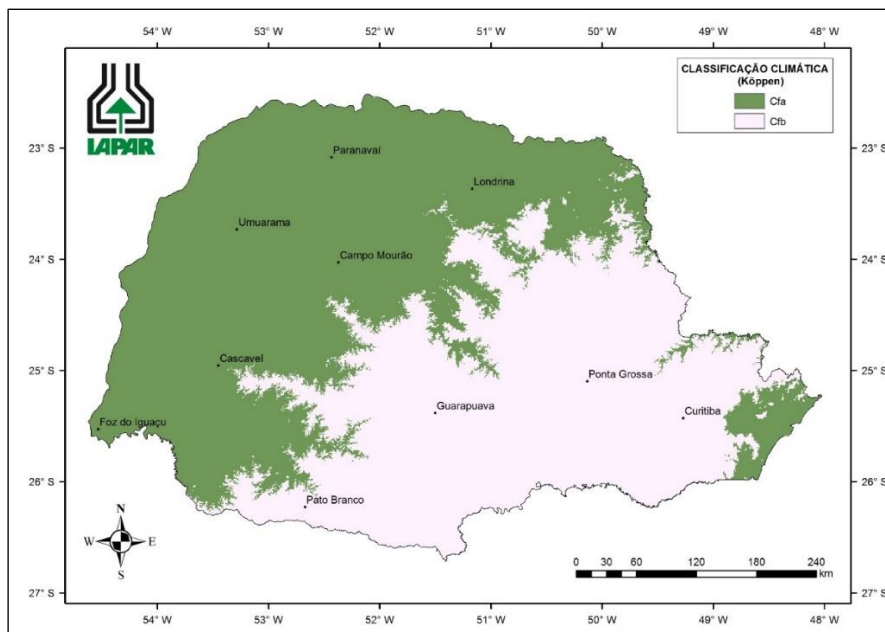
**Cfb:** Clima temperado úmido com verão temperado (ou ainda subtropical úmido), também é caracterizado por não apresentar uma estação seca definida. A temperatura do mês mais quente é inferior a 22°C, com verões amenos (abaixo de 30°C) e as geadas podem ocorrer nos meses de outono e inverno, com temperaturas abaixo de 20°C. A temperatura média no inverno é de 14°C, podendo ter temperaturas mínimas inferiores a 8°C, com chuvas bem distribuídas.

**Cwa:** Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente, denominado de tropical de altitude, com temperaturas entre 25°C – 30°C nos meses de verão e ocorrência de chuvas. Os meses de inverno são frios e secos, com temperaturas inferiores a 20°C, ou seja, este tipo climático apresenta verões quentes e úmidos e invernos frios e secos.

Como destacado por Ely e Fortin (2019), predomina no norte do estado do Paraná o clima Cfa, com precipitação média entre 1000 e 1500mm, que está em consonância com o mapa climático do estado do Paraná (IAPAR, 2019) (Figura 10).



**Figura 10.** Mapa climático do estado do Paraná.



**Fonte:** IAPAR, 2019.

Para a caracterização pluviométrica regional foram analisados os dados de chuva disponíveis para a série histórica de 1987 a 2018 (31 anos) em escala temporal diária, mensal e anual de 12 postos pluviométricos localizados em 11 municípios da Região Geográfica Intermediária de Londrina e Maringá, a citar: Alvorada do Sul, Arapongas, Astorga, Califórnia, Cambé, Centenário do Sul, Colorado, Londrina, Porecatu, Primeiro de Maio e Rolândia (Tabela 4). Os dados pluviométricos foram obtidos por meio do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), Instituto das Águas Paraná (ÁGUASPARANA) e Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR).

A seleção dos postos pluviométricos visou contemplar dois parâmetros: i) espacialização regional dos postos pluviométricos (Figura 11) e ii) consistência nos dados pluviométricos diários, com falhas inferiores a 5% na série histórica. O preenchimento dos dados faltantes de chuva, que foi de 3,4%, seguiu a metodologia de ponderação regional proposta por Bertoni e Tucci (2007), onde:

$$D_{x=\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{M_x}{M_i}} D_i \quad (2)$$

sendo  $D_x$  o dado mensal faltante a ser estimado para a estação teste,  $D_i$  o dado ocorrido na estação vizinha de ordem “i” no mês de ocorrência da falha na estação teste,  $M_x$  o

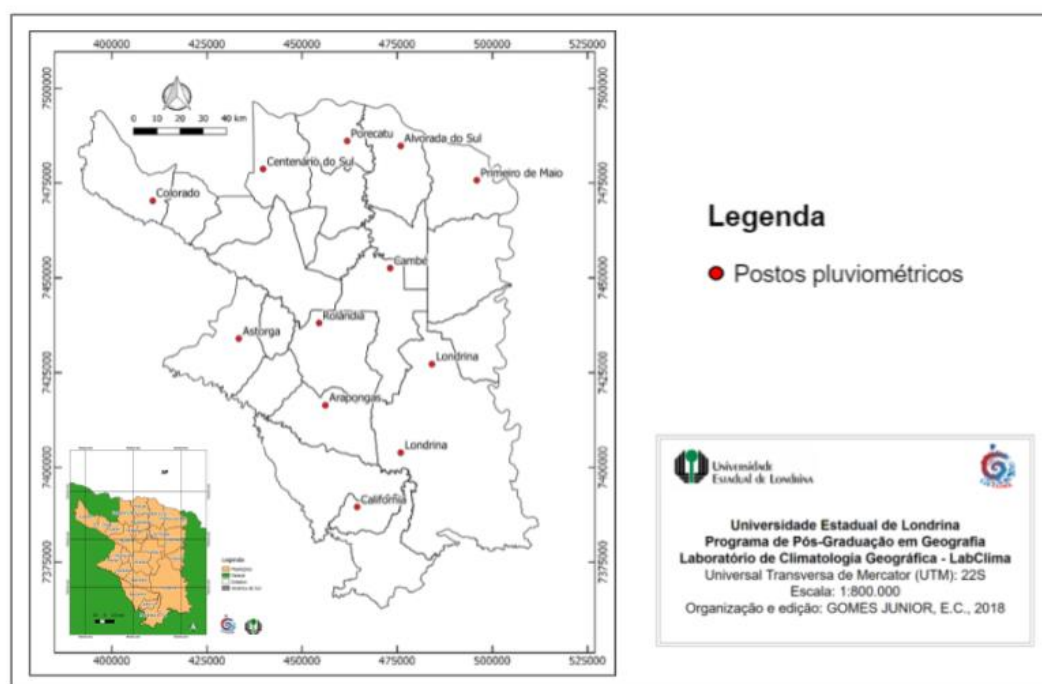
dado médio mensal da estação teste,  $M_i$  o dado médio mensal da estação vizinha de ordem “i” e n o número de estações vizinhas utilizadas no cálculo.

**Tabela 4.** Localização das estações meteorológicas utilizadas.

Município	Estação	Código	Latitude	Longitude	Altitude
Primeiro de Maio	Primeiro de Maio	2251039	22° 51' 06"	51° 01' 55"	370m
Alvorada do Sul	Alvorada do Sul	2251038	22° 46' 00"	51° 13' 59"	373m
Porecatu	Porecatu	2251023	22° 45' 17"	51° 22' 26"	425m
Cambé	Prata	2351031	23° 03' 58"	51° 15' 40"	438m
Colorado	Alto Alegre	2251033	22° 53' 53"	51° 53' 17"	487m
Centenário do Sul	Centenário do Sul	2251069	22° 49' 22"	51° 35' 44"	500m
Astorga	Astorga	2351051	23° 14' 14"	51° 39' 41"	572m
Londrina	Agroclimatologia	2351003	23° 18' 00"	51° 09' 00"	585m
Rolândia	Rolândia	2351053	23° 12' 00"	51° 27' 00"	653m
Londrina	São Luiz	2351035	23° 31' 00"	51° 13' 59"	740m
Califórnia	Califórnia	2351037	23° 39' 00"	51° 21' 00"	790m
Arapongas	Arapongas	2351048	23° 24' 00"	51° 25' 59"	793m

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 11.** Localização dos postos pluviométricos.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A elaboração da análise rítmica durante o monitoramento dos eventos de precipitação se deu pela análise episódica dos eventos de chuva. Foram considerados os dados de pressão atmosférica (hPa), temperatura média do ar (°C), média da umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (km/h), precipitação (mm) e sistemas atmosféricos atuantes durante os cinco dias antecedentes ao evento e no dia do evento, com objetivo de compreender o desenvolvimento das variáveis atmosféricas e observar padrões de atuação. Ambos os dados foram tabulados em planilha digital e, para complementar a interpretação da dinâmica atmosférica, foram utilizadas as cartas sinóticas e imagens de satélites disponíveis no Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil e Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos referentes ao dia do evento de chuva monitorado.

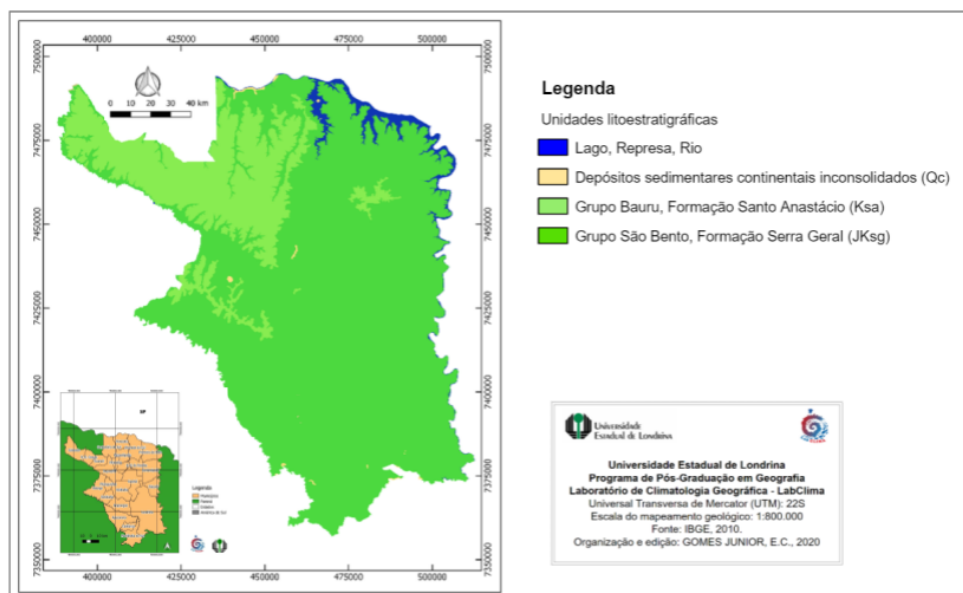
### **Geologia e Geomorfologia**

A área de estudo está inserida em uma zona com cobertura sedimentar iniciada na era mesozoica ao norte e o magmatismo da mesma era nas demais regiões. Tratando-se de rochas sedimentares de origem continental e rochas magmáticas extrusivas de composição predominantemente básica (MINEROPAR, 2013).

Os últimos eventos de grande expressão na coluna estratigráfica no final do Cretáceo são os depósitos sedimentares de ambiente continental árido, representados pelos sedimentos arenosos do noroeste, dispostos no Grupo Bauru, Formação Santo Anastácio (Ksa) (Figura 12). Por outro lado, o derrame basáltico presente no Grupo São Bento, Formação Serra Geral (JKsg) predomina na região. Há pontos isolados de depósitos sedimentares continentais inconsolidados (Qc) espalhados na área de estudo.

A mesorregião Região Geográfica Intermediária de Londrina está localizada, em maior parte, no Terceiro Planalto e uma pequena porção no Segundo Planalto. O Terceiro Planalto ou Planalto do Trapp do Paraná, ou ainda Planalto de Guarapuava, é constituído por derrames basálticos e a conformação de sua paisagem é bastante uniforme, determinada pelas formas de mesetas (pequenos planaltos), patamares (planaltos pouco elevados, em geral arenosos) e pelas extensas várzeas do rio Paraná, localizado na morfoescultura da Bacia Sedimentar do Paraná (IPARDES, 2004).

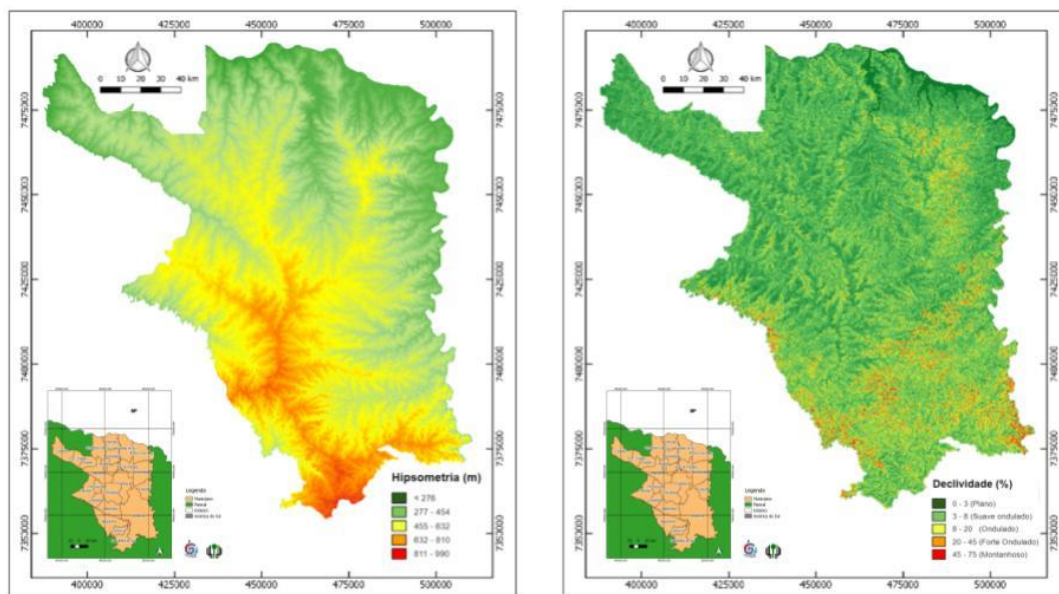
**Figura 12.** Mapa geológico da área de estudo.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

As menores altitudes, entre 201 e 276 metros são encontradas no extremo norte da área, divisa com o estado de São Paulo (Figura 13), às margens do Rio Paranapanema.

**Figura 13.** Mapa hipsométrico e de declividade da área de estudo.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Já as maiores, superiores a 990 metros, são encontradas no extremo sul, nos municípios de Califórnia e Marilândia do Sul. A declividade, por sua vez, varia de 0% a

63%, tendo como média 5,4%. Para definição das classes de declividade, adotou-se a divisão a proposta por EMBRAPA (1999).

## Solos

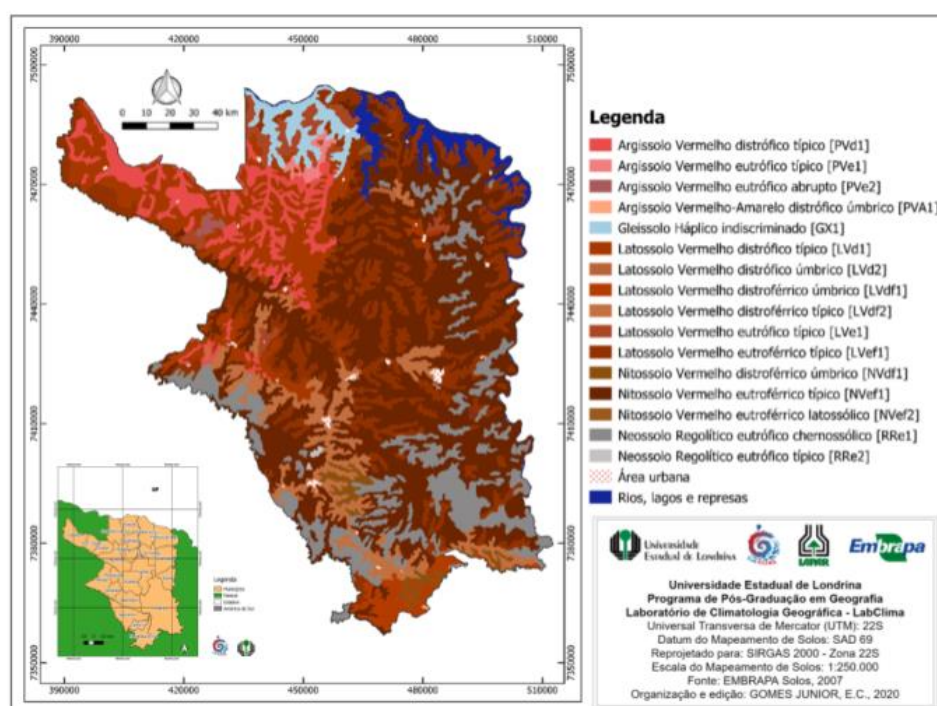
Predominam na área de estudo a ordem dos Argissolos, Latossolos, Neossolos e Nitossolos. A noroeste, sob os sedimentos arenosos da Formação Santo Anastácio, predominam os Argissolos Vermelho distróficos típicos (PVd1), com pequenas ocorrências de Argissolos Vermelho-Amarelo distróficos úmbricos (PVAe1). No extremo norte, divisa com o estado de São Paulo e nas margens do Rio Paranapanema podem ser encontrados Gleissolos Háplicos indiscriminados (GX1), de textura argilosa (Figura 14).

Os Latossolos e Nitossolos ocorrem entremeados na área de estudo. Em maior área (4.057 km<sup>2</sup>) ocorrem os Latossolos Vermelhos, sendo os Latossolos Vermelhos eutroféricos típicos (LVef1) predominando na porção norte e central. Os Nitossolos Vermelhos eutroféricos típicos (NVef1) (1.960 km<sup>2</sup>), por sua vez, ocorrem em predomínio na porção nordeste e centro-sul da área, nos municípios de Cambé e Rolândia (Tabela 5).

**Tabela 5.** Unidades de mapeamento de solos da área de estudo.

Classe	Unidade de mapeamento	Área (km <sup>2</sup> )
LVd1	Latossolo Vermelho Distrófico típico	1094.8
GX1	Gleissolo Háplico Indiscriminado	265.6
LVd2	Latossolo Vermelho Distrófico úmbrico	9.1
LVdf1	Latossolo Vermelho Distroférico úmbrico	388.4
LVdf2	Latossolo Vermelho Distroférico típico	680.5
LVe1	Latossolo Vermelho Eutrófico típico	202.5
LVef1	Latossolo Vermelho Eutroférico típico	1691.7
NVdf1	Nitossolo Vermelho Distroférico úmbrico	14.4
NVef1	Nitossolo Vermelho Eutroférico típico	1960.7
NVef2	Nitossolo Vermelho Eutroférico latossólico	5.1
PVA1	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico úmbrico	57.3
PVd1	Argissolo Vermelho Distrófico típico	986.4
PVe1	Argissolo Vermelho Eutrófico típico	46.3
PVe2	Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto	22.2
RRe1	Neossolo Regolítico Eutrófico chernossólico	1022.0
RRe2	Neossolo Regolítico Eutrófico típico	1.8
Total		8448.9

**Figura 14.** Mapa de solos da área de estudo.



**Fonte:** Embrapa Solos (2007).

**Org.** pelo autor.

### 3.2. Caracterização local da área de estudo

As duas megaparcelsas estudadas estão localizadas na Fazenda Santa Cândida (Cambé/PR) sob as coordenadas geográficas 23° 09' 58" latitude sul e 51° 14' 17" longitude oeste a 636 metros de altitude. Com o objetivo de analisar a característica da dinâmica da água e dos sedimentos durante os eventos de precipitação, uma das megaparcelsas possui terraços construídos (Figura 15).

Geomorfologicamente, a área estudada situa-se no Terceiro Planalto Paranaense, onde se evidencia, ao lado de pequenos espigões que constituem divisores de águas secundários, apenas suaves colinas e platôs (ROCHA, 1995). Não ocorrem linhas de serras elevadas acima do nível geral do planalto. A cota mais alta é de 642 metros e a mais baixa de 506 metros. A declividade, por sua vez, apresenta variações entre 0% (mínima) e 26% (máxima), com média de 8%.

No tocante a geologia, observa-se a presença de basaltos e diabásios resultantes do derrame basáltico durante o período Cretáceo, predominando os Latossolos Vermelhos e Nitossolos Vermelhos, sendo observados os Latossolos Vermelhos no terço superior e terço médio e Nitossolos Vermelhos no terço inferior.



**Figura 15.** Localização das megaparcelsas estudadas: à esquerda sem terraços e à direita com terraços.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Para conhecimento da dinâmica climática local foi instalada uma estação meteorológica na área de estudo (Figura 15). A estação está localizada nas coordenadas geográficas 23°09'58'' latitude sul e 51°14'17'' longitude oeste a 642 metros de altitude. Como preconizado por Vianello (2011), a estação meteorológica foi instalada na cota mais alta, distante mais de três metros de possíveis barreiras orográficas naturais ou construídas.

A estação meteorológica automática utilizada é da marca Campbell-Scientific, composta por um datalogger, um pluviógrafo, um medidor de direção e velocidade do vento, um medidor de temperatura do ar e umidade do ar, um barômetro, um sensor de radiação solar, um modem, uma bateria, um painel solar e uma caixa de abrigo. A estação descrita foi colocada em operação em 01/09/2017 visando o registro diário das variáveis meteorológicas: temperatura média do ar (°C), temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), umidade relativa do ar, umidade máxima, umidade mínima, precipitação pluviométrica (mm), radiação solar incidente e refletida, albedo, pressão atmosférica e velocidade do vento máxima, mínima e média a 2 e 10 metros do solo a cada 15 minutos. No presente estudo foram utilizadas todas as variáveis para produzir a caracterização climática local, com exceção da radiação solar que apresentou falhas no registro dos dados.

### 3.2.1. Características físicas das megaparcelas

Como o dimensionamento das megaparcelas de erosão envolveram áreas de, aproximadamente, 2ha, a caracterização pedológica foi fundamentada nos resultados analíticos de 3 perfis, todos com seção de controle de 2m de profundidade, conforme descrito em Santos *et al.* (2013). Os perfis foram descritos nas seguintes unidades de vertente: terço superior, meia encosta e sopé para melhor entendimento do comportamento pedológico ao longo da vertente, como defendido por Ruhe (1956). As coletas e descrições de perfis foram executadas de acordo com critérios estabelecidos por Santos *et al.* (2013).

A Fazenda Santa Cândida há sete anos é destinada ao cultivo de soja (Figura 16) e milho safrinha, com técnicas mecânicas de controle da erosão, como terraços e curvas de nível.

**Figura 16.** Cultivo de soja na Fazenda Santa Cândida na megaparcela sem terraços em dezembro/2018.



**Fonte:** Gomes Junior, 2018.

As megaparcelas foram construídas em uma microbacia hidrográfica na região de estudo, seguindo os seguintes critérios estabelecidos no edital 01/2017 do Programa da Rede Paranaense de Apoio a Agropesquisa e Formação Aplicada/ Fundação Araucária/Seti/Senar/PR:

- a microbacia deve conter um rio de primeira ou segunda ordem;
- a microbacia, em hipótese alguma, poderá ter influência urbana;



- o percurso do rio deverá ser livre de represamentos, açudes, represas nas encostas ou construções que altere seu leito;
- a área da microbacia poderá ter aproximadamente 200ha, caracterizado pela produção agropecuária, declividade média das encostas entre 6 e 15% e boa conectividade entre as encostas e os rios.
- as megaparcels deverão ser necessariamente pareadas com a maior similaridade possível em termos de solo, área de contribuição, declividade, comprimento de rampa e forma;
- construir uma megaparcels com terraço e outra sem terraço.

### **3.2.2. Amostragem hidrossedimentológica**

Foi realizado o monitoramento da água, sedimentos e solutos nas megaparcels para compreender a magnitude e as características das perdas e do (des)equilíbrio impostos pelos manejos testados. Na extremidade inferior das megaparcels (talvegue) foi instalado um sistema coletor de escoamento constituído por uma calha Parshall, que possibilitou a quantificação exata de água e sedimentos por meio de equipamentos automáticos (linígrafos e amostradores).

A calha foi dimensionada pelo método curva-número (CN), desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo (SCS), órgão do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA) (2004). Para tal modelagem foram considerados 10 anos de período de retorno, precipitação máxima em 24 horas de 209,4 mm e a classe “C” de infiltração, que consiste em solos com baixas taxas de infiltração quando completamente molhados e uma baixa taxa de transmissão de água, além de serem solos de textura moderadamente fina a fina.

Na rede de drenagem (rio) da microbacia foi instalada uma seção de monitoramento, composta por uma passarela e uma estrutura hidráulica de medição de vazão do tipo calha Parshall. Junto à estação de monitoramento foram instalados linígrafos, régua linimétrica, amostrador automático acionado pelo linígrafo e um turbidímetro, destinado a medir a turbidez da água. O amostrador automático, tipo ISCO Série 6712 (Figura 17), faz amostragens de água e solo e está presente na área de estudo.

**Figura 17.** Amostrador automático ISCO Série 6712.

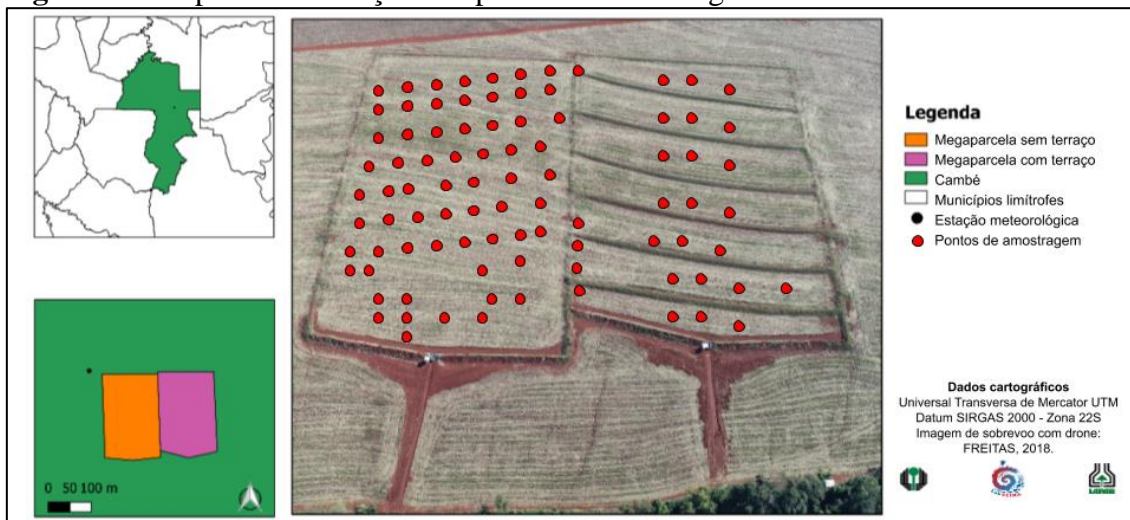


**Fonte:** Clean Environment, 2018.

## Solo

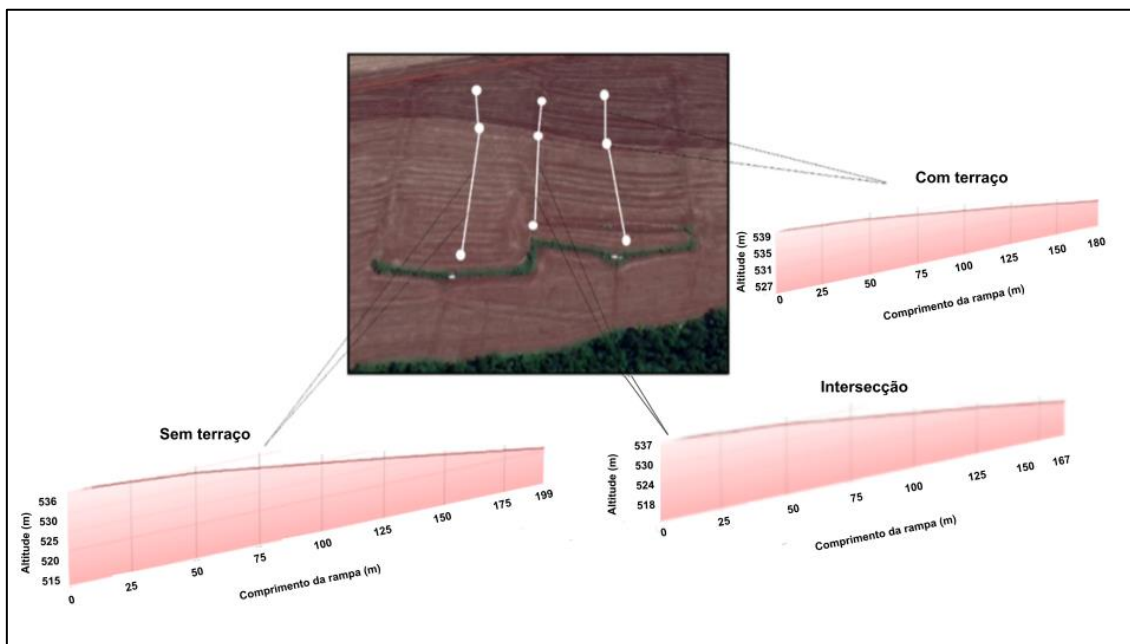
Para a caracterização inicial dos solos nas megaparcels foi criada uma malha amostral (grid) com 90 pontos, considerando a variabilidade espacial do solo quanto a declividade e ordem do solo (Figura 18). Desta forma, amostras em triplicata foram coletadas para análise química de macronutrientes nas seguintes profundidades: 0-10 cm, 10-20cm, 20-30cm e 30-40cm, além das três topossequências caracterizadas nas porções da vertente citadas anteriormente (terço superior, terço médio e terço inferior) (Figura 19).

**Figura 18.** Mapa de localização dos pontos de amostragem de solos.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 19.** Mosaico esquemático das topossequências e seus respectivos perfis de elevação.



**Fonte:** Google Earth Pro, 2020. Elaborado pelo autor.

As amostras foram acondicionadas em câmara fria e as análises de macronutrientes foram realizadas pelo Laboratório de Solos e Tecido Vegetal do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) e pela empresa Laborsolos-Londrina. Com o objetivo de compreender o impacto dos eventos extremos de precipitação nos macronutrientes do solo foram retiradas amostras nas profundidades de 0-5cm após os eventos monitorados. Análises granulométricas foram realizadas antes do primeiro evento de chuva monitorado para compreensão da composição esquelética das frações do solo.

Para tanto, a análise granulométrica foi realizada com a retirada de amostras em ambas as megaparcels na profundidade de 0–20 cm. Essas amostras foram secadas em estufa a 60°C passadas em peneira de 2,0 mm. Posteriormente, foram transferidas 10,0 g de amostra de terra para frasco plástico de 500 mL, forma de paralelepípedo, adicionados 10 mL de areia grossa (entre 0,5 e 1,0 mm), 100 mL de NaOH 0,05 mol L<sup>-1</sup> e agitadas durante 8,0h no agitador recíprocante com 180 rpm, amplitude de 38 mm.

A suspensão foi transferida para proveta de 500 mL, passada por peneira de 0,2 mm e completado o volume com água. Para as avaliações foi utilizado o método da pipeta; 4 h após a homogeneização foram coletados 10 mL da suspensão na

profundidade de 10 cm e transferidos para um béquer de 25 mL, secadas em estufa a 105°C e determinada a massa seca das partículas. Tal metodologia baseia-se nas determinações-padrão do Laboratório de Solos e Tecido Vegetal do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), publicado por Miyazawa e Barbosa (2011).

Para os ensaios de infiltração optou-se pelo método dos anéis concêntricos, que consiste em dois anéis metálicos com diâmetros diferentes: um com 50 cm de diâmetro e 30 cm de altura e outro com 25 cm de diâmetro e 30 cm de altura, cravados 8 cm no solo. Este método tem como objetivo medir a infiltração da água no solo por meio de um processo de penetração vertical da água na superfície do solo e, como defendido por Coelho *et al.* (1992), apresenta alta praticidade e portabilidade.

Ao utilizar os anéis concêntricos para determinação da velocidade de infiltração básica (VIB) na área das megaparcels foi adotada a equação baseada em Kostiakov (1932):

$$VIB = 60 \cdot K \cdot a \left[ \frac{-0,01}{60 \cdot K \cdot a(a-1)} \right]^{\frac{(a-1)}{(a-2)}}$$

Onde:

VIB – velocidade de infiltração básica \* 10 (mm h<sup>-1</sup>)

K – constante dependente do solo

a – constante dependente do solo, variando de 0 a 1

Os parâmetros “K” e “a” foram determinados pelos coeficientes da regressão exponencial entre a infiltração acumulada (cm) em função do tempo acumulado (min), sendo utilizadas as médias dos dados de VIB e infiltração acumulada. A velocidade de infiltração foi determinada nos pontos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 (terço inferior), 9 e 11 (terço médio) e no ponto 13 (terço superior) da megaparcels com terraço (Figura 20). Na megaparcels sem terraço a velocidade de infiltração foi determinada no ponto 16 (terço inferior), 23 e 27 (terço médio) e no ponto 30 (terço superior).

**Figura 20.** Pontos amostrais de determinação das velocidades de infiltração de água no solo, na megaparcela sem terraço (à esquerda) e com terraço (à direita).



**Fonte:** Oliveira, 2019.

## Água

O monitoramento da vazão ( $Q$ ) foi realizado por meio da instalação de sensor de nível (linígrafo de pressão) e régua linimétrica nas calhas Parshall para coleta tanto nas megaparcelsas quanto no rio. O monitoramento contínuo e automático da  $Q$  permitiu a obtenção de hidrogramas bem discretizados no tempo para a avaliação dos sistemas de uso e manejo do solo.

Cada seção de monitoramento deste projeto (duas megaparcelsas e rio) tem um turbidímetro, isto é, um sensor de turbidez com aquisição de dados. Dessa forma, a concentração de sedimentos em suspensão (CSS) foi estimada por meio de sensores de turbidez em conjunto com o monitoramento presencial da CSS durante eventos de cheia.

A CSS foi coletada manualmente (por meio de um amostrador isocinético do tipo US-DH-48) (Figura 21) no rio durante os eventos de chuva na ascensão e recessão da lâmina d'água (onda de cheia) ou por garrafas de vidro (Figura 22) posicionadas no final das calhas Parshall. Por fim, a produção de sedimentos (massa por unidade de área) foi determinada pelo produto da vazão e da concentração de sedimentos para cada intervalo de tempo.

**Figura 21.** Amostrador isocinético tipo US-DH-48 utilizado para coleta da água e sedimentos durante os eventos de precipitação.



**Fonte:** Belinasso, 2002.

**Figura 22.** Recipientes de coleta e armazenamento das amostras de água durante os eventos de chuva.



**Fonte:** Gomes Junior, 2019.

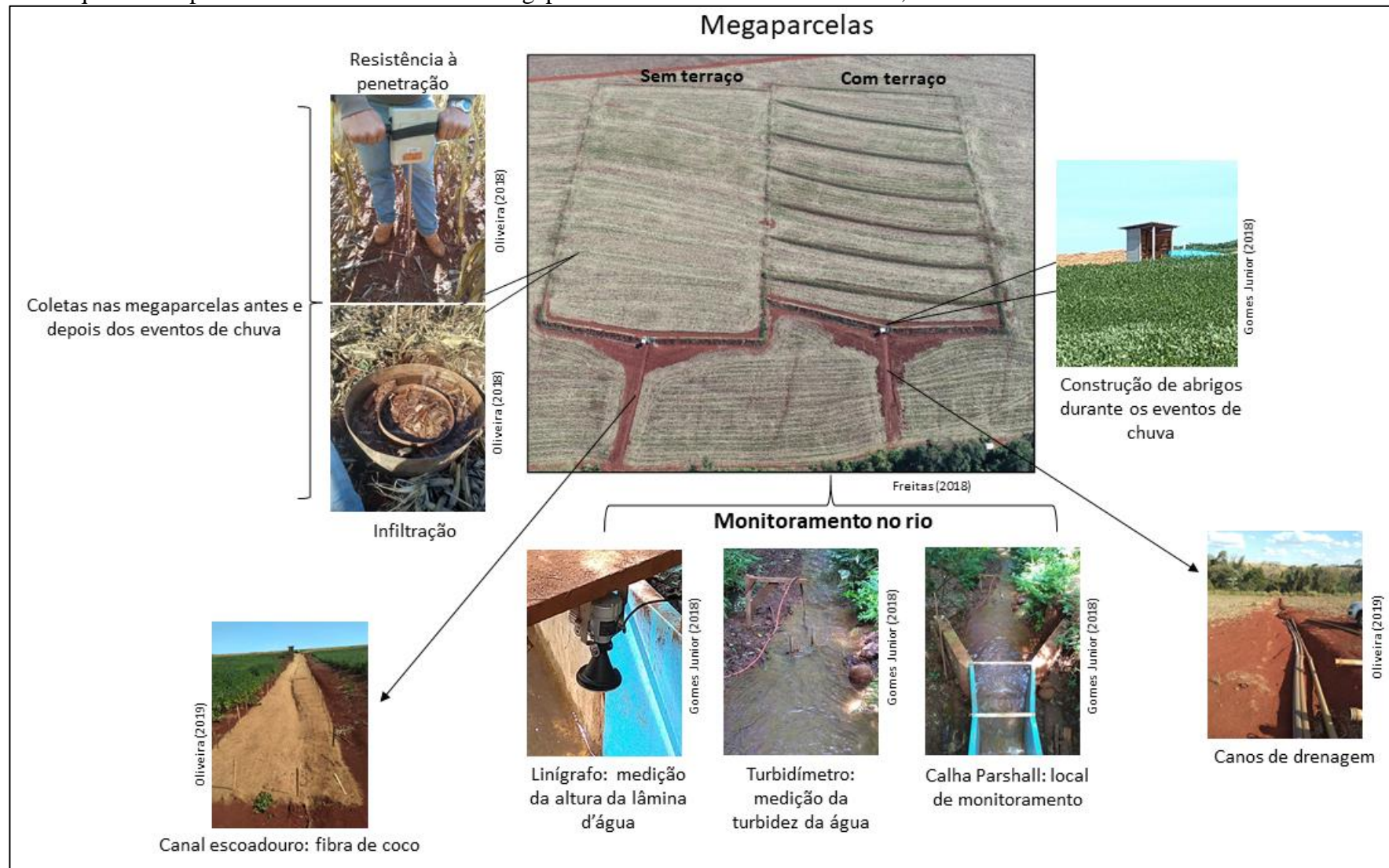
O processamento da CSS foi realizado pelo método de evaporação. Isso porque, como observado por Carvalho (2008), o método de evaporação reduz os riscos de entupimento de poros comuns no método de filtração devido às partículas muito finas, que podem alterar os resultados obtidos das amostras.

Nas seções de medição foram realizados acompanhamentos presenciais durante os eventos de chuvas com capacidade de geração de escoamento superficial para coletar amostras de água e sedimento, em pelo menos, uma garrafa a cada cinco minutos. Para tanto, foram monitorados, presencialmente, cinco eventos de chuva significativos entre

julho/2018 a agosto/2019, com os procedimentos e objetivos destacados no esquema apresentados na figura 23. Desta forma, para o monitoramento climático e hidrossedimentológico foram correlacionados três indicadores centrais: precipitação (mm), hietogramas, vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) pelos hidrogramas e concentração de sedimentos em suspensão (g/l) pelos sedimentogramas.



**Figura 23.** Esquema dos procedimentos realizados nas megaparcelsas na Fazenda Santa Cândida, entre 2017 e 2019.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.



### 3.3. Índices utilizados no monitoramento climático

A aplicação dos testes e modelos direcionados ao monitoramento climático em escala regional (área da Região Geográfica Intermediária de Londrina) foram: *Standardized Precipitation Index* (SPI) para determinação dos períodos secos e úmidos; técnica dos percentis para conhecimento dos limiares extremos de precipitação; índices climáticos para detecção de mudanças relacionadas a variação temporal pluviométrica e aplicação dos testes estatísticos de Mann-Kendall e Curvatura de Sen para análise das tendências e intensidades das mudanças climáticas.

#### 3.3.1. Standardized Precipitation Index (SPI)

O SPI é calculado considerando a diferença da precipitação da média para uma determinada escala de tempo e depois dividido pelo desvio padrão (Eq. 3). A escala temporal utilizada foi SPI-3 (trimestral) relacionada à capacidade de umidade do solo.

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \quad (3)$$

Sendo:

$\sigma$  o desvio padrão da precipitação

$X_i$  a precipitação observada

$\bar{X}$  a média da precipitação observada

Valores negativos de SPI representam déficit de precipitação (períodos secos), enquanto valores positivos de SPI indicam excedente de chuva (períodos úmidos). A intensidade dos períodos de seca pode ser classificada de acordo com a magnitude dos valores de SPI negativos de forma que, quanto maiores forem os valores negativos de SPI mais intenso será o evento de seca. Por exemplo, valores de SPI menores que -2,0 são frequentemente classificados como condições extremamente secas (Quadro 2), conforme classificação da Organização Meteorológica Mundial (2012).

**Quadro 2.** Classificação do período a partir dos valores de SPI.

Valor SPI	Classificação do período
2,0 ou mais	Extremamente úmido
1,5 a 1,99	Muito úmido
1,0 a 1,49	Moderadamente úmido
-0,99 a 0,99	Normal
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco
-1,5 a -1,99	Muito seco
-2,0 ou menos	Extremamente seco

**Fonte:** Organização Meteorológica Mundial, 2012.

Como o presente estudo baseia-se no estudo da precipitação de acordo com o ano hidrológico (iniciado em outubro) (MARCUIZZO; GOULARTE, 2013; SANTOS *et al.* 2017), a divisão do SPI-3 abrange os meses de outubro, novembro e dezembro (primavera), janeiro, fevereiro e março (verão), abril, maio e junho (outono) e julho, agosto e setembro (inverno).

Os dados do SPI foram utilizados para elaboração dos mapas, sendo aplicado o método interpolador da Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW). A interpolação IDW é baseada na distância ponderada de um ponto amostral, no qual a superfície IDW é interpolada a partir de pontos vetoriais de elevação (CHANG, 2006).

### 3.3.2. Técnica dos Percentis

Proposta inicialmente por Pinkayan (1966) e difundida por Xavier *et al.* (2002) para estabelecer a classificação e o monitoramento de dias secos e úmidos, a técnica dos quantis consiste na hierarquização dos dados em quatro intervalos de mesma quantidade de indivíduos  $x$  – 0-25%, 25-50%, 50-75% e 75-100%.

Derivada da técnica dos quantis, destaca-se a técnica dos percentis que consiste na ordenação dos dados de uma variável  $x$  em ordem decrescente, considerando a divisão da amostra em 100 partes (percentual) em uma planilha digital. Sendo assim, para a caracterização dos limiares dos eventos de precipitação e sua ocorrência na Região Geográfica Intermediária de Londrina os dados de chuvas diários (precipitação igual ou superior a 0,1mm) da escala temporal escolhida (1987 a 2018) foram ordenados em forma decrescente, sendo o percentil 99%, 95% e 90% utilizados para determinação

dos eventos extremos de precipitação. Neste estudo, foi utilizada a planilha digital Excel® para a ordenação dos dados de precipitação.

### 3.3.3. Índices climáticos

Neste estudo foram aplicados onze índices climáticos desenvolvidos pela equipe de especialistas em detecção, monitoramento e índices de mudanças climáticas (ETCCDMI), voltados à análise da precipitação, por meio do software RClimDex 1.0 (ZHANG; YANG, 2004) conforme a descrição que segue sintetizada na tabela 6:

**CDD** – Dias secos consecutivos, período de dias máximos consecutivos com  $RR < 1\text{mm}$ , sendo  $RR_{ij}$  a quantidade diária de precipitação no dia  $i$  no período  $j$ , então:

$$RR_{ij} < 1\text{mm}$$

**CWD** – Dias úmidos consecutivos, período de dias máximos consecutivos com  $RR \geq 1\text{mm}$ , sendo  $RR_{ij}$  a quantidade diária de precipitação no dia  $i$  no período  $j$ , então:

$$RR_{ij} \geq 1\text{mm}$$

**PRCPTOT** - Precipitação total anual nos dias úmidos, precipitação anual total de dias úmidos ( $RR \geq 1,0\text{ mm}$ ), sendo  $RR_{ij}$  a quantidade diária de precipitação no dia  $i$  no período  $j$ . Se  $i$  representar o número de dias em  $j$ , então:

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$$

**R10mm** - Número de dias em um ano quando  $PRCP \geq 10\text{mm}$ , número total de dias no ano que a precipitação  $\geq 10\text{mm}$ , sendo  $RR_{ij}$  a quantidade diária de precipitação no dia  $i$  no período  $j$ , então:

$$RR_{ij} \geq 10\text{mm}$$

**R20mm** - Número de dias em um ano quando  $PRCP \geq 20\text{mm}$ , número total de dias no ano que a precipitação  $\geq 20\text{mm}$ , sendo  $RR_{ij}$  a quantidade diária de precipitação no dia  $i$  no período  $j$ , então:

$$RR_{ij} \geq 20\text{mm}$$

**R25mm** - Número de dias em um ano quando  $PRCP \geq 25\text{mm}$ , número total de dias no ano que a precipitação  $\geq 25\text{mm}$ , sendo  $RR_{ij}$  a quantidade diária de precipitação no dia  $i$  no período  $j$ , então:

$$RR_{ij} \geq 25\text{mm}$$

**Rx1day** - Quantidade máxima de precipitação em um dia, seja  $RR_{ij}$  a quantidade diária de precipitação no dia  $i$  no período  $j$ . O valor máximo de 1 dia para o período  $j$  é:

$$Rx1day_j = \max (RR_{ij})$$

**Rx5day** - Quantidade máxima de precipitação em cinco dias, seja  $RR_{kj}$  a quantidade de precipitação consecutiva para o intervalo de 5 dias que termina  $k$ , período  $j$ . Os valores máximos de 5 dias para o período  $j$  são:

$$Rx5day_j = \max (RR_{kj})$$

**SDII** – Média anual da precipitação, seja  $RR_{wj}$  a quantidade diária de precipitação em dias úmidos,  $w$  ( $RR \geq 1\text{mm}$ ) no período  $j$ . Se  $w$  representa o número de dias úmidos em  $j$ , então:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$$

**R95p** – Dias muito úmidos, precipitação anual total em um dia chuvoso ( $RR \geq 1,0\text{ mm}$ ) inserido no percentil 95% na série histórica da estação (1987-2018).

**R99p** – Dias extremamente úmidos, precipitação anual total em um dia chuvoso ( $RR \geq 1,0\text{ mm}$ ) inserido no percentil 99% na série histórica da estação (1987-2018).

**Tabela 6.** Síntese dos índices climáticos e suas definições.

Índices	Definição	Unidade
CDD	Número máximo de dias consecutivos sem chuva no ano	dias
CWD	Número máximo de dias consecutivos com chuva no ano	dias
PRECPTOT	Precipitação anual dos dias úmidos	mm
R10mm	Número de dias no ano com precipitação acima de 10mm/dia	dias
R20mm	Número de dias no ano com precipitação acima de 20mm/dia	dias
R25mm	Número de dias no ano com precipitação acima de 25mm/dia	dias
R95p	Precipitação anual total dos eventos localizados no percentil 95	mm
R99p	Precipitação anual total dos eventos localizados no percentil 99	mm
Rx1day	Quantidade máxima de precipitação em um dia	mm

**Tabela 6.** Continua.

Rx5day	Quantidade máxima de precipitação em cinco dias	mm
SDII	Precipitação anual dividida pelo número de dias com chuva	mm

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 3.3.4. Teste estatísticos de Mann-Kendall e Curvatura de Sen

O teste não paramétrico de Mann-Kendall (MANN, 1946; KENDALL, 1975), baseado em rankings, foi aplicado aos dados de precipitação anual das estações de estudo para detectar tendências estatisticamente significativas. Nesse teste, a hipótese nula ( $H_0$ ) indica que não houve tendência na precipitação ao longo do tempo; a hipótese alternativa ( $H_1$ ) indica uma tendência (aumentando ou diminuindo) ao longo do tempo.

Os valores dos dados são avaliados como uma série temporal ordenada, que no presente estudo considera os dados pluviométricos mensais de 1987 a 2018. Cada valor é comparado com todos os dados dos valores subsequentes. Se um valor de dados de um período posterior é maior que um valor de dados de um período anterior, a estatística de Mann-Kendall (valor S) é incrementada em 1. Por outro lado, se o valor dos dados de um período posterior é inferior a um valor de dados amostrado anteriormente, S é subtraído em 1, podendo ser demonstrado pelas equações a seguir:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (4)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{if } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{if } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (5)$$

onde:  $x_j$  e  $x_k$  são os valores anuais; anos j e k,  $j > k$ , respectivamente.

A estatística S é normalmente distribuída com a média e variância conforme:

$$E(S) = 0 \quad (6)$$

$$V(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (7)$$

onde:  $q$  é o número de grupos de mesmo valor e  $t_p$  é o número de valores de dados no  $p^{\text{th}}$  grupo.

A estatística de Mann-Kendall ( $S$ ) pode ser padronizada ( $Z$ ), como:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{Se } S > 0 \\ 0 & \text{Se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{Se } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

Valores “ $Z$ ” positivos indicam uma tendência ascendente na série temporal; valores “ $Z$ ” negativos indicam uma tendência negativa. Se  $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$ ,  $H_0$  é rejeitada e existe uma tendência estatisticamente significativa na série temporal. O valor crítico de  $Z_{1-\alpha/2}$  para o valor  $p$  de 0,05 na tabela de distribuição normal padrão ( $Z$ ) é 1,96 (GUPTA *et al.*, 2018). Em geral, o valor de  $p < 0,05$  ou menor significa que há uma probabilidade de apenas 5% de que a diferença encontrada na variação temporal da precipitação não seja verdadeira, apesar de, estatisticamente, ter sido assim demonstrada.

O método de Curvatura de Sen (SEN, 1968) consiste em uma estatística não-paramétrica utilizada para ajustar de forma robusta uma linha aos pontos de amostra no plano (regressão linear simples), escolhendo a mediana das inclinações de todas as linhas por meio de pares de pontos, calculada como:

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k} \quad \text{Para } i = 1, \dots, n \quad (9)$$

onde  $X_j$  e  $X_k$  são os valores dos dados nos tempos  $j$  e  $k$  ( $j > k$ ), respectivamente. Se houver apenas um dado em cada período, então  $N = n(n-1)/2$ , onde  $n$  é o número de períodos de tempo. E se existem várias observações em um ou mais períodos, então  $N < n(n-1)/2$ . Os  $n$  valores de  $Q_i$  são classificados do menor para o maior e a mediana da inclinação é calculada como:

$$Q_{\text{med}} = \begin{cases} Q_{[(n+1)/2]}, & \text{Se } n \text{ é ímpar} \\ \frac{Q_{[n/2]} + Q_{[(n+2)/2]}}{2}, & \text{Se } n \text{ é par} \end{cases} \quad (10)$$

O sinal  $Q_{\text{med}}$  reflete a tendência dos dados, enquanto seu valor indica a inclinação da tendência. Para determinar se a inclinação mediana é estatisticamente

diferente de zero, deve-se obter o intervalo de confiança de  $Q_{med}$  com probabilidade específica (PATINO; FERREIRA, 2015). O intervalo de confiança sobre a inclinação do tempo (GILBERT, 1987) pode ser calculada da seguinte forma:

$$C_{\alpha} = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{Var(S)} \quad (11)$$

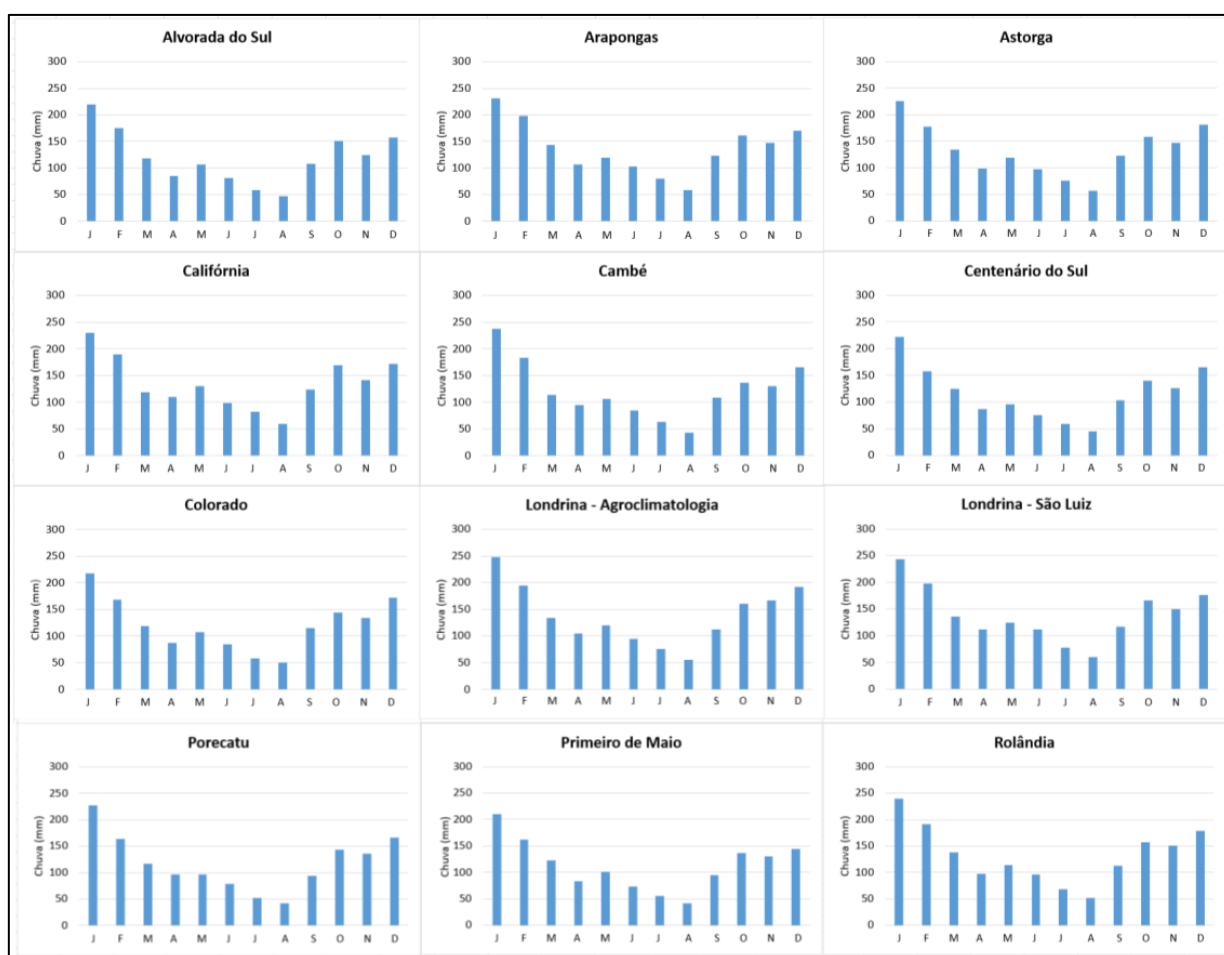
onde  $Var(S)$  é definido na Eq. 7 e  $Z_{1-\alpha/2}$  é obtido da tabela de distribuição normal padrão. Neste estudo, o intervalo de confiança foi calculado com níveis de significância de  $p = 0,05$ ; a inclinação  $Q_{med}$  é estatisticamente diferente de zero se os dois limites ( $Q_{min}$  e  $Q_{max}$ ) tiverem sinais similares (PATINO, 2015). Ressalta-se que, o teste de Mann-Kendall e Curvatura de Sen foram calculados a partir do software Auto\_MK\_Sen (SONALI; KUMAR, 2013), tendo como *input* a precipitação mensal da série histórica (1987-2018).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização climática regional

A Região Geográfica Intermediária de Londrina apresenta duas estações do ano bem definidas, tendo como base o ano hidrológico: uma chuvosa entre outubro e março e outra com redução das chuvas entre abril e setembro. O mês de agosto destaca-se como o mais seco, com média de 50mm e janeiro como o mais úmido (228mm). De maneira geral, as médias históricas mensais das chuvas ocorrem de forma semelhante em todos os municípios estudados, configurando uma região pluviométrica homogênea, como abordado na figura 24.

**Figura 24.** Distribuição das precipitações médias mensais (1987-2018) nas estações meteorológicas estudadas.

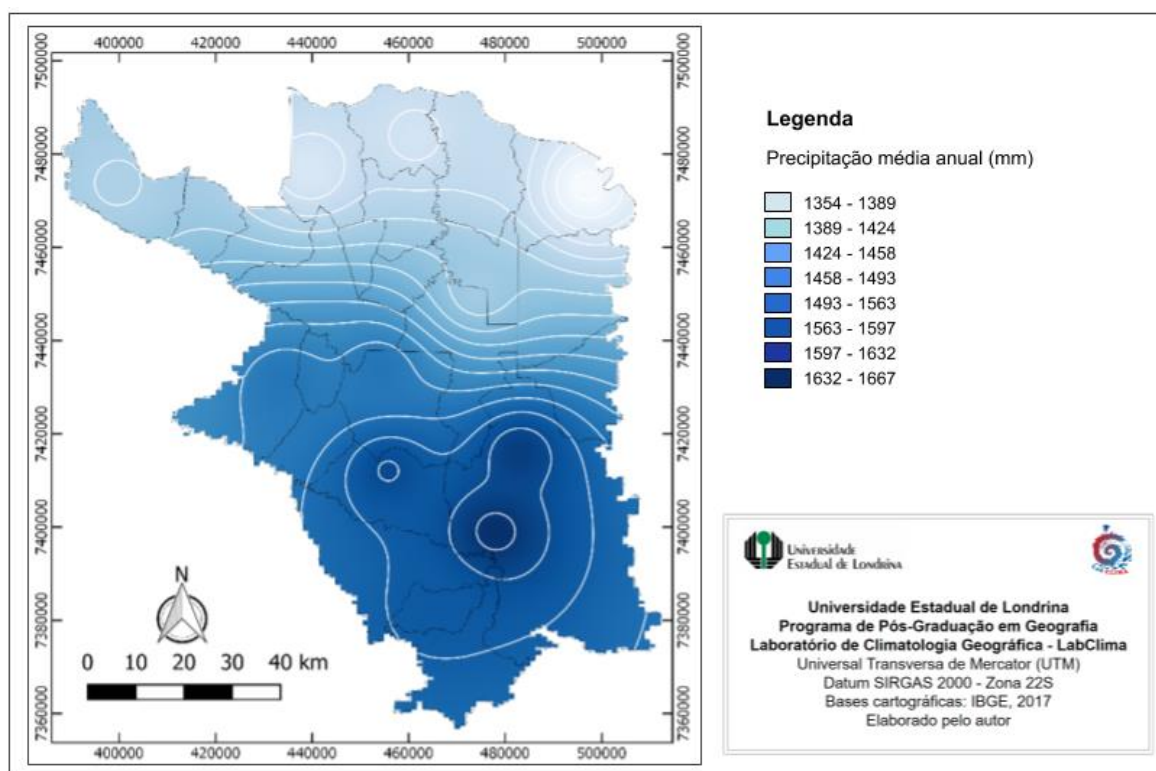


**Fonte:** Águas Paraná, 2018 e elaborado pelo autor.



A variabilidade espacial das chuvas se dá no sentido sul-norte, com os municípios localizados no norte apresentando menor precipitação pluviométrica, como Primeiro de Maio (Figura 25).

**Figura 25.** Média anual das precipitações (mm) na Região Geográfica Intermediária de Londrina (1987-2018).



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O município de Primeiro de Maio, localizado no norte da região, apresenta uma redução de 23% na pluviometria quando comparado ao município mais chuvoso, Londrina. Na tabela 7 exemplifica-se o volume e variação das chuvas nos trimestres de outubro, novembro e dezembro (OND), janeiro, fevereiro e março (JFM), abril, maio e junho (AMJ) e julho, agosto e setembro (JAS) para as estações meteorológicas de Primeiro de Maio e Londrina (distrito de São Luiz):

**Tabela 7.** Volume e variação das chuvas no trimestre OND em Primeiro de Maio e Londrina (1987-2018).

	Chuva OND P. de Maio	Chuva OND Londrina S. Luiz	Variação (%)	Variação média decadal (%)
1987-1988	519.4	627.4	21%	20%
1988-1989	424.4	397.8	-6%	
1989-1990	693.1	567.8	-18%	
1990-1991	325.2	342.8	5%	
1991-1992	396.2	432.3	9%	
1992-1993	307	431.2	40%	
1993-1994	402.5	489.5	22%	
1994-1995	234.3	429.3	83%	
1995-1996	354.1	467.9	32%	
1996-1997	542.4	631	16%	
1997-1998	489	528.4	8%	17%
1998-1999	479.1	451.1	-6%	
1999-2000	248	255	3%	
2000-2001	367.9	448.2	22%	
2001-2002	371.7	443.6	19%	
2002-2003	365.6	594.5	63%	
2003-2004	253.1	333.8	32%	
2004-2005	505.4	581.9	15%	
2005-2006	394.5	433.6	10%	
2006-2007	409.1	424.2	4%	
2007-2008	354.7	445.4	26%	32%
2008-2009	212	322.3	52%	
2009-2010	657.7	790.6	20%	
2010-2011	406.9	450.5	11%	
2011-2012	325.5	498.8	53%	
2012-2013	431.1	440	2%	
2013-2014	348.4	435.1	25%	
2014-2015	310.6	387.3	25%	
2015-2016	742.7	892.4	20%	
2016-2017	267	441.6	65%	
2017-2018	477.8	718.7	50%	

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O trimestre OND demarca o período de aumento das chuvas na região. Para ambas as estações, o ano hidrológico de 2015/2016 apresentou o maior índice de chuva no trimestre OND. Esse fato se deve à atuação do fenômeno oceânico-atmosférico El-Niño, que neste ano foi classificado como muito forte pela Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA), gerando fortes chuvas na região Sul do Brasil.

O trimestre JFM é o mais chuvoso para a região, justificado pelo maior volume pluviométrico nas doze estações meteorológicas estudadas.

**Tabela 8.** Volume e variação das chuvas no trimestre JFM em Primeiro de Maio e Londrina (1987-2018).

	Chuva JFM P. de Maio	Chuva JFM Londrina S. Luiz	Variação (%)	Variação média decadal (%)
1987-1988	215.9	391.2	81%	24%
1988-1989	627.1	620.6	-1%	
1989-1990	354.5	488.2	38%	
1990-1991	412.5	491.8	19%	
1991-1992	547.8	638.3	17%	
1992-1993	467.4	584.9	25%	
1993-1994	486.4	506	4%	
1994-1995	645	773.4	20%	
1995-1996	549	598.4	9%	
1996-1997	634.7	792.3	25%	
1997-1998	449.6	901.6	101%	22%
1998-1999	781.7	683.4	-13%	
1999-2000	666.7	536.1	-20%	
2000-2001	410.7	599.1	46%	
2001-2002	381.5	457.5	20%	
2002-2003	415	607.5	46%	
2003-2004	327	247.5	-24%	
2004-2005	510.8	669	31%	
2005-2006	505.6	622.8	23%	
2006-2007	655.6	718.7	10%	
2007-2008	466.9	344.5	-26%	11%
2008-2009	560.2	609	9%	
2009-2010	514.7	775.3	51%	
2010-2011	526.6	456.4	-13%	
2011-2012	425.1	289	-32%	
2012-2013	425.2	641.4	51%	
2013-2014	475.6	502.4	6%	
2014-2015	500.9	519.7	4%	
2015-2016	594.5	813.3	37%	
2016-2017	387.6	443.6	14%	
2017-2018	468.8	586.2	25%	

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Destaca-se os anos hidrológicos de 2006/2007 (El-Niño fraco), 1997/1998 (El-Niño muito forte) e 2015/2016 (El-Niño muito forte) com as maiores alturas pluviométricas registradas pela estação meteorológica de Londrina (distrito de São Luiz). Por outro lado, o trimestre AMJ mostra a redução das precipitações na região, apresentando declínio na variação média decadal das chuvas quando comparados os

dados pluviométricos de Primeiro de Maio e Londrina, observado também no trimestre DJF.

**Tabela 9.** Volume e variação das chuvas no trimestre AMJ em Primeiro de Maio e Londrina (1987-2018).

	Chuva AMJ P. de Maio	Chuva AMJ Londrina S. Luiz	Variação (%)	Variação média decadal (%)
1987-1988	401.2	578.9	44%	44%
1988-1989	162.9	271.2	66%	
1989-1990	176	242.5	38%	
1990-1991	235.6	532.2	126%	
1991-1992	427.6	512.8	20%	
1992-1993	257.2	349.4	36%	
1993-1994	267	398.8	49%	
1994-1995	234.6	255.7	9%	
1995-1996	168	143.9	-14%	
1996-1997	371.2	603.6	63%	
1997-1998	312.7	497.9	59%	42%
1998-1999	281.4	273.3	-3%	
1999-2000	107.8	171	59%	
2000-2001	206.8	403.1	95%	
2001-2002	242.8	359.6	48%	
2002-2003	180.2	179	-1%	
2003-2004	341.5	574.8	68%	
2004-2005	214	252.1	18%	
2005-2006	79.3	142.4	80%	
2006-2007	185.5	184.9	0%	
2007-2008	217.7	265.7	22%	31%
2008-2009	146.9	260.8	78%	
2009-2010	174.5	211.4	21%	
2010-2011	171.1	133.4	-22%	
2011-2012	599.7	529.5	-12%	
2012-2013	520.8	655.4	26%	
2013-2014	193.7	394	103%	
2014-2015	162.5	264.6	63%	
2015-2016	284.2	397.2	40%	
2016-2017	397.4	378.5	-5%	
2017-2018	72.9	95.7	31%	

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Embora o ano de 2011/2012 tenha sido marcado pela ocorrência de La-Niña de intensidade moderada e 2012/2013 pela ausência de anomalias. O trimestre JAS é o

mais seco da região, com média de 75mm. Porém, observou-se um aumento das chuvas no trimestre para ambos os municípios nos três intervalos decadais analisados.

**Tabela 10.** Volume e variação das chuvas no trimestre JAS em Primeiro de Maio e Londrina (1987-2018).

	Chuva JAS P. de Maio	Chuva JAS Londrina S. Luiz	Variação (%)	Variação média decadal (%)
1987-1988	30.2	32.7	8%	36%
1988-1989	322.6	320.9	-1%	
1989-1990	337.6	487.5	44%	
1990-1991	95.9	138.7	45%	
1991-1992	261.2	320.6	23%	
1992-1993	153.1	268.3	75%	
1993-1994	48.8	70.9	45%	
1994-1995	200.3	291.9	46%	
1995-1996	193	122.6	-36%	
1996-1997	89.5	185.9	108%	
1997-1998	320.8	468.9	46%	28%
1998-1999	149.9	141.4	-6%	
1999-2000	350.1	359.9	3%	
2000-2001	154.8	233.9	51%	
2001-2002	229.3	315.3	38%	
2002-2003	229.6	197.8	-14%	
2003-2004	76.9	129	68%	
2004-2005	171.7	210.1	22%	
2005-2006	196.6	264.8	35%	
2006-2007	217.9	299.7	38%	
2007-2008	126.2	326	158%	53%
2008-2009	451.4	459	2%	
2009-2010	163.8	151.5	-8%	
2010-2011	94.9	276.7	192%	
2011-2012	130.9	47	-64%	
2012-2013	111.6	122.2	9%	
2013-2014	232.4	389.6	68%	
2014-2015	377.5	655.4	74%	
2015-2016	143.5	232.9	62%	
2016-2017	81.4	149.9	84%	
2017-2018	294.5	305.4	4%	

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A elevação no aumento das chuvas indica a necessidade da conservação da cobertura vegetal do solo, tendo em vista que os solos na região tendem a ficar descobertos durante o inverno para a maioria das áreas onde há plantio de culturas

tropicais. Para além disso, como debatido por Carvalho *et al.* 2007, a proteção do solo com cobertura vegetal como das lavouras cafeeiras e de milho resguardam-nos em 60%, se comparados aos solos descobertos.

Visando compreender a variabilidade espacial dos eventos significativos de precipitação (iguais ou superiores a 30mm/dia), propostos como atributo pluviométrico-base para o estudo nas megaparcels pelo edital 01/2017 do Programa da Rede Paranaense de Apoio a Agropesquisa e Formação Aplicada/ Fundação Araucária/Seti/Senar/PR, foram feitos levantamentos pluviométricos em cinco estações meteorológicas localizadas em um raio de 100km da microbacia localizada em Cambé/PR no ano hidrológico de 2018-2019. (Tabela 11).

**Tabela 11.** Estações meteorológicas circundantes a microbacia localizada em Cambé/PR e seus respectivos eventos de precipitação iguais ou superiores a 30mm/dia no ano de 2018.

<b>Estação</b>	<b>Código</b>	<b>Município</b>	<b>Nº de eventos</b>
Microbacia Cambé		Cambé	9
Astorga	2351051	Astorga	14
Arapongas	2351048	Arapongas	16
Chácara A. Cláudia	2350067	Ibiporã	14
Agrometeorológica	2351003	Londrina	17
São Martinho	2351053	Rolândia	14

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A partir dos dados apresentados foi constatada uma menor frequência dos eventos significativos de precipitação na área de estudo, sendo os eventos dos dias 04/08/2018 (86,7mm/dia), 10/09/2018 (86,1mm/dia), 28/05/2019 (80,2mm/dia) e 23-24/11/2018 (72,7mm/dia) os mais intensos ocorridos na microbacia.

#### **4.1.1. Monitoramento dos períodos secos e úmidos – Índice Padronizado de Precipitação (sigla em inglês – SPI)**

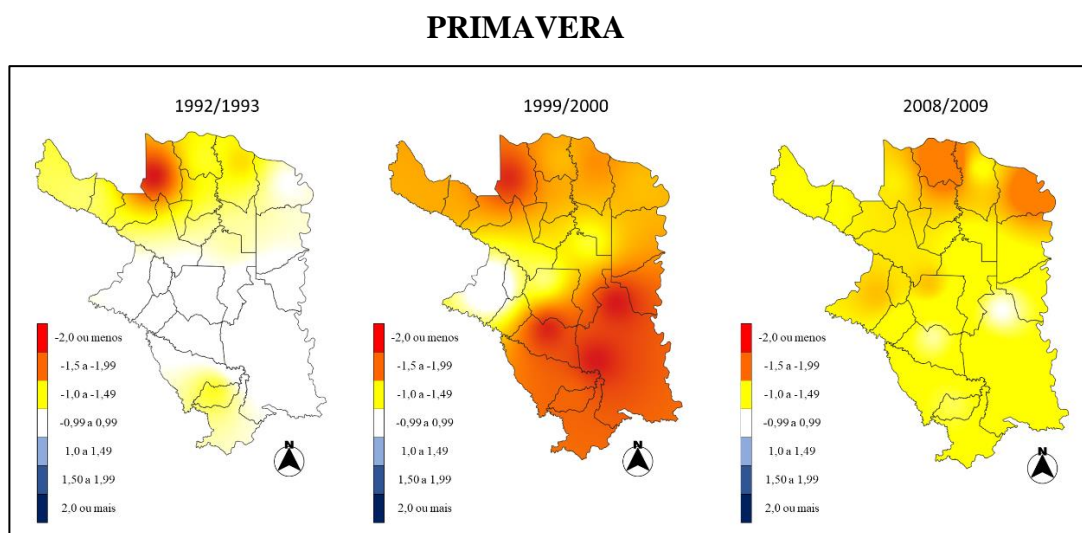
A principal estação agrícola da Região Geográfica Intermediária de Londrina (RGIL) inicia durante a primavera, entre os meses de setembro e outubro, com o aumento das alturas pluviométricas. O mês de outubro representa o período de pico da semeadura da soja. Salienta-se que, nos últimos três anos, com o aumento das chuvas

durante os meses de agosto e setembro, é comum encontrar lavouras semeadas na última quinzena do mês de setembro, que está em acordo com a legislação fitossanitária adotada pela Agência de Defesa Agropecuária do Paraná (ADAPAR) para o vazio sanitário.

Tendo em vista a colheita, fenologia e calendário das safras, as chuvas nos meses de setembro e outubro desempenham papel vital na agricultura local. Em contrapartida, períodos de seca durante a época de semeadura afetam diretamente a situação agrícola da região. Desta forma, a análise do SPI-3 foi realizada para cada estação do ano (primavera, verão, outono e inverno), selecionados os três anos hidrológicos mais críticos marcados por estações extremamente úmidas ou extremamente secas.

Dentro da série histórica analisada (1987-2018), a RGIL apresentou durante a primavera um período seco e outro chuvoso bem marcado, sendo o mais seco entre 1999/2000 (Figura 26) e o chuvoso entre 2015/2016. Os anos classificados como SPI normais foram 2001/2002, 2006/2007 e 2011/2012.

**Figura 26.** Índice padronizado de precipitação (SPI-3) dos anos secos para a Região Geográfica Intermediária de Londrina durante a primavera.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Os anos de 1992/1993, 1999/2000 e 2008/2009 (figura 26) apresentaram os menores SPI's durante a primavera na RGIL, atingindo -2,22 no município de Centenário do Sul. Durante a primavera nos anos de 1992/1993 houve o predomínio de

SPI's normais na região centro-sul da RGIL, tendendo a moderadamente secos. Já na região centro-norte encontram-se áreas moderadamente secas, muito secas e extremamente secas concentradas no município de Centenário do Sul.

A primavera dos anos de 1999/2000 (figura 26) foi marcada por áreas secas em quase toda RGIL, sendo comuns áreas extremamente secas na região centro-sul e, ao norte, no município de Centenário do Sul. Por fim, os anos de 2008/2009 indicam o predomínio de SPI's entre -1,0 a -1,49, definindo um período moderadamente seco; o norte apresentou áreas muito secas mais extensas, próximas aos municípios de Porecatu, Alvorada do Sul e Primeiro de Maio.

Os anos de primavera extremamente seca foram identificados em 1999/2000, provocando queda significativa na produção da soja no sul do Brasil, como mencionado por Sperling *et al.* (2012) nos anos 2000. Destaca-se que a água constitui aproximadamente 90% do peso da cultura da soja, sendo requerida principalmente em dois períodos de desenvolvimento, na germinação-emergência e floração-enchimento de grãos (EMBRAPA, 2009) o que não ocorre, portanto, em períodos de estiagem.

Outra cultura prejudicada durante a estiagem nos anos de 1999/2000 no estado do Paraná foi o feijão, com redução de 12,4% da área plantada (YOKOYAMA *et al.*, 2000). A estiagem interfere na fase de enchimento das sementes, impedindo-a de estocar de forma mais eficiente os nutrientes nos seus tecidos de reserva (cotilédones) (LIMA *et al.* 2019).

As primaveras extremamente úmidas foram encontradas nos anos de 2015/2016 (figura 27), afetando o cultivo de cebola no estado. O excesso de chuvas eleva a ocorrência da doença conhecida como mancha-púrpura, causada pelo fungo *Alternaria porri*, que ataca às hastes florais e inflorescências de cebola, impede a formação de sementes e permite a formação de manchas ao longo da planta (EMBRAPA, 2014).

Os anos de 2015/2016 marcam um El-Niño muito forte, justificando o aumento das chuvas durante o fim do ano de 2015 e início do ano de 2016. Como apresentado por Pscheidt e Grimm (2009) a região sul do Brasil é notadamente conhecida pela forte influência do fenômeno El Niño sobre a variabilidade pluviométrica, havendo elevação na precipitação pluvial nos últimos meses do ano, principalmente entre novembro-dezembro.

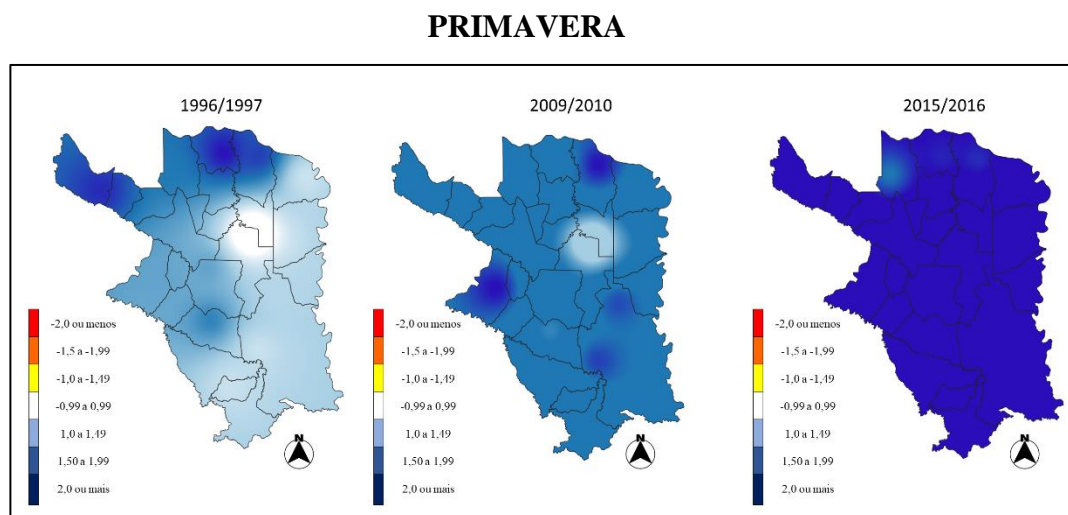
Somado a presença do El-Niño, foram observados sistemas frontais e jatos de baixos níveis que trazem umidade da região amazônica, além da maior atuação do sistema de baixa pressão do Chaco com a Massa Tropical Continental (mTc), associada



à Massa Equatorial Continental (mEc) que contribuíram para a expressiva pluviosidade no oeste e norte do Paraná no ano de 2015/2016 (MARINS; MASSOQUIM, 2017).

Assim, os anos de primaveras úmidas foram 1996/1997, 2009/2010 e 2015/2016 (Figura 27). Entre 1996/1997 os SPI's de 1,0 e 1,49 foram predominantes na região central, nordeste e sul da RGIL. Por outro lado, os setores noroeste e norte apresentaram SPI igual ou superior a 2,0, sendo classificadas como extremamente úmidas.

**Figura 27.** Índice padronizado de precipitação (SPI-3) dos anos úmidos para a Região Geográfica Intermediária de Londrina durante a primavera.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Em 2009/2010 houve aumento pluviométrico se comparado a primavera anterior, identificada como extremamente úmida (1996/1997), ocorrendo uma homogeneização das chuvas em toda RGIL, com SPI entre 1,5 e 1,99; classificado como período muito úmido (figura 27). Alvorada do Sul, Astorga e Londrina apresentaram SPI's superiores a 2,00; classificadas como áreas extremamente úmidas.

Com SPI's superiores a 3,00, a RGIL foi classificada como extremamente úmida nos anos de 2015/2016, com pluviosidade superior às duas primaveras anteriormente comentadas (figura 27); sendo que as áreas localizadas ao sul da RGIL foram as que apresentaram os maiores SPI's (Cambé 2,94, Londrina - 3,07 e Rolândia - 3,11).

O verão marca o pico das chuvas na RGIL, sendo os meses de janeiro e fevereiro os mais chuvosos. Neste período, a soja, enquanto principal cultura de verão na RGIL está na etapa de desenvolvimento, com maior necessidade de água para o enchimento dos grãos (etapa R5) (RIBEIRO, 2000). As chuvas neste período são de suma

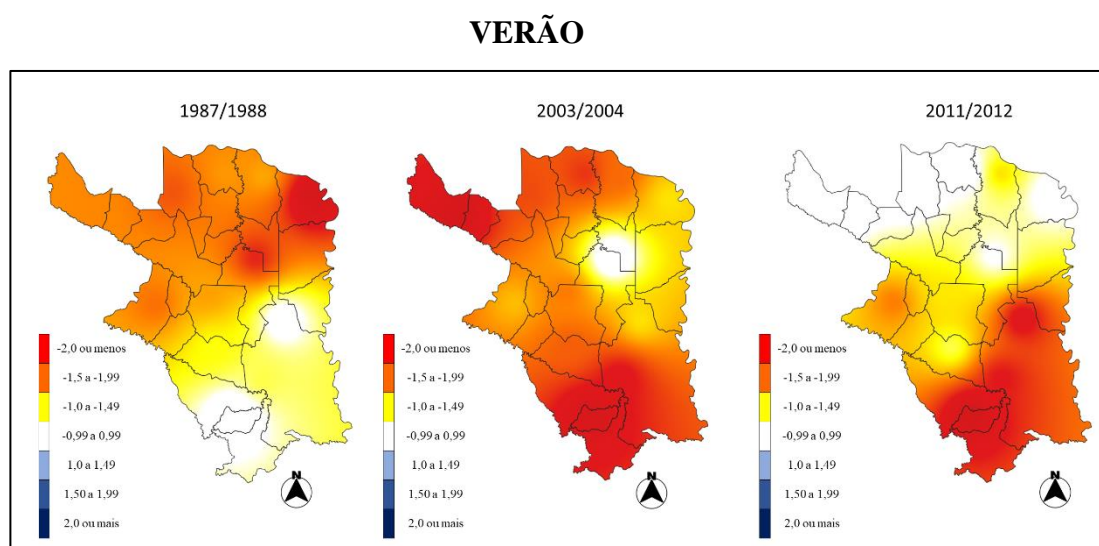
importância para o desenvolvimento dos grãos, visto que 90% da cultura da soja é formada por água (FARIAS *et al.* 2007).

Deste modo, períodos de seca durante a época de enchimento dos grãos afetam diretamente a produtividade agrícola, causando não apenas perdas econômicas, mas ainda reduzindo a concentração de palhada, importante para a nutrição química na cultura sucessora, como o milho safrinha, por exemplo.

Dentro da série histórica analisada, a RGIL não apresentou períodos secos ou chuvosos bem definidos durante o verão. Porém, destaca-se o verão de 2003/2004 como o mais seco e 2015/2016 como o mais chuvoso, resultado semelhante ao encontrado por Ely (2019) (figuras 28 e 29). Os anos classificados como SPI's normais foram 1990/1991 e 2012/2013.

Os anos com verões extremamente secos foram 1987/1988, 2003/2004 e 2011/2012 (Figura 28). Em ambos os anos, Cambé e Centenário do Sul apresentam SPI's negativos (entre -0,42 a -2,40). Ressalta-se que tanto em 2003/2004 e 2011/2012 a atuação de uma La-Niña moderada no sul do Brasil reduziu as chuvas, impactando a produção de grãos nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul (XIMENES *et al.* 2013).

**Figura 28.** Índice padronizado de precipitação (SPI-3) dos anos secos para a Região Geográfica Intermediária de Londrina durante o verão.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

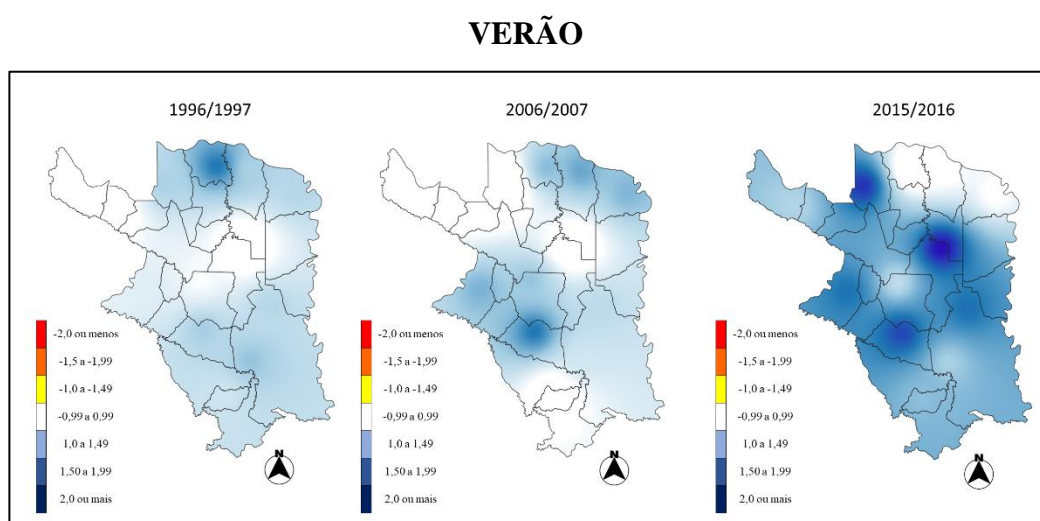
Os anos de 1987/1988, 2003/2004 e 2011/2012 apresentaram os menores SPI's durante o verão na RGIL, atingindo -2,99 no município de Primeiro de Maio. Durante o

verão nos anos de 1987/1988, as áreas muito secas e extremamente secas estavam localizadas na porção norte da RGIL, com destaque para Primeiro de Maio. A porção centro-sul apresentou áreas moderadamente secas e normais, com destaque para Califórnia.

O verão dos anos de 2003/2004 foi marcado por áreas secas em quase toda RGIL (figura 28), verificando-se áreas extremamente secas nos municípios de Astorga, Londrina e Califórnia; com exceção do município de Cambé, classificado com SPI normal.

Já os anos de 2011/2012 foram muito secos ou extremamente secos na porção centro-sul da RGIL (figura 28), com destaque para Londrina e Califórnia. A porção centro-norte e noroeste foi classificada como moderadamente seca a normal (SPI entre -0,27 a -1,29). Os anos de verões extremamente úmidos foram os mesmos da primavera (2015/2016), marcados pelo SPI superior a 2,00 em Arapongas, Cambé e Centenário do Sul. Assim, os anos dos verões mais úmidos foram 1996/1997, 2006/2007 e 2015/2016. Entre 1996/1997 os municípios de Alvorada do Sul, Arapongas, Centenário do Sul, Londrina e Primeiro de Maio foram classificados como moderadamente úmidos, enquanto Porecatu foi classificado como muito úmido.

**Figura 29.** Índice padronizado de precipitação (SPI-3) dos anos úmidos para a Região Geográfica Intermediária de Londrina durante o verão.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

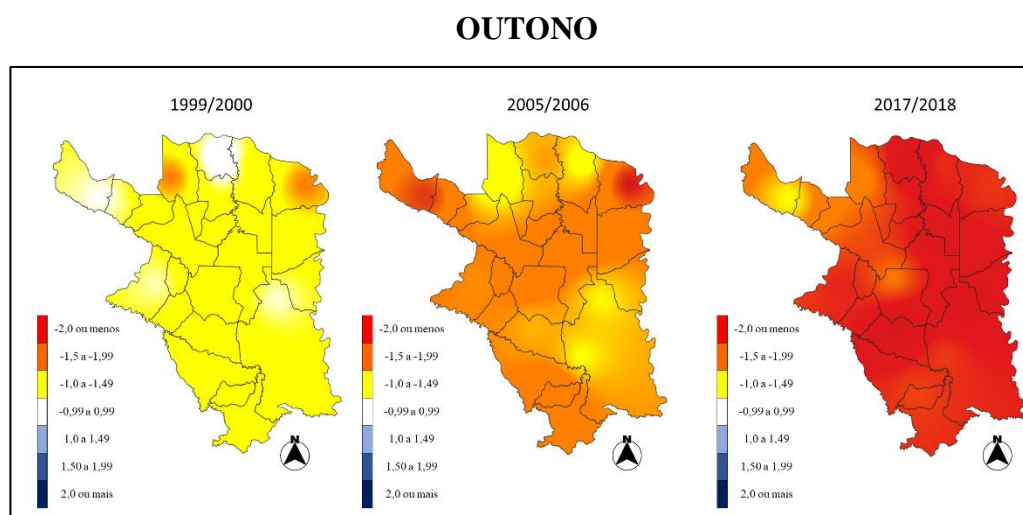
No período de 2006/2007 foram verificadas áreas com SPI's normais, moderadamente úmidas e muito úmidas, sendo Arapongas o único município

classificado como muito úmido (Figura 29). Entretanto, o período compreendido entre 2015/2016 apresentou o predomínio de áreas muito úmidas ou extremamente úmidas, em um cordão desde Arapongas a Centenário do Sul.

O outono demarca o começo da redução da precipitação na RGIL, como apresentado nos gráficos de precipitação média mensal no início do capítulo. E, analisando a série histórica, observa-se que a partir de 2005/2006 os outonos secos e chuvosos se alternam entre cinco a seis anos, sendo período seco (2005-2011), período chuvoso (2011-2017) e o início de um novo período seco a partir de 2017.

Destaca-se o outono de 2017/2018 como o mais seco e 2011/2012 como o mais chuvoso (figura 30 e 31). Os anos classificados com SPI's normais foram 1988/1989, 1989/1990, 1992/1993, 2000/2001, 2001/2002, 2004/2005, 2013/2014 e 2014/2015. Os anos de outono extremamente secos foram 1999/2000, 2005/2006 e 2017/2018. Comparativamente, houve uma intensificação gradativa dos períodos secos, sob uma escala temporal anual, ou seja, o ano 2017/2018 se mostrou mais seco em quase a totalidade da RGIL, se comparado ao segundo ano mais seco (2005/2006) e terceiro ano mais seco (1999/2000).

**Figura 30.** Índice padronizado de precipitação (SPI-3) dos anos secos para a Região Geográfica Intermediária de Londrina durante o outono.



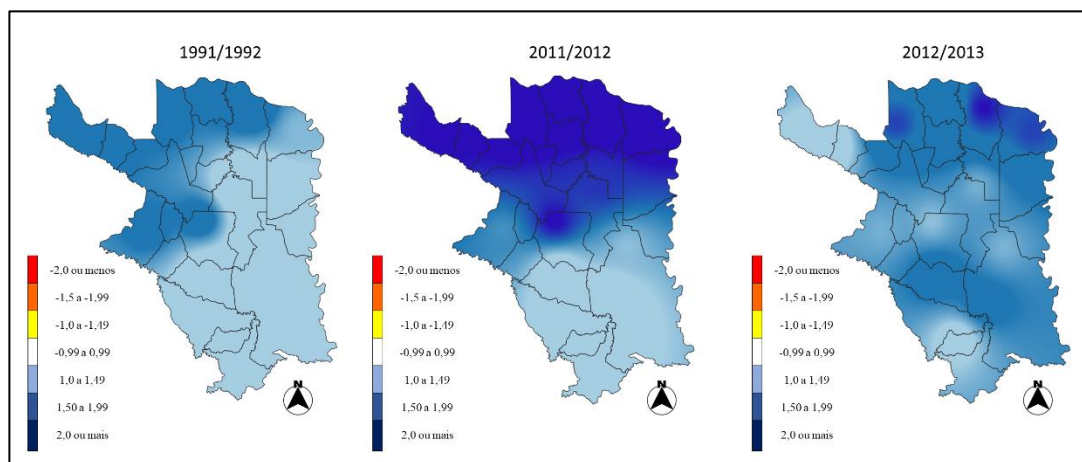
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Os anos de outono úmidos ocorreram em 1991/1992, 2011/2012 e 2012/2013 (figura 31). Em 2011/2012 o SPI-3 de Centenário do Sul foi de 2,43, maior valor da série histórica para esta estação do ano. Entre 2011/2012 os municípios de Alvorada do

Sul, Centenário do Sul, Colorado, Porecatu, Primeiro de Maio e Rolândia foram classificados com SPI-3 extremamente úmidos.

**Figura 31.** Índice padronizado de precipitação (SPI-3) dos anos úmidos para a Região Geográfica Intermediária de Londrina durante o outono.

### OUTONO



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Nos anos de 1991/1992 observa-se duas áreas bem definidas classificadas como muito úmidas ao norte e noroeste da RGIL e moderadamente úmidas nas demais regiões (figura 31). Enquanto em 2011/2012 a porção centro-norte foi classificada como extremamente úmida e a porção centro-sul como moderadamente úmida, havendo ainda uma faixa de transição oeste-leste na parte central da RGIL classificada como muito úmida.

Por fim, o outono do ano de 2012/2013 apresenta as chuvas distribuídas de forma mais homogênea se comparada aos demais anos, com o predomínio de áreas classificadas como muito úmidas. As exceções são encontradas nos municípios de Centenário do Sul (extremamente úmido), Califórnia e Colorado (moderadamente úmidas) (Figura 31).

O inverno na RGIL indica a estação com menor precipitação (figura 32) e, consequentemente, o período da entressafra agrícola. Em muitas propriedades, principalmente naquelas onde o Sistema Plantio Direto (SPD) não é aplicado, o inverno consiste na estação em que o solo fica exposto ou com reduzida concentração de cobertura vegetal/palhada, favorecendo o surgimento de sulcos erosivos.

Embora os invernos na RGIL indiquem a estação do ano com menor total pluviométrico, os resultados para o SPI-3 evidenciam o aumento dos municípios



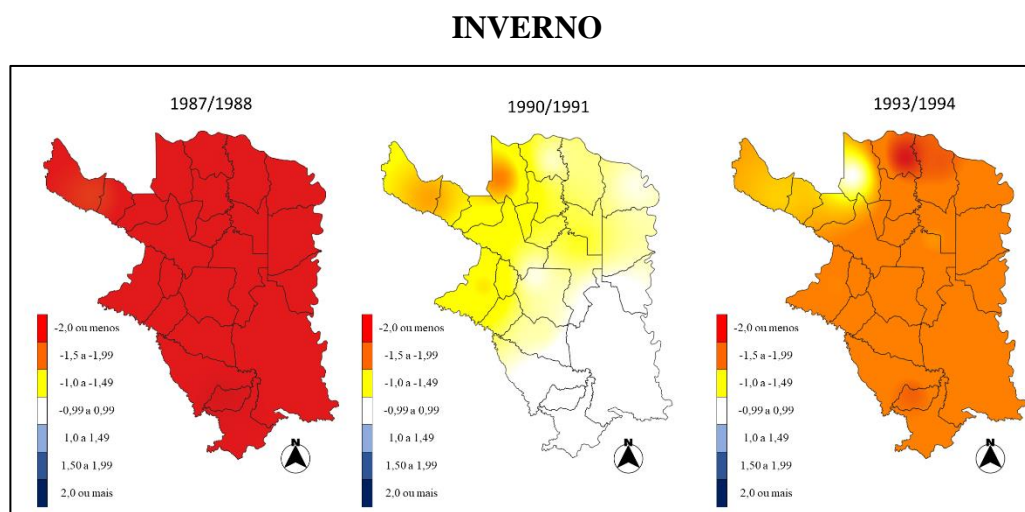
classificados como extremamente úmidos ao longo dos anos: entre 1987 e 1996 apenas o município de Londrina apresentou SPI-3 superior a 2,00, ocorrido no ano de 1990; entre 1997 a 2006 apenas Astorga apresentou SPI-3 superior a 2,00, ocorrido no ano de 1997. Já entre 2007 a 2018 o SPI-3 para o inverno superior a 2,00 ocorreu dez vezes diversos municípios da RGIL, reiterando a importância da manutenção da palhada no solo ao longo de todo o ano.

Foram identificados invernos chuvosos: 1997/1998, 2008/2009 e 2014/2015. Os anos com invernos normais ocorreram em 1991 a 1995, 1998/1999, 2000 a 2003, 2004 a 2008, 2012/2013 e 2015/2016 e aqueles identificados como secos na RGIL foram: 1987/1988, 1990/1991 e 1993/1994.

O ano de 1987/1988 foi classificado com SPI-3 extremamente seco quase que na totalidade da RGIL (Figura 32), com exceção de Colorado, classificado como muito seco. Neste ano a ocorrência de La-Niña forte contribuiu para a redução das chuvas no inverno, afetando desde o sul de São Paulo e Mato Grosso do Sul ao Rio Grande do Sul (NERY, 2005; PESSINI, 2017).

Em 1990/1991 foram verificadas áreas muito secas isoladas entre Centenário do Sul e Colorado, enquanto as demais áreas do centro-norte foram classificadas em moderadamente secas. Já a porção centro-sul da RGIL foi classificada como normal, englobando municípios como Londrina, Califórnia e parte de Arapongas (Figura 32).

**Figura 32.** Índice padronizado de precipitação (SPI-3) dos anos secos para a Região Geográfica Intermediária de Londrina durante o inverno.



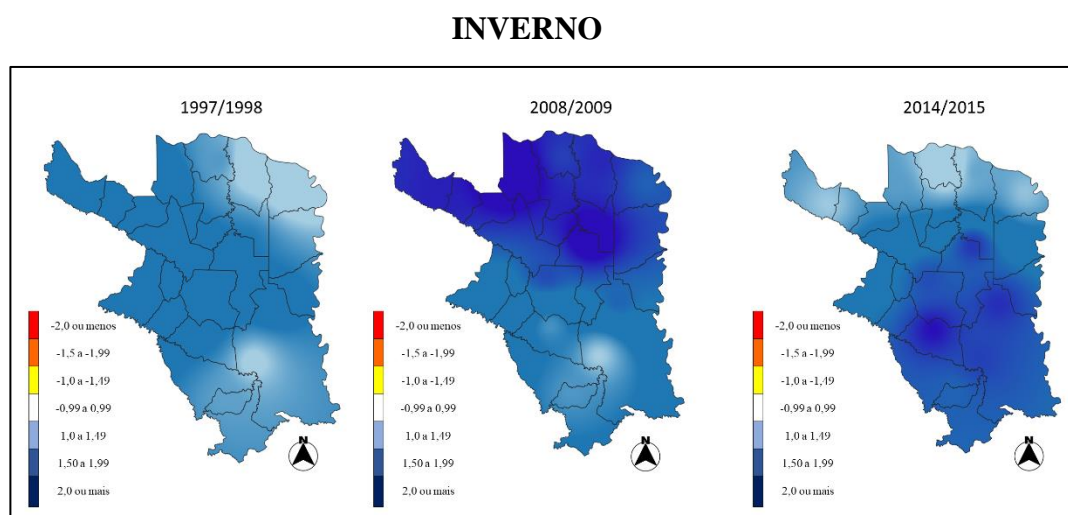
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O ano de 1993/1994 apresentou SPI-3 para o inverno inferior a -1,5 para grande parte da RGIL (Figura 32), se caracterizando como muito seca. As exceções ficaram para os municípios de Centenário do Sul (moderadamente seco a normal) e Porecatu (extremamente seco).

Os invernos chuvosos mais significativos ocorreram em 1997/1998, 2008/2009 e 2014/2015 e, em ambos os anos, predominando a classificação muito úmida (SPI-3 entre 1,5 e 1,99) (Figura 33). Como mencionado anteriormente, o ano de 1997/1998 foi marcado por áreas classificadas como muito úmidas, com pontos isolados em Porecatu, Alvorada do Sul e parte de Londrina (moderadamente úmida). Por outro lado, o ano de 2008/2009 indicou duas áreas bem marcadas na RGIL, sendo uma na região centro-norte classificada como extremamente úmida e outra na região centro-sul muito úmida.

Em 2014/2015 o extremo norte da RGIL apresentou áreas moderadamente úmidas, a citar Colorado e Porecatu. As áreas classificadas como extremamente úmidas foram Arapongas, Califórnia, Cambé, Londrina e Rolândia, estando localizadas na porção centro-sul da RGIL.

**Figura 33.** Índice padronizado de precipitação (SPI-3) dos anos úmidos para a Região Geográfica Intermediária de Londrina durante o inverno.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

#### 4.1.2. Limiares extremos de precipitação

Tendo em vista a variabilidade espacial das chuvas nas diferentes escalas abordadas no presente estudo, a definição dos limiares extremos de precipitação permite

observar, de forma detalhada, a dispersão geográfica em uma determinada região e o valor pluviométrico associado a tais eventos. Sendo assim, os dados diários de chuva ( $\geq 0,1\text{mm}$ ) das estações meteorológicas estudadas foram analisados aplicando os percentis 99%, 95% e 90% (Tabela 12).

O percentil 99% indica os eventos extremos de maior precipitação. A estação de Alvorada do Sul apresenta o menor limiar (76mm); enquanto Londrina-São Luiz com 165,1mm marca a estação com o maior. Ressalta-se ainda que o percentil 99% apresentou o maior desvio-padrão, indicando a maior variação entre os limiares nas estações meteorológicas estudadas.

Com relação ao percentil 95%, a estação meteorológica de Porecatu apresentou o menor limiar de 49,2mm; Londrina, novamente, apresentou maior limiar (69,3mm). Com relação ao percentil 90%, ocorreu o menor desvio-padrão entre as estações e uma média de 43mm. Neste percentil, o município de Londrina concentrou o menor e o maior limiar (Londrina-Agrometeorologia - 35mm/ Londrina-São Luiz - 55,3mm) (Figura 34).

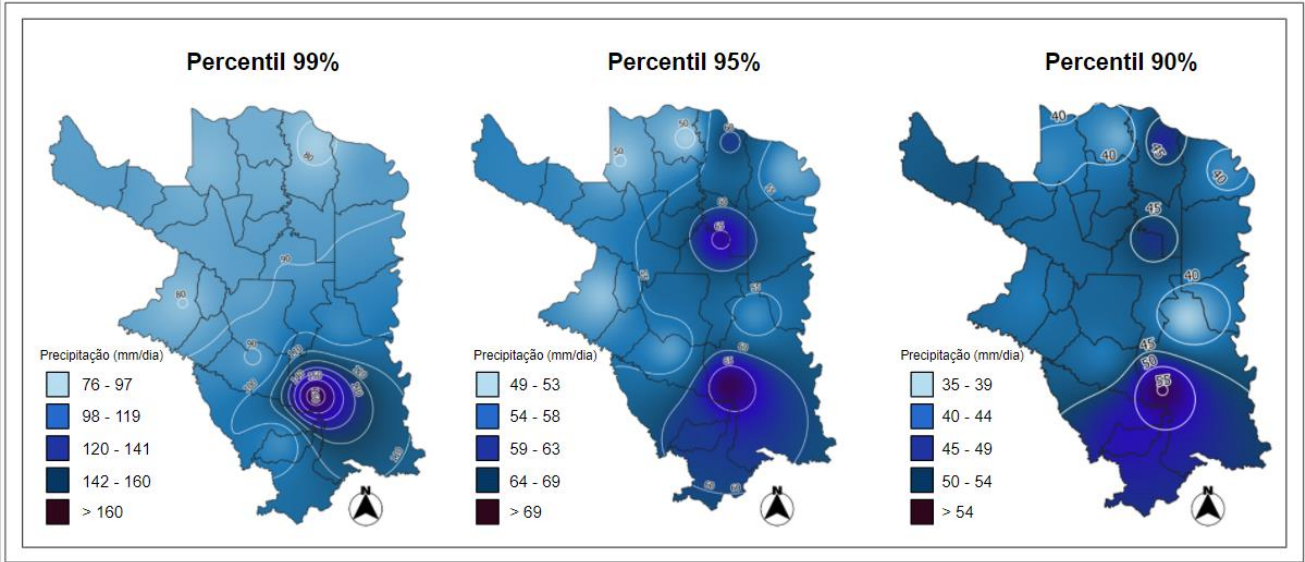
**Tabela 12.** Limiares de eventos extremos de precipitação em diferentes percentis para a Região Geográfica Intermediária de Londrina.

Estações meteorológicas/percentil	Precipitação (mm)		
	99%	95%	90%
Alvorada do Sul	76	60,9	48
Arapongas	89,2	52	40
Astorga	79,8	50	40
Califórnia	93	61	50
Cambé	89,1	65,8	46,9
Centenário do Sul	81,6	49,9	39
Colorado	89,4	53,6	44
Londrina-Agrometeorologia	93,8	53	35
Londrina-São Luiz	165,1	69,3	55,3
Porecatu	85,2	49,2	37
Primeiro de Maio	89,7	51,2	39
Rolândia	88	56,3	42
Média	93,3	56	43
Desvio-padrão	22,2	6,4	5,7

**Fonte:** Elaborado pelo autor.



**Figura 34.** Limiars de precipitação para os percentis 99%, 95% e 90% para as estações meteorológicas estudadas na Região Geográfica Intermediária de Londrina.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Diante do exposto, as estações meteorológicas localizadas no município de Londrina (Agrometeorologia e São Luiz) apresentaram variabilidade significativa nos percentis 99% e 90%. As referidas estações meteorológicas estão localizadas em diferentes realidades físico socioespaciais (Tabela 13) que podem justificar a variabilidade das chuvas.

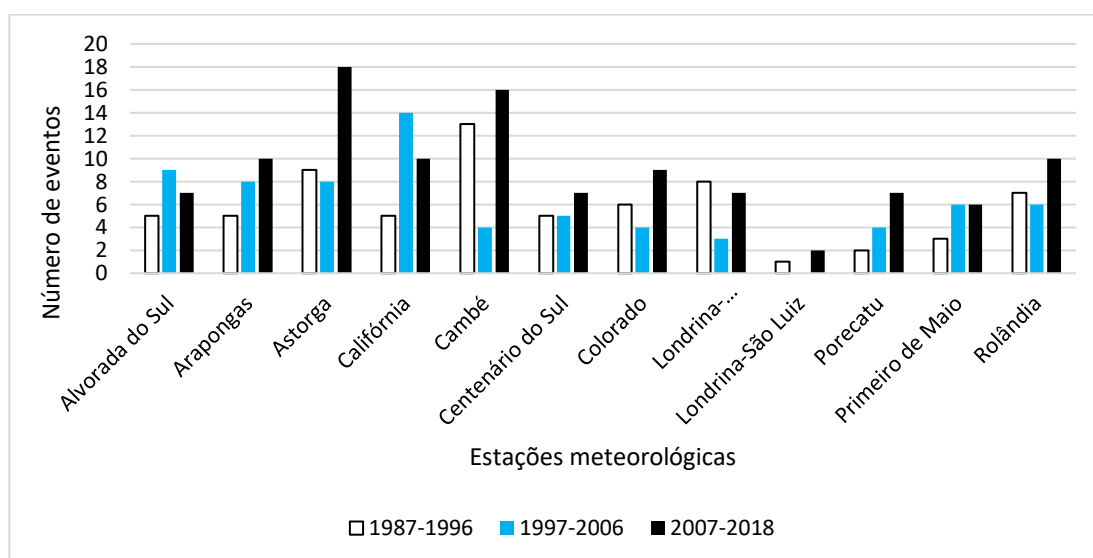
**Tabela 13.** Características socioespaciais e físicas das estações meteorológicas de Londrina-Agrometeorologia e Londrina-São Luiz.

	Paisagem	Altitude (m)	Fase do relevo	Órgão de monitoramento
Londrina-Agromet.	Urbano	585	Suave ondulado	IAPAR
Londrina-São Luiz	Rural	740	Ondulado	ÁGUAS PARANÁ

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Ao analisar a escala temporal dos eventos de precipitação inseridos no percentil 99% observou-se que 8 das 12 estações meteorológicas monitoradas apresentaram aumento do número destes eventos nos últimos 10 anos (Figura 35).

**Figura 35.** Número de eventos no percentil 99% em escala decadal (1987-1996, 1997-2006, 2007-2018) para as estações meteorológicas da Região Geográfica Intermediária de Londrina.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

#### 4.1.3. Índices climáticos

A adoção dos índices climáticos enquanto ferramenta de monitoramento favorecem o entendimento dos padrões de temperatura e precipitação, bem como sua distribuição no espaço. Desta forma, os índices climáticos aplicados nesta tese têm como objetivo a detecção de padrões pluviométricos que podem interferir na dinâmica dos solos nas megaparcels, elevando, reduzindo ou mantendo a erosão dos solos. A discussão a seguir se pautará na apresentação dos resultados dos índices climáticos obtidos a partir da manipulação do software Rclimindex 1.0 (ETCCDI/OMM).

Como descrito por Santos *et al.* (2009), o Rclimindex 1.0 fornece dados estatísticos e materiais cartográficos capazes de caracterizar as tendências climáticas e comparar diversas áreas ao redor do mundo. Os gráficos apresentados a seguir exibem a tendência linear calculada pela técnica dos mínimos quadrados, ou *slope estimate*; nível de significância estatística da tendência, ou *p-value*; coeficiente de determinação ( $R^2/100$ ) ou  $r^2$  e erro padrão (*slope error*).

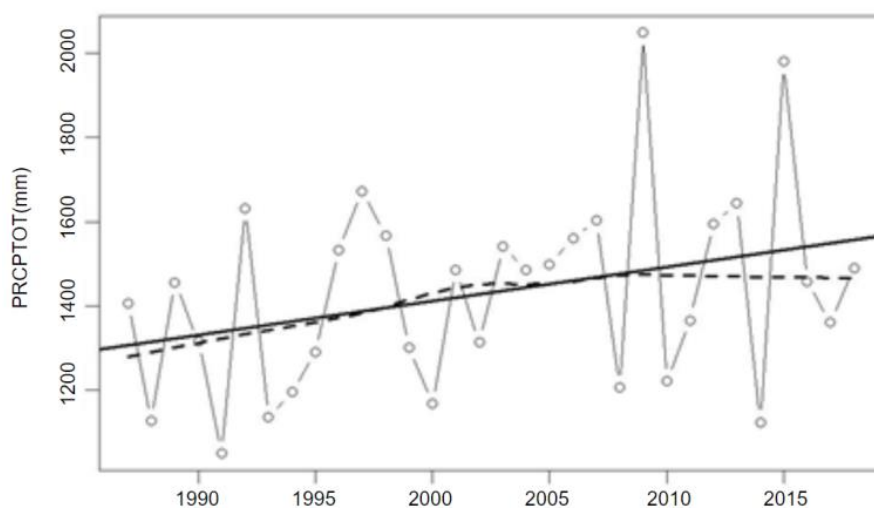
Foram consideradas como possíveis alterações climáticas aquelas em que o índice apresentava tendência linear (positiva ou negativa) superior ao erro padrão de estimativa e estatisticamente significativa (valor de  $p < 0.1$ ) (SANTOS *et al.*, 2009;

SANTOS *et al.* 2013; AMORIM, 2018). Arelada a regra anterior, para caracterizar-se uma alteração climática estatisticamente significativa, o *p-value* deve ser entre  $\geq 0,05$  a 0,1, indicando significância estatística entre 90 e 95% (boa significância). Valores inferiores a 0,05 indicam significância estatística superior a 95% (alta significância). Desta forma, só serão apresentados os dados em que as duas regras acima foram concomitantemente aderidas.

- **Boa significância estatística**

Dos onze índices climáticos analisados, sete apresentaram boa significância em pelo menos um dos municípios estudados (Tabela 14). Os índices que apresentaram boa significância e, conseqüentemente, possível mudança climática foram: acumulado anual das precipitações (PRCPTOT), número anual de dias com precipitação acima de 10mm/dia (R10mm), número anual de dias com precipitação acima de 20mm/dia (R20mm), número anual de dias com precipitação acima de 25mm/dia (R25mm), precipitação anual total dos eventos localizados no percentil 99 (R99p), quantidade máxima de precipitação em um dia (Rx1day) e quantidade máxima de precipitação em cinco dias (Rx5day). O acumulado anual das precipitações apresentou tendência positiva e boa significância estatística para o município de Alvorada do Sul (Figura 36).

**Figura 36.** Precipitação anual dos dias úmidos em Alvorada do Sul na série histórica (1987-2018).



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

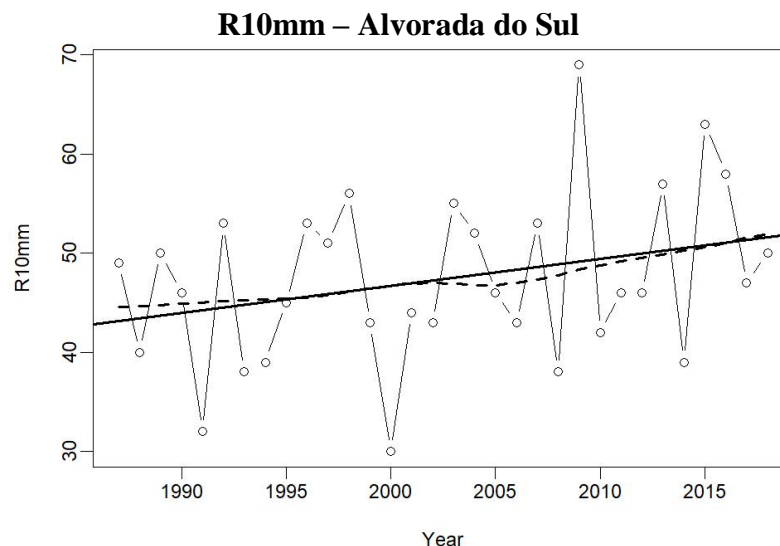
A partir dos anos 2000 observa-se a elevação da precipitação, com picos em 2009 e 2015. Destaca-se também que, para Alvorada do Sul, houve tendência positiva no número anual de dias com precipitação acima de 10mm/dia (Figura 37). Zandonadi *et al.* (2016) também encontraram aumento da precipitação anual dos dias úmidos em regiões da bacia hidrográfica do Rio Paraná, onde a maioria das estações (23 com tendências positivas) apresentaram aumento no total pluviométrico anual.

**Tabela 14.** Tendências dos índices climáticos para as 12 estações meteorológicas monitoradas na Região Geográfica Intermediária de Londrina.

Estação meteorológica	CDD	CWD	PRECPTOT	R10mm	R20mm	R25mm	R95p	R99p	Rx1day	Rx5day	SDII
Alvorada do Sul	0,23	-0,10	<b>8,09</b>	<b>0,28</b>	0,10	0,07	2,25	1,76	0,28	1,43	0,12
Arapongas	0,13	-0,05	2,97	0,05	-0,01	0,00	4,48	<b>3,69</b>	<b>1,45</b>	0,53	0,07
Astorga	0,17	0,00	4,34	0,09	0,11	0,11	3,49	4,01	0,75	1,07	0,14
Califórnia	-0,24	-0,10	5,98	0,24	<b>0,23</b>	0,12	2,84	3,57	0,61	0,17	0,22
Cambé	0,50	-0,06	12,19	0,16	0,27	0,30	10,66	3,45	<b>1,57</b>	1,95	0,40
Centenário do Sul	0,39	-0,01	6,41	0,08	0,11	0,14	2,96	1,58	0,32	1,28	0,07
Colorado	0,08	0,03	7,20	0,02	0,13	0,12	5,92	1,19	0,21	<b>1,37</b>	0,05
Londrina-Agrometeorologia	0,14	-0,02	5,51	0,18	0,14	0,10	-1,49	-0,47	0,50	-0,08	0,01
Londrina-São Luiz	0,34	-0,03	1,60	0,06	0,04	0,09	2,60	0,16	0,12	-1,07	0,12
Porecatu	0,26	0,01	3,11	-0,10	0,22	<b>0,13</b>	4,31	4,57	0,67	0,49	0,11
Primeiro de Maio	0,31	-0,07	0,76	-0,04	0,12	0,08	-0,84	1,45	0,28	0,30	0,05
Rolândia	0,05	-0,10	4,51	0,06	0,10	0,12	2,06	0,62	0,68	0,59	0,01

\* Os valores em negrito indicam boa significância estatística ( $p \geq 0,05$  a  $0,1$ ). As definições dos índices climáticos encontram-se na tabela 7 (página 72).

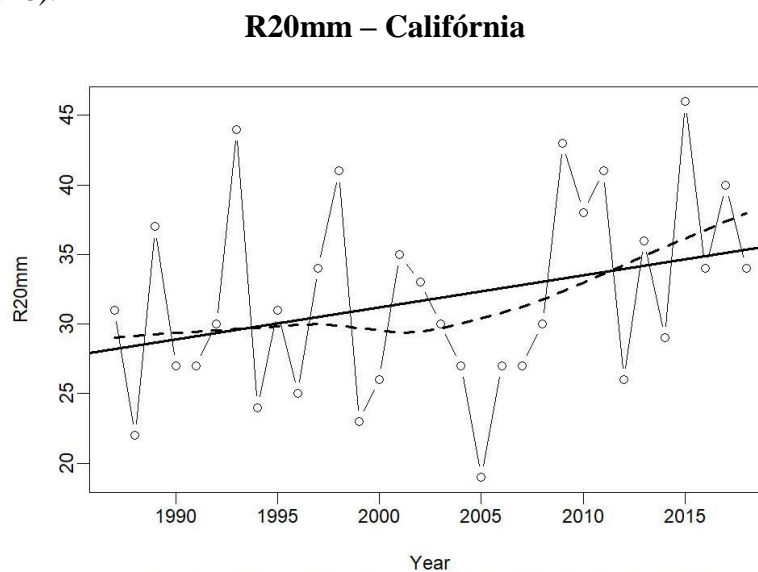
**Figura 37.** Dias no ano com precipitação acima de 10mm/dia em Alvorada do Sul na série histórica (1987-2018).



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Com relação ao número anual de dias com precipitação acima de 20mm/dia (R20mm) apenas o município de Califórnia apresentou boa significância estatística (Figura 38).

**Figura 38.** Dias no ano com precipitação acima de 20mm/dia em Califórnia na série histórica (1987-2018).

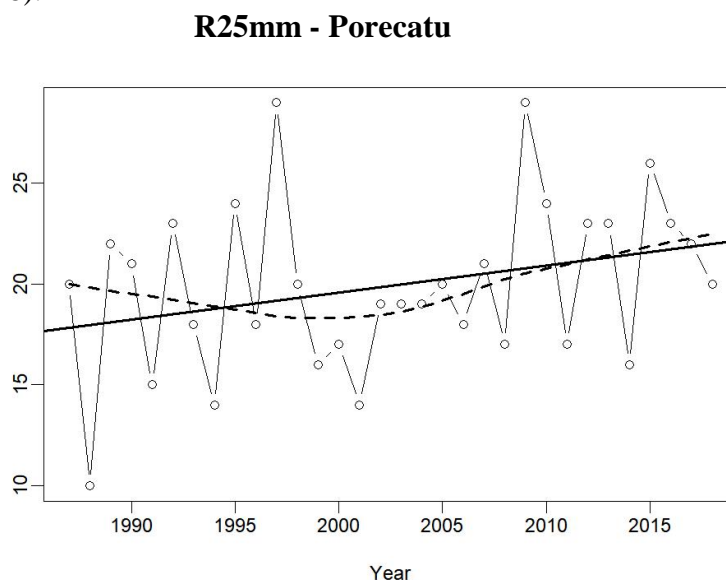


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Com exceção dos anos de 1993, 2005, 2009 e 2015, o número anual de dias considerado por este índice oscilou entre 22 e 37 dias, com um aumento substancial de dias após o ano de 2006 para Califórnia.

O município de Porecatu apresentou aumento nos dias do ano com chuva acima de 25mm/dia. Embora oscilante, a partir de 1989 até o fim da série histórica este índice foi superior a 10 dias (eixo y). Tal fato corrobora os resultados observados com a aplicação do SPI-3 e método dos percentis para Porecatu, que sinalizaram episódios de chuvas significativas (Figura 39)

**Figura 39.** Dias no ano com precipitação acima de 25mm/dia em Porecatu na série histórica (1987-2018).

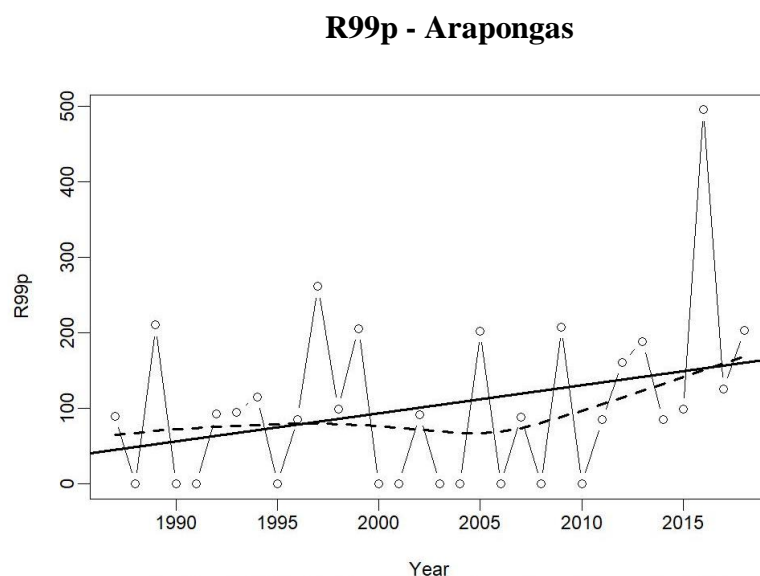


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O único município que apresentou precipitação anual total dos eventos localizados no percentil 99 (R99p) foi Arapongas (Figura 40), com uma tendência positiva. Menciona-se que chuvas extremas que atingiram a Região Geográfica Intermediária de Londrina em 2016 contribuíram para a elevação do total precipitado, em milímetros no referido percentil.

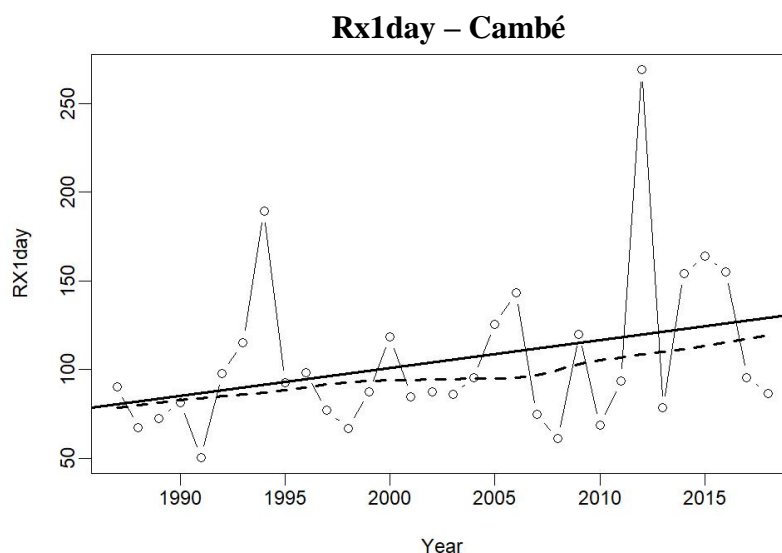
A quantidade máxima de precipitação em um dia (Rx1day) para Cambé apresentou tendência positiva (Figura 41), indicando um aumento das chuvas extremas, capazes de acelerar o processo erosivo dos solos. Esse índice, intimamente atrelado ao local de estudo, ressalta a necessidade de práticas edáficas, vegetativas e mecânicas de conservação dos solos, como curvas de nível, terraceamento e cobertura vegetal com palhada durante o ano.

**Figura 40.** Precipitação anual total dos eventos localizados no percentil 99% em Arapongas na série histórica (1987-2018).



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 41.** Quantidade máxima de precipitação em um dia em Cambé na série histórica (1987-2018).



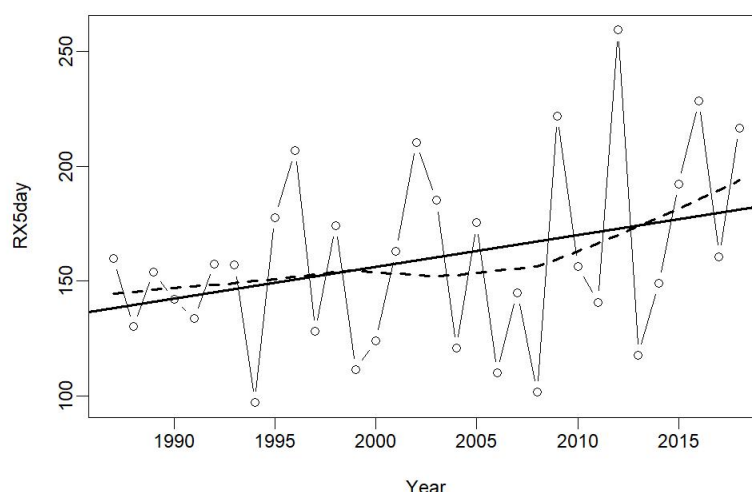
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O indicador da quantidade máxima de precipitação em cinco dias (Rx5day) permite a análise da umidade do solo e seus desdobramentos socioespaciais e impactos urbanos, como enchentes, deslizamentos de terra e comprometimento das safras. Apenas o município de Colorado (Figura 42) apresentou boa significância estatística para este índice.



**Figura 42.** Quantidade máxima de precipitação em cinco dias em Colorado na série histórica (1987-2018).

### Rx5day – Colorado



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

- **Alta significância**

Entre os onze índices climáticos analisados, sete apresentaram alta significância (95%) em pelo menos um dos municípios estudados (Tabela 15). Os índices que apresentam alta significância e, consequentemente, possível mudança climática foram: dias consecutivos secos (CDD), acumulado anual das precipitações (PRCPTOT), número anual de dias com precipitação acima de 20mm/dia (R20mm), número anual de dias com precipitação acima de 25mm/dia (R25mm), precipitação anual total dos eventos localizados no percentil 95% (R95p), precipitação anual total dos eventos localizados no percentil 99% (R99p) e intensidade diária (SDII).

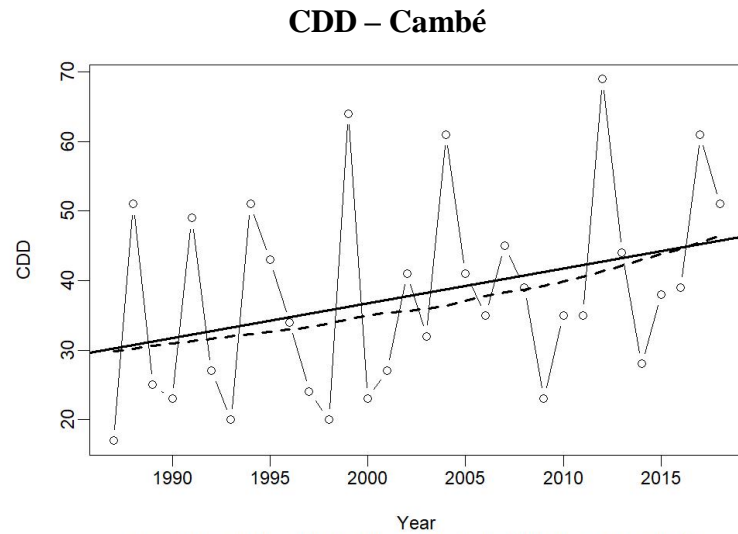
O município de Cambé destacou-se, pois seis dos sete índices climáticos ocorridos na RGIL apresentaram alta significância estatística. Assim, houve um aumento nos dias consecutivos secos (Figura 43), acumulado anual das precipitações (Figura 44), número anual de dias com precipitação acima de 20mm/dia (Figura 45), número anual de dias com precipitação acima de 25mm/dia (Figura 46), precipitação anual total dos eventos localizados no percentil 95% (Figura 47) e precipitação anual por meio do número de dias com chuva (Figura 48).

**Tabela 15.** Tendências dos índices climáticos para as 12 estações meteorológicas monitoradas na Região Geográfica Intermediária de Londrina.

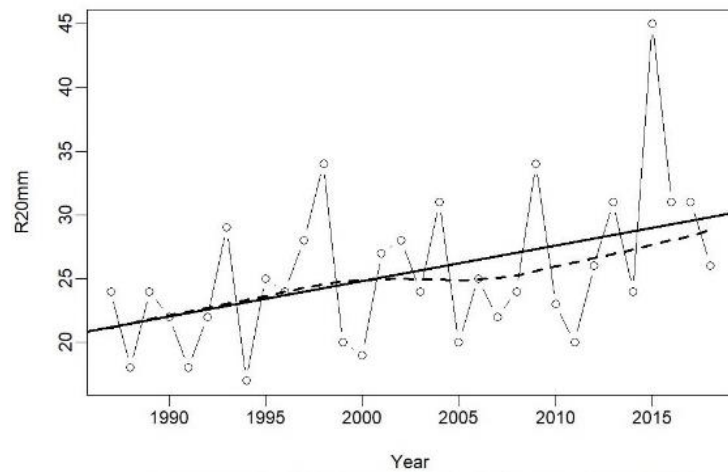
Estação meteorológica	CDD	CWD	PRCPTOT	R10mm	R20mm	R25mm	R95p	R99p	Rx1day	Rx5day	SDII
Alvorada do Sul	0,23	-0,10	8,09	0,28	0,10	0,07	2,25	1,76	0,28	1,43	<b>0,12</b>
Arapongas	0,13	-0,05	2,97	0,05	-0,01	0,00	4,48	3,69	1,45	0,53	0,07
Astorga	0,17	0,00	4,34	0,09	0,11	0,11	3,49	<b>4,01</b>	0,75	1,07	0,14
Califórnia	-0,24	-0,10	5,98	0,24	0,23	0,12	2,84	3,57	0,61	0,17	<b>0,22</b>
Cambé	<b>0,50</b>	-0,06	<b>12,19</b>	0,16	<b>0,27</b>	<b>0,30</b>	<b>10,66</b>	3,45	1,57	1,95	<b>0,40</b>
Centenário do Sul	0,39	-0,01	6,41	0,08	0,11	<b>0,14</b>	2,96	1,58	0,32	1,28	<b>0,07</b>
Colorado	0,08	0,03	7,20	0,02	0,13	0,12	<b>5,92</b>	1,19	0,21	1,37	0,05
Londrina-Agrometeorologia	0,14	-0,02	5,51	0,18	0,14	0,10	-1,49	-0,47	0,50	-0,08	0,01
Londrina-São Luiz	0,34	-0,03	1,60	0,06	0,04	0,09	2,60	0,16	0,12	-1,07	<b>0,12</b>
Porecatu	0,26	0,01	3,11	-0,10	<b>0,22</b>	0,13	4,31	<b>4,57</b>	0,67	0,49	<b>0,11</b>
Primeiro de Maio	0,31	-0,07	0,76	-0,04	0,12	0,08	-0,84	1,45	0,28	0,30	0,05
Rolândia	0,05	-0,10	4,51	0,06	0,10	0,12	2,06	0,62	0,68	0,59	0,01

\* Os valores em negrito indicam alta significância estatística ( $p \leq 0,05$ ). As definições dos índices climáticos encontram-se na tabela 7 (página 72).

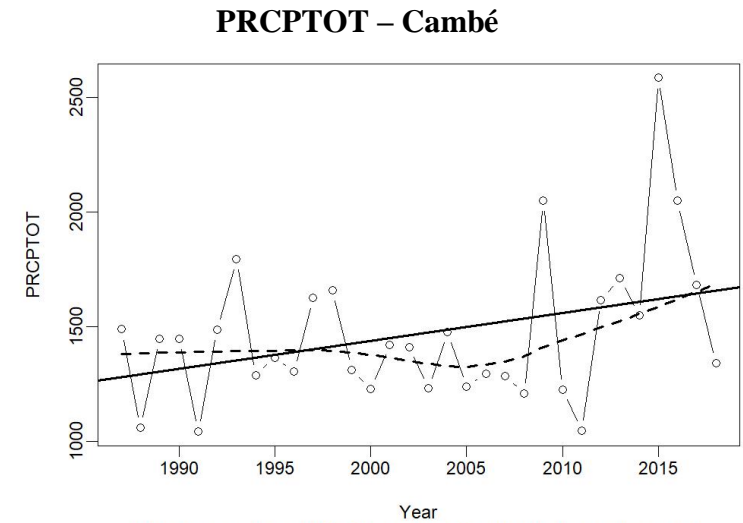
**Figura 43.** Dias consecutivos secos em Cambé na série histórica (1987-2018).



**Figura 45.** Dias no ano com precipitação acima de 20mm/dia.  
**R20mm – Cambé**

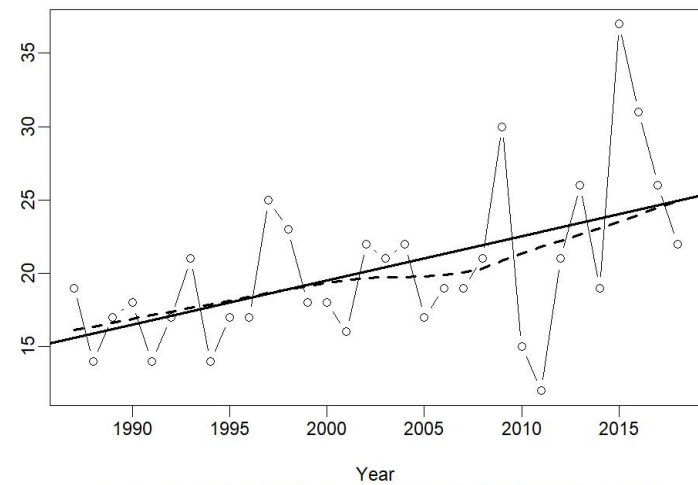


**Figura 44.** Precipitação anual dos dias úmidos em Cambé na série histórica (1987-2018).



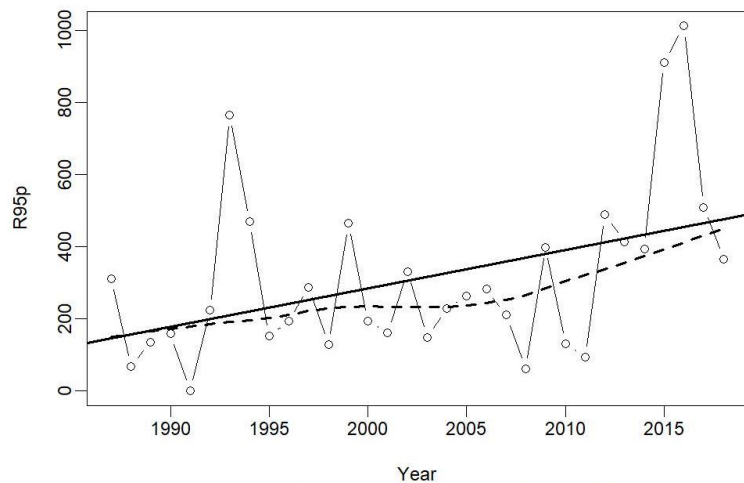
**Figura 46.** Dias no ano com precipitação acima de 25mm/dia em Cambé na série histórica (1987-2018).

**R25mm – Cambé**

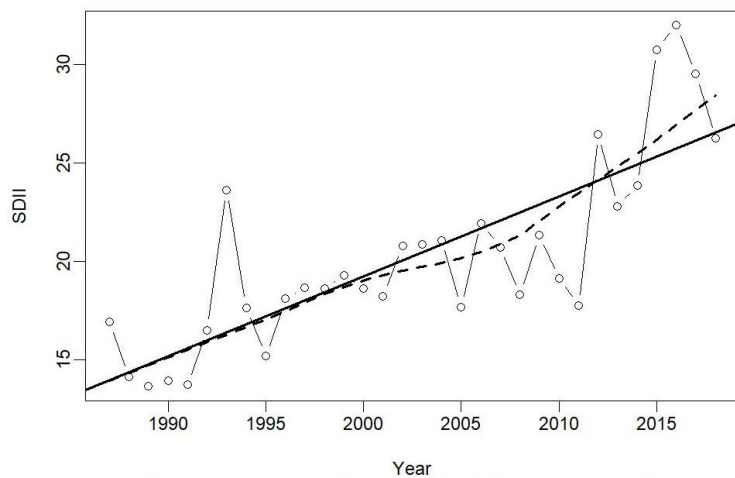


**Figura 47.** Precipitação anual total dos eventos localizados no percentil 95% em Cambé na série histórica (1987-2018)

### R95p – Cambé



**Figura 48.** Precipitação anual dividida pelo número de dias com chuva (intensidade média) em Cambé na série histórica (1987-2018).  
**SDII – Cambé**

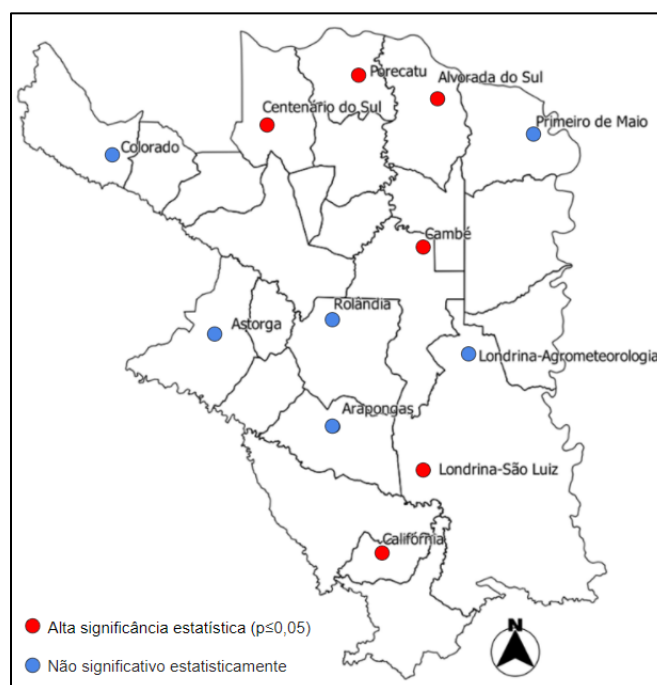


Destaca-se que neste último índice climático (SDII), indicando a intensidade da precipitação, o coeficiente de determinação foi de 0,72, maior valor obtido para esse índice entre as estações analisadas. Conclui-se que com o aumento da precipitação total indicada pelo PRCPTOT, aumento dos dias consecutivamente secos (CDD) e aumento do número anual de dias com precipitação acima de 20mm e 25mm, os episódios de eventos extremos vêm se tornando mais frequentes no município de Cambé.

Observou-se também o aumento da intensidade diária em seis das doze estações meteorológicas acompanhadas na RGIL, concentradas na porção centro-norte. Alvorada do Sul, Califórnia, Cambé, Centenário do Sul, Londrina-São Luiz e Porecatu apresentaram tendência positiva para aumento da intensidade diária das chuvas (SDII), com alta significância estatística (Figura 49).

**Figura 49.** Intensidade diária (precipitação anual dividido do número de dias com chuva) para a Região Geográfica Intermediária de Londrina.

#### SDII – Região Geográfica Intermediária de Londrina



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

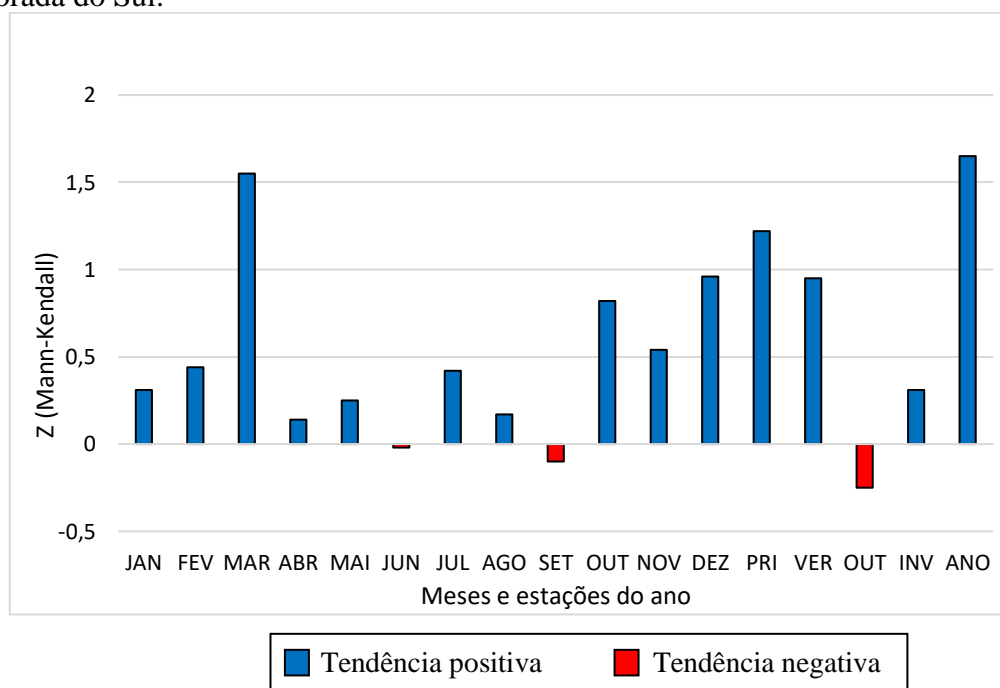
#### 4.1.4. Tendências climáticas

A análise de tendências é usada para investigar se a tendência é ascendente, descendente ou inexistente em uma série de dados temporais. Assim, os resultados a seguir trarão as tendências observadas após a aplicação do teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK) e o estimador de intensidade de tendência Curvatura de Sen (SEN) para os dados da precipitação mensal, anual e sazonal das doze estações meteorológicas localizadas na RGIL.

Os resultados indicaram tendências positivas (aumento das chuvas) no recorte temporal da média histórica em Alvorada do Sul, Cambé, Centenário do Sul, Colorado e Rolândia em diferentes meses e estações do ano, como já observado anteriormente pela aplicação dos índices climáticos. Ressalta-se que, visando o rigor da análise das tendências, foram enquadrados dentro do panorama de tendências climáticas apenas os dados que estavam dentro do intervalo de confiança de 90 e 95%.

O município de Alvorada do Sul apresentou aumento das chuvas médias anuais (Figura 50), levando em consideração a série histórica (1987-2018), apresentando tendência significativa estatisticamente no intervalo de confiança de 90%.

**Figura 50.** Resultados do teste de Mann-Kendall em meses e estações do ano para Alvorada do Sul.

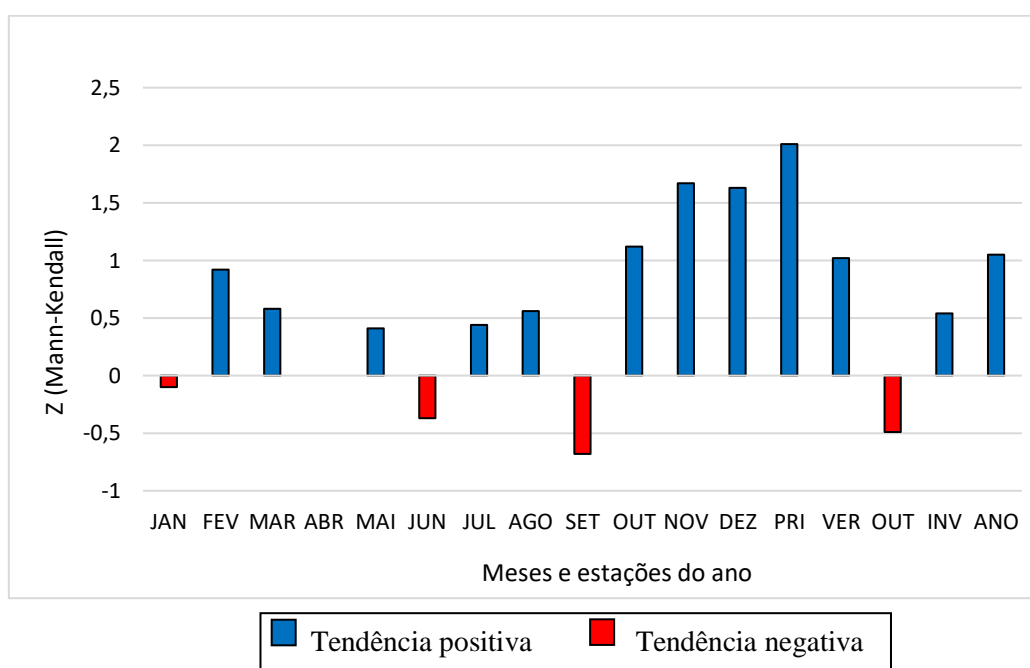


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Apenas os meses de junho, setembro e o outono apresentaram tendência negativa (redução da precipitação), indicando o prolongamento do período seco.

Cambé apresentou aumento das chuvas médias para o mês de novembro, com tendência significativa estatisticamente no intervalo de confiança de 90% e para a primavera com tendência significativa estatisticamente no intervalo de 95% (Figura 51), levando em consideração a série histórica (1987-2018). Os meses de janeiro, junho, setembro e para o outono houve tendência negativa; o mês de abril não apresentou tendência ( $Z=0$ ).

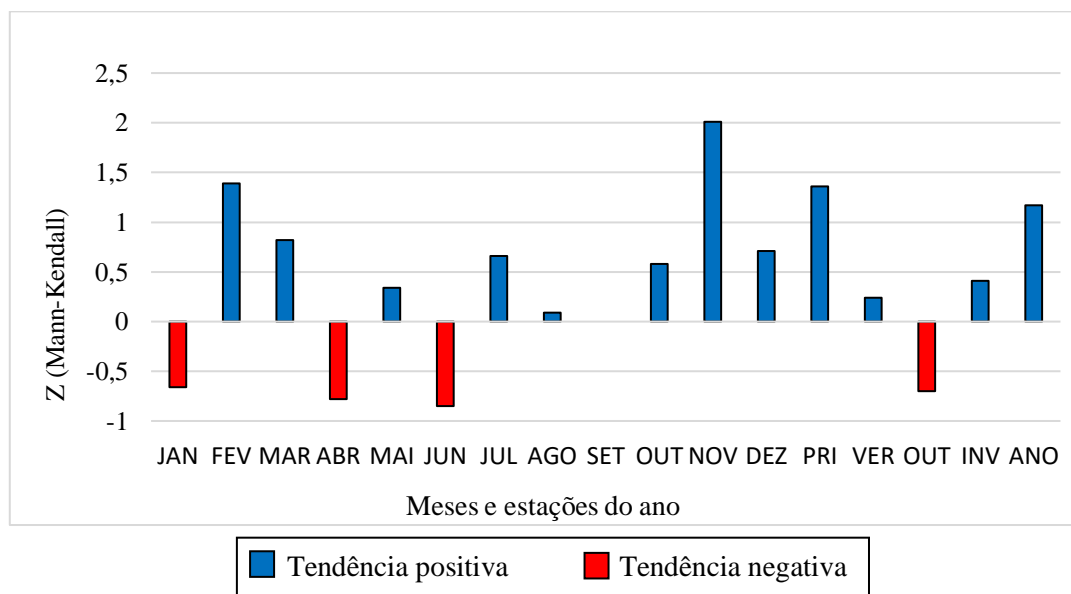
**Figura 51.** Resultados do teste de Mann-Kendall em meses e estações do ano para Cambé.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Em Centenário do Sul houve tendência positiva para o aumento das chuvas no mês de novembro, com significância estatística no intervalo de confiança de 95% (Figura 52). Assim como em Cambé, três meses do ano apresentaram tendência negativa, a citar janeiro, abril e junho; o outono também apresentou tendência negativa (redução das chuvas) e o mês de setembro não apresentou tendência.

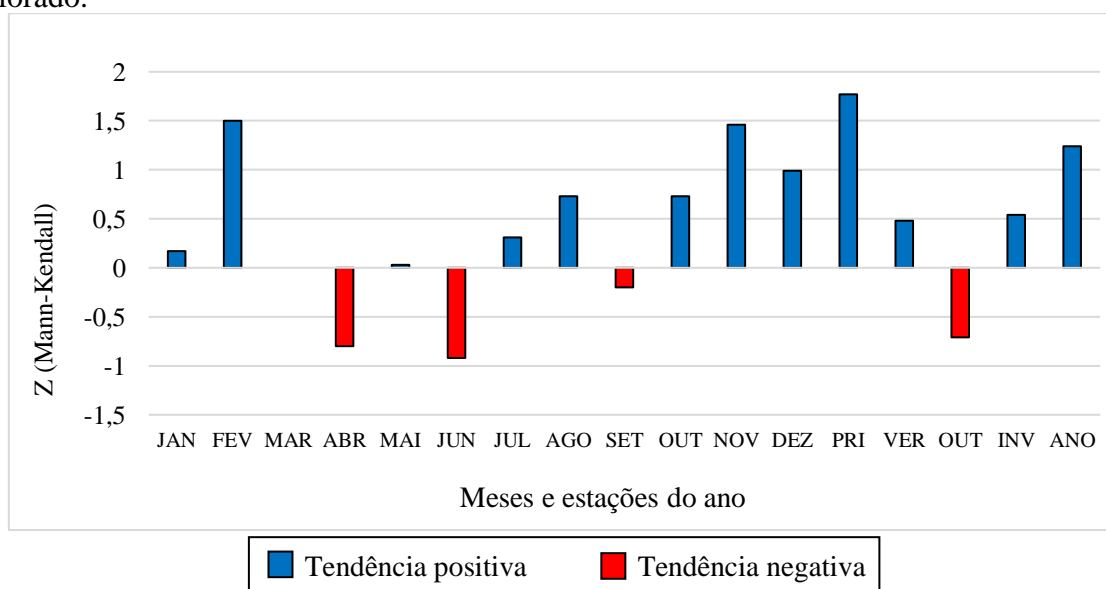
**Figura 52.** Resultados do teste de Mann-Kendall em meses e estações do ano para Centenário do Sul.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O município de Colorado apresentou aumento das chuvas para a primavera – outubro, novembro e dezembro - (Figura 53), levando em consideração a série histórica (1987-2018), apresentando tendência significativa estatisticamente no intervalo de confiança de 90%. Apenas os meses de abril, junho e setembro apresentaram tendência negativa (redução da precipitação), além do outono – abril, maio e junho.

**Figura 53.** Resultados do teste de Mann-Kendall em meses e estações do ano para Colorado.

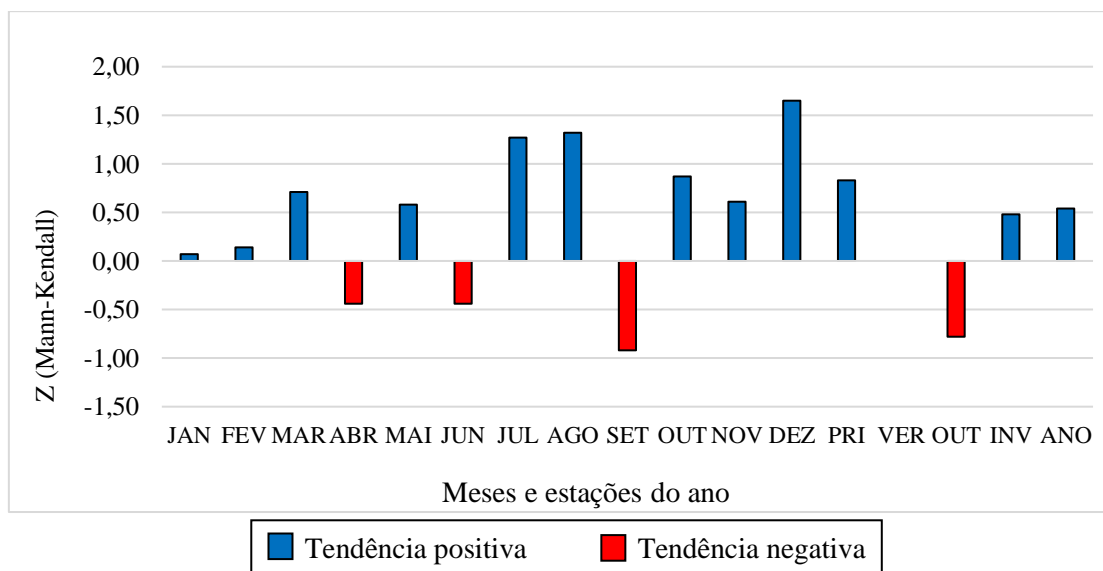


**Fonte:** Elaborado pelo autor.



Rolândia apresentou tendência positiva para o mês de dezembro, com tendência significativa estatisticamente no intervalo de confiança de 90% (Figura 54). Assim como Centenário do Sul e Colorado, Rolândia também apresentou tendência negativa para o mês de abril, assim como os meses de junho e setembro.

**Figura 54.** Resultados do teste de Mann-Kendall em meses e estações do ano para Rolândia.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A aplicação da curvatura de Sen (SEN,1968) permite analisar a intensidade das tendências e costumeiramente aparece associada ao teste estatístico de Mann-Kendall (GOCIC e TRAJKOVIC, 2013). Assim, os maiores valores de  $Q$  indicam a intensidade de ocorrência das tendências e sua relação com o ajuste de linhas no plano – regressão linear simples. As maiores intensidades ( $Q$ ) foram positivas e observadas para Rolândia, Centenário do Sul e Cambé (Tabela 16).

**Tabela 16.** Resultados do teste de Mann-Kendall e estimador de curvatura de Sen (Q) para as estações meteorológicas na Região Geográfica Intermediária de Londrina que apresentaram tendência significativa estatisticamente com intervalo de confiança de 90%.

	Mann-Kendall		Sen	
	Z		Q	
	90%	95%	90%	95%
Alvorada do Sul	1,65	-	0,681	-
Cambé	1,67	2,01	<b>2,208</b>	1,633
Centenário do Sul	-	2,01	-	<b>2,283</b>
Colorado	1,77	-	1,350	-
Rolândia	1,65	-	<b>2,896</b>	-

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Por meio da estatística empregada constatou-se que o outono apresentou tendência negativa para todos os cenários em que houve significância estatística superior ao nível de confiança de 90%. A tabela 17 ilustra todos os resultados obtidos com o teste estatístico de Mann-Kendall. Ademais, ressalta-se que os valores não destacados na tabela 18 indicam não haver tendência ao aumento ou redução das chuvas ao nível de confiança estabelecido, ou seja, igual ou superior a 90% ( $z \geq 1,645$ ).


Portanto, os resultados apresentados até aqui destacam que a RGIL apresenta aumento nas médias pluviométricas mensais em alguns municípios e redução na precipitação durante o outono. Em Cambé, o aumento das chuvas em novembro e durante a primavera elevam a necessidade da manutenção da cobertura vegetal como instrumento de redução das erosões. Tais observações ajudam a compreender ocorrência dos eventos de chuva em escala microclimática, influenciando na liberação dos sedimentos dispostos nas megaparcels.


**Tabela 17.** Resultados do teste de Mann-Kendall para as precipitações mensal anuais e sazonais das doze estações meteorológicas na Região Geográfica Intermediária de Londrina.

	Mann-Kendall (Z)								
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Alvorada do Sul	0,31	0,44	1,55	0,14	0,25	-0,02	0,42	0,17	-0,1
Arapongas	0,17	0,37	-0,34	-0,8	0,34	-0,65	0,97	1,11	-0,82
Astorga	-0,14	1,53	0,31	-0,82	0,29	-0,14	0,61	0,94	-1,29
Califórnia	-0,17	0,75	-0,2	0,37	0,31	-0,1	1,1	0,45	-0,59
Cambé	-0,1	0,92	0,58	0	0,41	-0,37	0,44	0,56	-0,68
Centenário do Sul	-0,66	1,39	0,82	-0,78	0,34	-0,85	0,66	0,09	0
Colorado	0,17	1,5	0	-0,8	0,03	-0,92	0,31	0,73	-0,2
Londrina-Agrometeorologia	0,34	0,02	0,44	-0,51	0,20	-0,61	1,09	0,58	-0,82
Londrina-São Luiz	0,41	-0,41	-0,68	-0,85	0,48	-1,16	0,83	0,80	-1,22
Porecatu	-0,65	1,22	0,10	0,07	-0,58	0,07	0,85	0,10	-0,37
Primeiro de Maio	0,20	0,68	1,09	-0,36	0,25	-0,82	0,66	0,33	-0,71
Rolândia	0,07	0,14	0,71	-0,44	0,58	-0,44	1,27	1,32	-0,92

	Mann-Kendall (Z)							
	Outubro	Novembro	Dezembro	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Anual
Alvorada do Sul	0,82	0,54	0,96	1,22	0,95	-0,25	0,31	<b>1,65</b>
Arapongas	0,54	0,44	-0,88	-0,75	0	-0,71	0,68	-0,02
Astorga	0,2	0,75	0,68	0,22	0,85	-0,75	-0,14	0,58
Califórnia	1,26	1,46	-0,29	1,39	0,41	-0,22	0,58	1,27
Cambé	1,12	<b>1,67</b>	1,63	<b>2,01</b>	1,02	-0,49	0,54	1,05
Centenário do Sul	0,58	<b>2,01</b>	0,71	1,36	0,24	-0,7	0,41	1,17
Colorado	0,73	1,46	0,99	<b>1,77</b>	0,48	-0,71	0,54	1,24
Londrina-Agrometeorologia	1,53	0,08	0,46	0,10	0,09	-0,44	0,14	0,53
Londrina-São Luiz	1,22	0,27	0,51	0,37	0,14	-1,12	0,41	0,02
Porecatu	0,90	1,18	-0,04	0,54	0,20	-0,88	0,34	0,31
Primeiro de Maio	0,37	-0,54	-0,43	-0,54	0,36	-0,78	0,00	0,14
Rolândia	0,87	0,61	<b>1,65</b>	0,83	0,00	-0,78	0,48	0,54

 Tendência significativa estatisticamente ao intervalo de confiança de 95% ( $z \geq 1,96$ ).

 Tendência significativa estatisticamente ao intervalo de confiança de 90% ( $z \geq 1,645$ ).

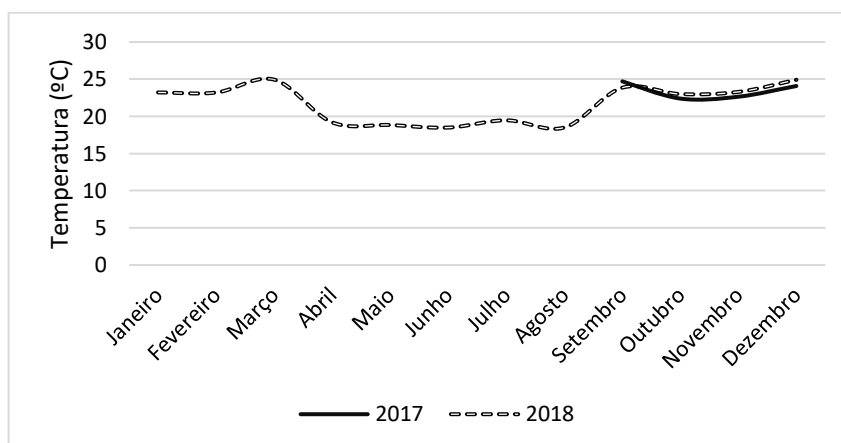
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

## 4.2. Caracterização climática local: megaparcelsas

### 4.2.1. Temperatura

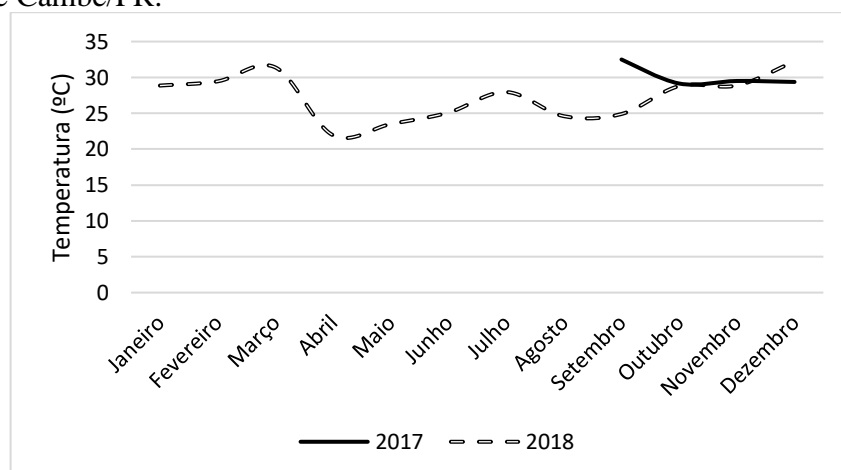
Inserido em uma área de transição entre o clima tropical e subtropical, o município de Cambé apresenta, com base na média climatológica (1976-2018), uma temperatura média de 21,1°C (IAPAR, 2018). A temperatura média registrada pela estação meteorológica (Cambé-Megaparcelsas), instalada na proximidade das megaparcelsas, em setembro/2017 a dezembro/2018 indica 22,1°C (Figura 55), 1°C acima da média histórica da estação meteorológica Cambé-Prata (distante 16km das megaparcelsas).

**Figura 55.** Temperatura média registrada na estação meteorológica na microbacia de Cambé/PR.



**Fonte:** Águas Paraná, 2018. Elaborado pelo autor.

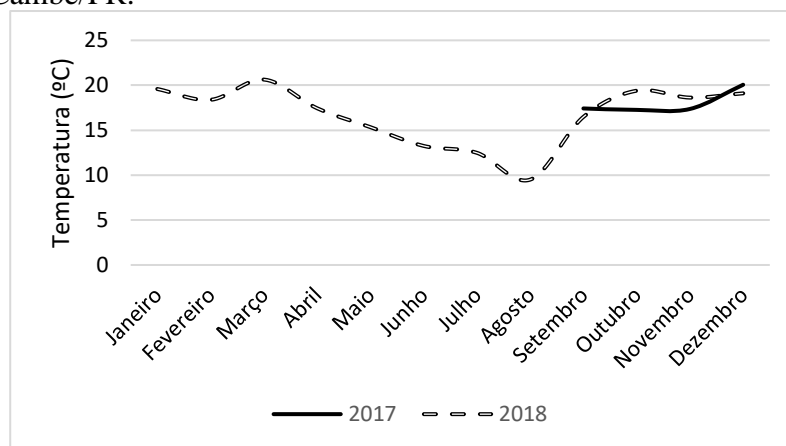
**Figura 56.** Média das temperaturas máximas registrada na estação meteorológica na microbacia de Cambé/PR.



**Fonte:** Águas Paraná, 2018. Elaborado pelo autor.

A temperatura média das máximas no período estudado foi de 28°C enquanto a média das mínimas foi de 17°C (Figura 57). Silva *et al.* (2015) observaram para o estado do Paraná o aumento da temperatura das médias mínimas, atribuído à ocorrência de extensos períodos de La-Niña e bloqueios atmosféricos que impedem a entrada de massas frias no continente.

**Figura 57.** Média das temperaturas mínimas registrada na estação meteorológica na microbacia de Cambé/PR.

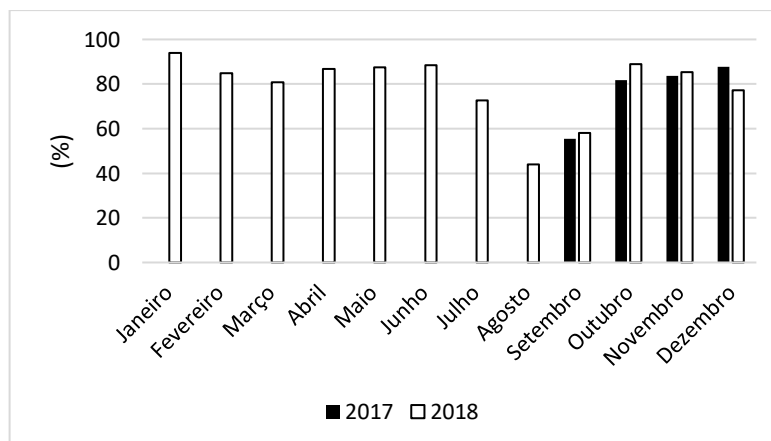


**Fonte:** Águas Paraná, 2018. Elaborado pelo autor.

#### 4.2.2. Umidade do ar

A umidade do ar consiste na quantidade de vapor de água contida na atmosfera. Na área estudada as maiores umidades relativas foram registradas nos meses de janeiro/2018 (94%) e outubro/2018 (89%) (Figura 58).

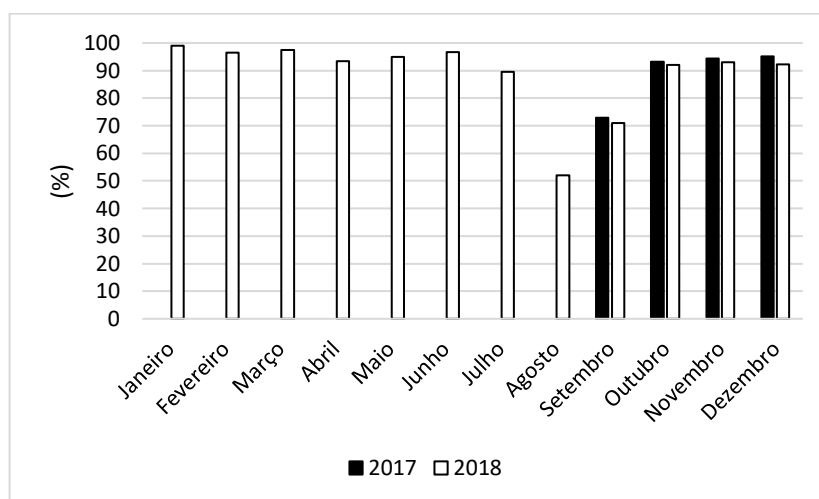
**Figura 58.** Umidade relativa do ar registrada na estação meteorológica na microbacia de Cambé/PR.



**Fonte:** Águas Paraná, 2018. Elaborado pelo autor.

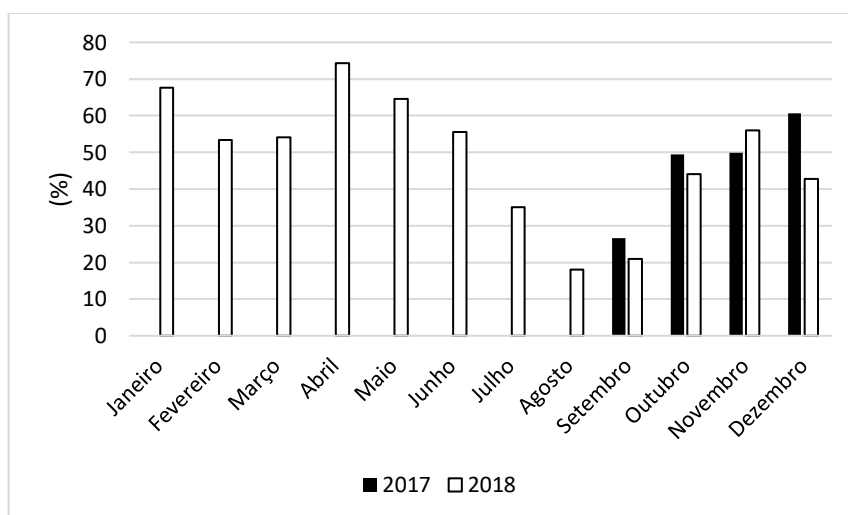
As médias máximas da umidade relativa do ar foram registradas nos meses de janeiro/2018 (98%) e março/2018 (97%) (Figura 59). Enquanto as médias mínimas aconteceram nos meses de agosto/2018 (18%) e setembro/2018 (21%) (Figura 59).

**Figura 59.** Médias máximas da umidade relativa do ar registradas pela estação meteorológica na microbacia de Cambé/PR.



**Fonte:** Águas Paraná, 2018. Elaborado pelo autor

**Figura 60.** Médias mínimas da umidade relativa do ar registradas pela estação meteorológica na microbacia de Cambé/PR.



**Fonte:** Águas Paraná, 2018. Elaborado pelo autor.

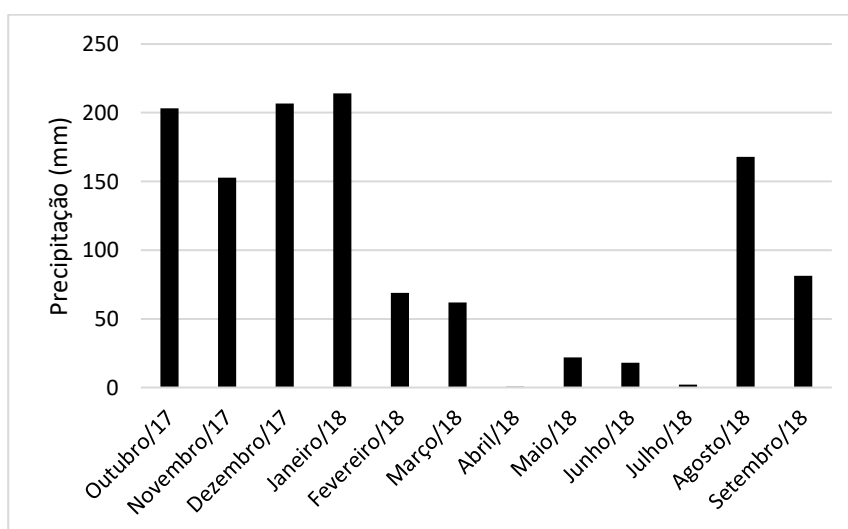
A medição da temperatura do ar e da umidade do solo favorece o entendimento da troca energética entre a atmosfera e o solo, traçando um paralelo entre a capacidade do solo na retenção do calor e sua concentração/evaporação da água. Como mencionado por Oliveira *et*

*al.* (2018), durante o dia a superfície se aquece, gerando um fluxo de calor da superfície para o interior do solo, aumentando o armazenamento de energia e elevando a sua temperatura. À noite, quando a superfície se resfria, as temperaturas nas camadas mais próximas a superfície diminuem e o fluxo de calor se inverte, fazendo com que seja devolvida a energia transportada para o interior do solo.

### 4.2.3. Chuvas

A média histórica (1978-2018) para o município de Cambé registra 1.631mm/ano, com base nos dados da estação meteorológica Prata-Cambé. No ano hidrológico utilizado como estudo de caso na microbacia (outubro/2017 a setembro/2018) o total de chuva registrado na estação meteorológica localizada na microbacia foi de 1.200 mm/ano, com os maiores índices pluviométricos em janeiro/18 (214,1mm), dezembro/17 (206,8mm) e outubro/17 (203.3mm) (Figura 61). Estudos vêm sendo realizados por pesquisadores da Embrapa Soja para identificar a ocorrência das reduzidas chuvas no eixo Distrito de Warta-Cambé. Destaca-se que há uma distância de aproximadamente 16 km entre a estação meteorológica Prata-Cambé e a estação meteorológica localizada na microbacia.

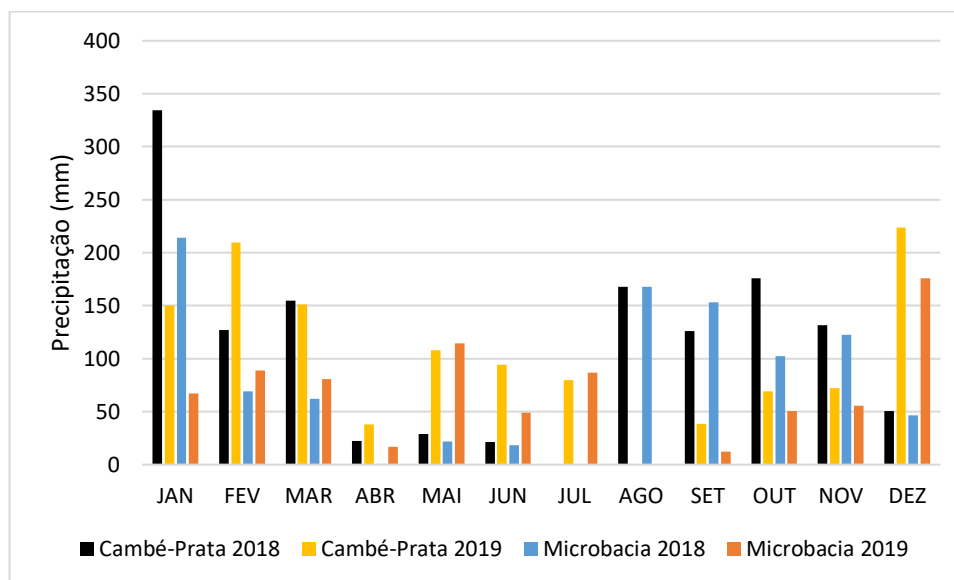
**Figura 61.** Acumulados pluviométricos mensais no primeiro ano hidrológico na microbacia de Cambé/PR.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Ao considerar a série histórica registrada pela estação meteorológica na megaparcela desde setembro/2017 até fevereiro/19, os meses de dezembro/18 e janeiro/19 apresentaram significativas reduções pluviométricas (Figura 62).

**Figura 62.** Distribuição das chuvas em 2018 e 2019 para a estação meteorológica de Cambé-Prata e Microbacia de Cambé/PR.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Correlacionando os dados já observados pela análise das tendências para a estação meteorológica de Cambé-Prata com os totais pluviométricos registrados pela estação pluviométrica na microbacia de Cambé/PR, verificou-se que os as maiores reduções pluviométricas ocorreram para ambas as estações entre 2018 e 2019 justamente em janeiro, mês de tendência negativa identificado pelo teste de Mann-Kendall.

#### 4.3. Monitoramento hidrossedimentológico e análise episódica

Foram monitorados cinco eventos significativos de precipitação nas megaparcels entre os anos de 2018 e 2019 (04/10/2018, 23-24/11/2018, 26/02/2019, 16/03/2019 e 28/05/2019). A escolha desses eventos se deu pela ocorrência de escoamento superficial nas megaparcels, o que permite a avaliação dos sedimentos frente a precipitação ocorrida. Determinações hidrossedimentológicas como velocidade básica de infiltração, biomassa



microbiana e granulometria foram realizadas antes do primeiro evento de chuva monitorado nas megaparcelsas a fim de compreender o comportamento do solo e água coletados.

Em 30/07/2018 foi determinada a velocidade de infiltração básica (VIB) nas megaparcelsas com e sem terraço. A ausência de chuvas durante o mês de julho/18 contribuiu para análise da VIB, adotando a premissa de que, nesse cenário, seria possível avaliar a velocidade sem a influência de umidade antecedente. A megaparcelsa com terraço apresentou VIB de  $16 \text{ mm h}^{-1}$ , valor superior à megaparcelsa sem terraço ( $12 \text{ mm h}^{-1}$ ). O resultado da menor VIB para a megaparcelsa sem terraço pode ser entendido, como abordado por Mendonça *et al.* (2009), por solos compactados apresentarem menor taxa de infiltração, tendo em vista o preenchimento dos microporos pela fração argila ou partículas coloidais. Vale aqui ressaltar que os terraços objetivam reduzir a velocidade do escoamento superficial e direcionar o fluxo da água por caminhos preferenciais, o que contribui para a manutenção da cobertura vegetal e redução da compactação.

Ao discretizar a posição na pendente da megaparcelsa com terraço, o terço médio apresentou a maior VIB ( $25 \text{ mm h}^{-1}$ ) em relação ao terço superior, com  $16 \text{ mm h}^{-1}$  e inferior que apresentou a menor VIB das três posições na paisagem ( $9 \text{ mm h}^{-1}$ ). Na megaparcelsa sem terraço a VIB decresce de  $19 \text{ mm h}^{-1}$  no terço superior para 10 e  $7 \text{ mm h}^{-1}$  nos terços médio e inferior, respectivamente (Tabela 18). A infiltração acumulada obteve maior concentração na megaparcelsa com terraço.

**Tabela 18.** Velocidade de infiltração básica (VIB) e infiltração acumulada (I acumulada) do terço inferior, médio e superior das megaparcelsas com e sem terraço.

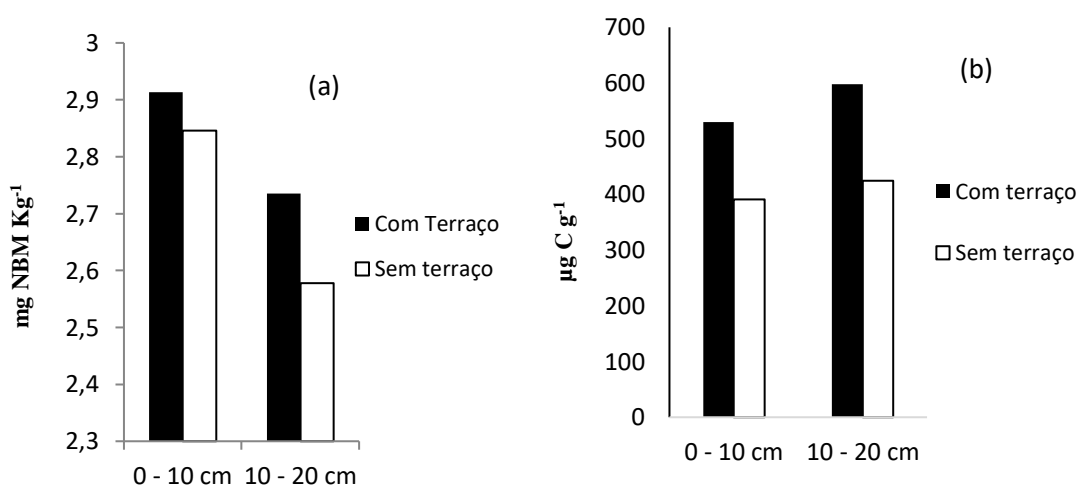
Manejo	Vertente	VIB ( $\text{mm h}^{-1}$ )	I acumulada (cm)
Com terraço	Terço inferior	9	12.00
	Terço médio	25	69.10
	Terço superior	16	31.10
	Média	16	37.40
Sem terraço	Terço inferior	7	7.00
	Terço médio	10	15.25
	Terço superior	19	40.00
	Média	12	20.75

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Para determinação do nitrogênio e carbono da biomassa microbiana (BM) foram coletadas amostras de solo nas megaparcelsas nas profundidades de 0-10cm e 10-20cm. Os

resultados indicaram maior concentração de nitrogênio e carbono na megaparcela com terraços (Figura 63). Tal observação corrobora com o encontrado por Million (2003), que observou concentração superior de BM na ordem de 25% em áreas terraceadas quando comparadas às áreas não terraceadas, com pico de 35% nos terraços mais inferiores (cota mais baixa). Tais resultados são amplamente discutidos por Gaiser *et al.* (2020), que também é membro da equipe do projeto 01/2017 do Programa da Rede Paranaense de Apoio a Agropesquisa e Formação Aplicada/ Fundação Araucária/Seti/Senar/PR; contexto do desenvolvimento da presente pesquisa.

**Figura 63.** Concentração de nitrogênio (a) e carbono da biomassa microbiana (b) presentes nas megaparcelas sem terraço e com terraço.



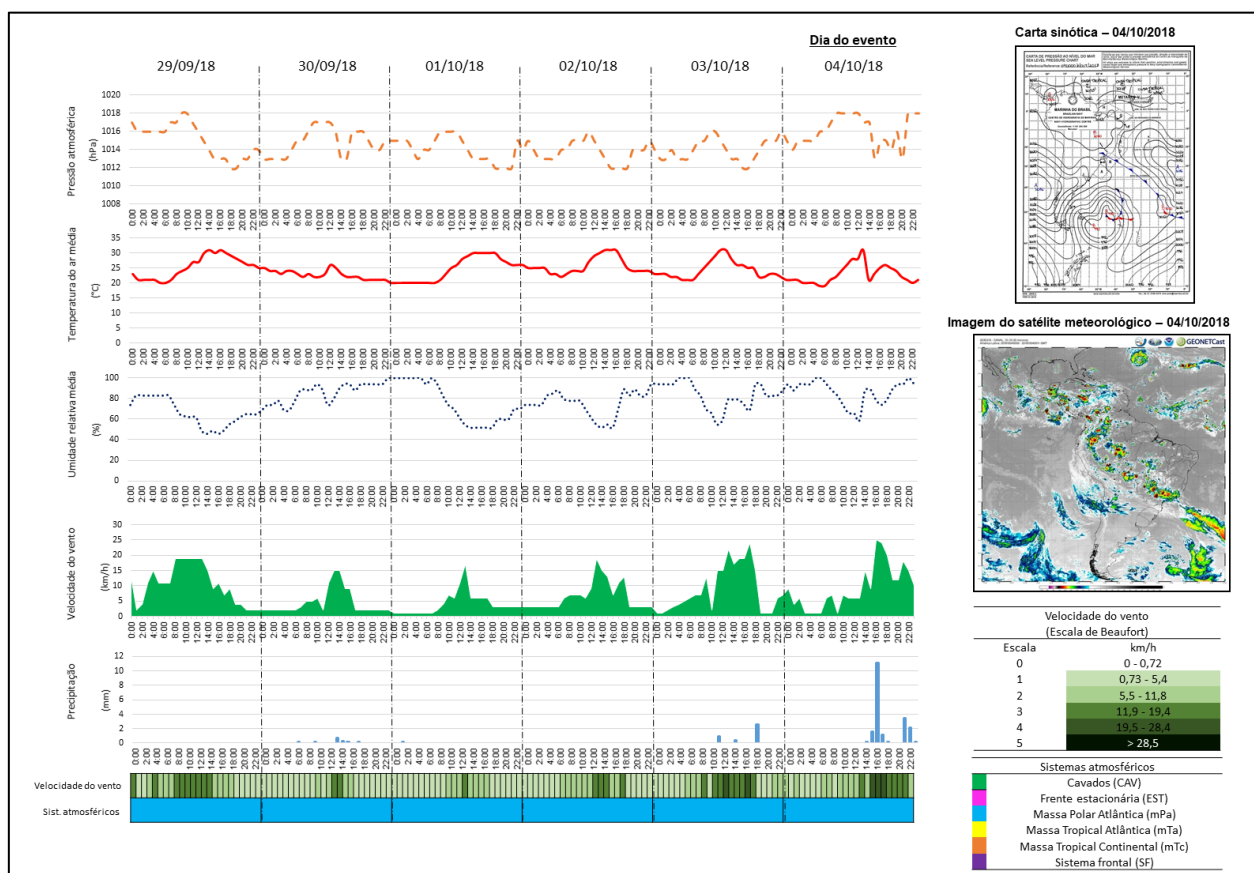
**Fonte:** Oliveira, 2019.

Sob a perspectiva granulométrica dos solos das megaparcelas, predominam as frações de tamanho que variam: de 68 e 78% de argila (<0,002mm) na megaparcela sem terraços e entre 69 e 78% (Apêndice A) na megaparcela com terraços, indicando uma homogeneidade granulométrica nos solos da área de estudo.

## Evento dia 04/10/2018

A partir da interpretação da carta sinótica<sup>1</sup> de 04/10/2018 é possível observar o deslocamento de massas de ar oriundas do Paraguai em direção ao Oceano Atlântico. O boletim técnico do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) informa que nesse dia ocorreu a atuação de um sistema frontal (SF) responsável por precipitações localizadas no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. A imagem do satélite meteorológico evidencia a ocorrência da Massa Polar Atlântica (mPa) adentrando no continente contribuindo para a redução das temperaturas durante os cinco dias antecedentes ao evento monitorado na microbacia e elevação da umidade (Figura 64).

**Figura 64.** Análise episódica com os parâmetros climáticos para o evento em 04/10/2018.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

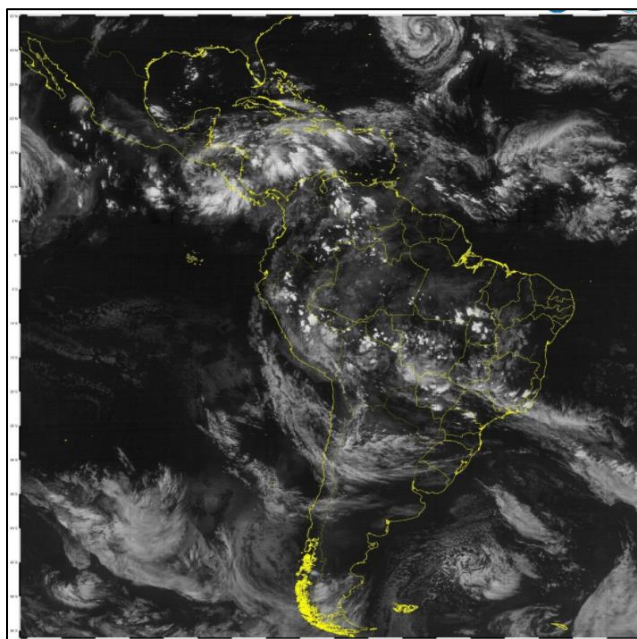
Como destacado por Borsato e Borsato (2010), a mPa é uma massa de ar fria e úmida que avança pelo Sul do Brasil e na maioria das incursões desvia-se para o interior do

<sup>1</sup> As cartas sinóticas utilizadas nas análises episódicas podem ser consultadas no Anexo 1.

Atlântico Sul. O deslocamento dessa massa de ar dá origem aos sistemas frontais que ao avançar provocam chuvas frontais quando se deparam com massas de ar mais quentes. A imagem de satélite meteorológico evidencia o prolongamento da Frente Polar Atlântica (FPA) que produziu chuvas forçando ares quentes instaurados no Centro-Sul do Brasil, pela Massa Tropical Continental (mTc), a ascenderem sobre a frente.

No dia 04/10/2018 a pressão atmosférica oscilou entre 1018 hPa e 1013 hPa e, aliado a ascensão do ar da mTc sobre a rampa da mPa, provocou intensa nebulosidade no norte do Paraná (Figura 65) causando chuvas intensas na região com elevação da velocidade do vento, superiores 25 km/h.

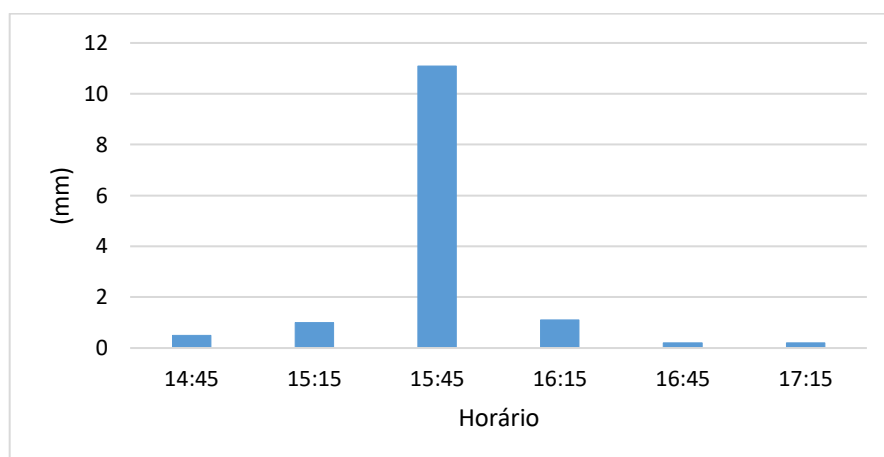
**Figura 65.** Imagem de satélite no canal infravermelho (GOES-16) com a presença de nebulosidade concentrada no norte do Paraná em 04/10/2018.



**Fonte:** INPE/CPTEC, 2018.

O evento analisado foi de 14,1 mm (das 14h45 às 17h15), como apresentado no hietograma (Figura 66), com um total pluviométrico de 36,1 mm/dia. A vazão máxima na megaparcela sem terraço foi de 3,5 m<sup>3</sup>/s, uma hora e meia após o início do evento de chuva. Na megaparcela com terraço a vazão máxima chegou a 2,6 m<sup>3</sup>/s, aproximadamente duas horas após o início do evento de chuva, como demonstrado no hidrograma (Figura 67).

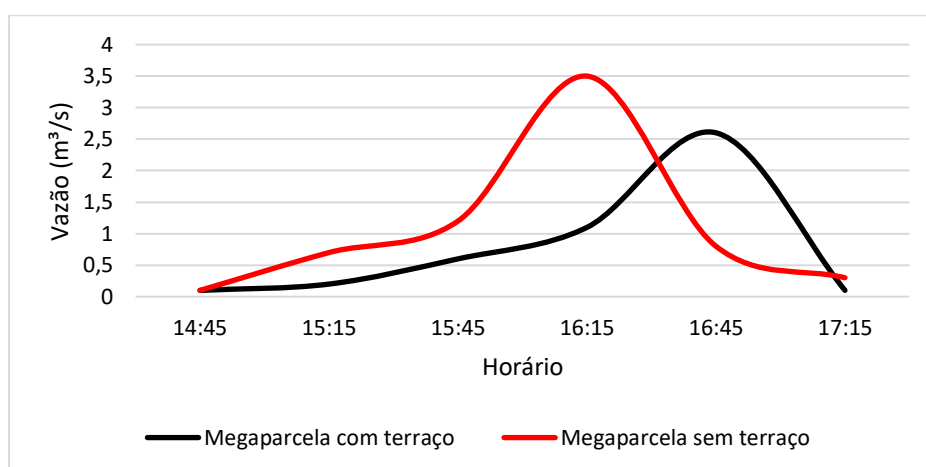
**Figura 66.** Hietograma da precipitação observada no evento do dia 04/10/2018 nas megaparcelsas.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O total precipitado de 11mm no registro das 15:45h corresponde a 78% da chuva ocorrida nesse evento. Observa-se a elevação das curvas de vazão (figura 67), em ambas as megaparcelsas nos primeiros minutos posteriores às 15:45h, chegando à vazão máxima às 16:15h na megaparcelsa sem terraço e às 16:45h na megaparcelsa com terraço, evidenciando a atuação dos terraços no retardo da elevação da vazão.

**Figura 67.** Hidrograma das megaparcelsas com e sem terraço no evento do dia 04/10/2018.

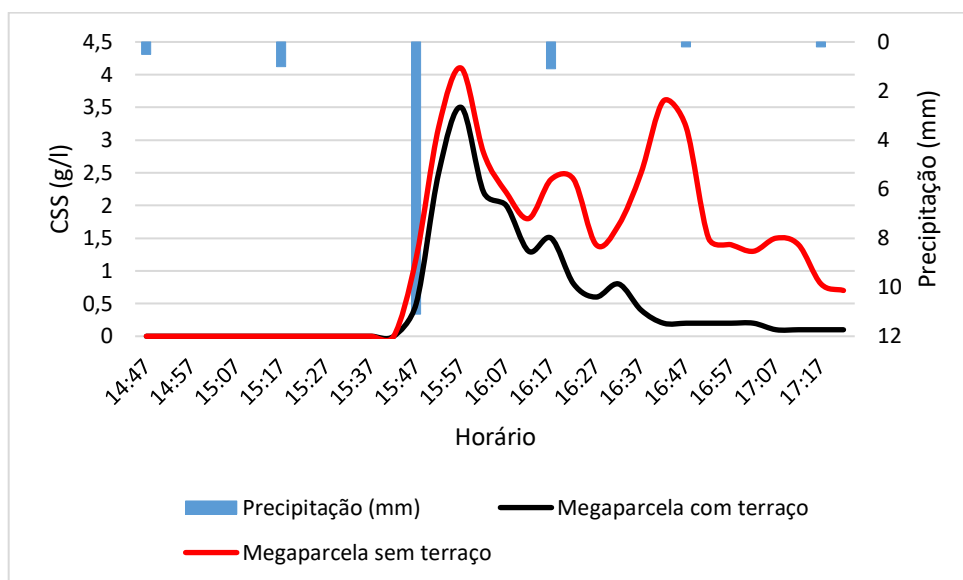


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Como esperado, a megaparcelsa com terraço apresentou vazão máxima inferior a apresentada pela megaparcelsa sem terraço, reforçando a premissa de Bertoni e Lombardi Neto (2010) com relação a atuação dos terraços como estratégia de controle das enxurradas. Nesta

direção, as análises hidrossedimentológicas permitiram observar que a megaparcela sem terraços liberou mais sedimentos em grande parte do evento de precipitação, como destacado na figura 68.

**Figura 68.** Sedimentograma das megaparcelas com e sem terraço no evento do dia 04/10/2018.



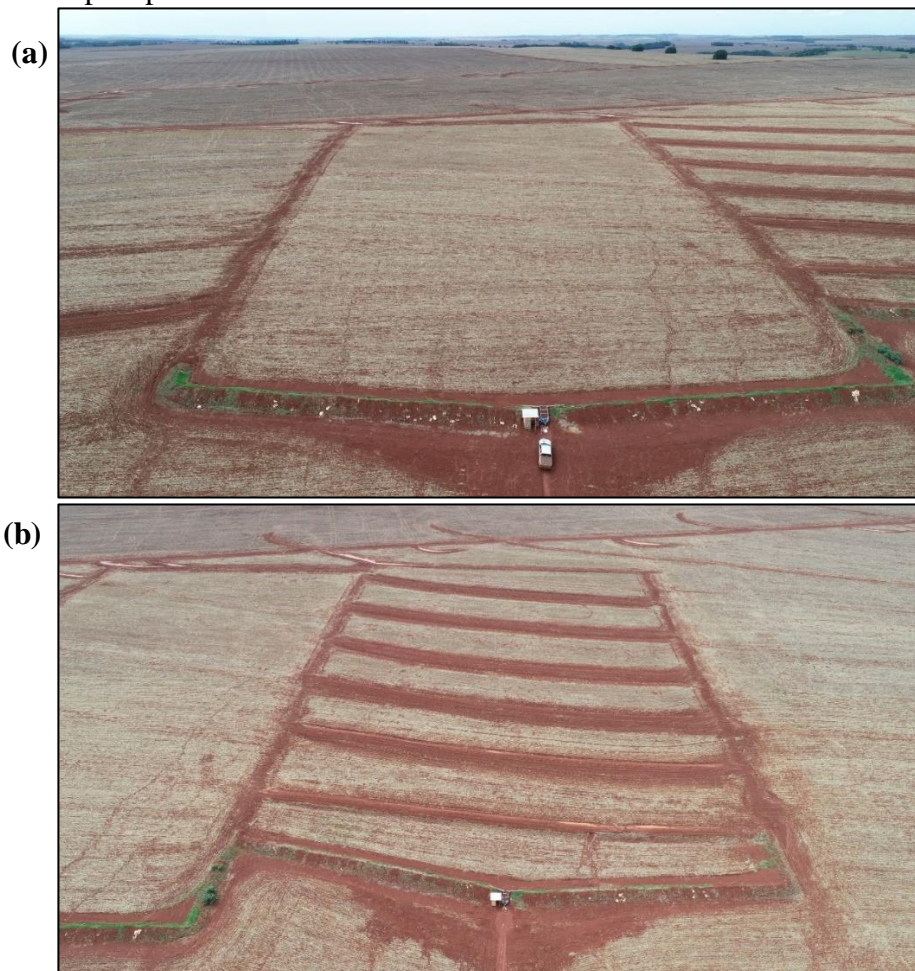
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Ao analisar a dinâmica hidrossedimentológica frente a um evento pluviométrico de 14,1mm, observa-se a elevação da CSS em ambas as megaparcelas entre oito e dez minutos após o maior registro pluviométrico (11mm), com intensidade de 44mm/h. Como proposto por Reichardt (1986) e OMM (2008), chuvas com intensidade 44mm/h são classificadas como fortes, dificultando a infiltração da água no solo, elevando o escoamento superficial.

A CSS do evento de 04/10/2018 evidenciou maior concentração média de sedimentos por litro na megaparcela sem terraços: 1,28g/l, com  $CSS_{pico}$  de 4,1g/l, frente a concentração média de 0,54 g/l na megaparcela com terraços com  $CSS_{pico}$  de 3,5g/l. Assim, como abordado por Vestena (2008), a intensidade da chuva influencia na quantidade de sedimento em suspensão, pois quanto maior a intensidade maior a quantidade de sedimentos em suspensão.

Foi observado que após o evento de chuva o solo das duas megaparcelas se encontrava bastante desagregado na superfície, com espessura aproximada de 3 cm. O solo da megaparcela sem terraço estava com 90% de sua superfície coberto pela palhada do milho (análise visual). Em contrapartida, o solo da megaparcela com terraço obtinha cobertura vegetal de 50% (análise visual) (Figuras 69a e 69b).

**Figura 69.** Visão aérea das megaparcelas sem terraço (a) e com terraço (b) enfatizando a cobertura do solo pela palhada.



**Fonte:** Freitas, 2018.

Ocorreu redução significativa na concentração de palhada do milho entre terraços após o evento de precipitação (Figura 70), com evidentes marcas de arraste superficial e acúmulo de cobertura vegetal nos terraços de cota altimétrica mais baixa.



**Figura 70.** Baixa concentração de cobertura vegetal observada no terço médio da parcela com terraço.



**Fonte:** Gomes Junior, 2018.

Após o evento pluviométrico registrado, foi verificado o rompimento do último terraço (cota altimétrica mais baixa) da megaparcela (Figura 71), evidenciando o afloramento basáltico próximo ao canal (Figura 72).

**Figura 71.** Rompimento de terraço observado após evento pluviométrico.



**Fonte:** Freitas, 2018.



**Figura 72.** Afloramento basáltico observado após evento pluviométrico.



**Fonte:** Gomes Junior, 2018.

Como proposto nos objetivos da tese, foram retiradas duas amostras de solo nas imediações do principal foco erosivo observado após o evento de chuva, visando identificar possíveis alterações na composição química dos solos e, consequentemente, possíveis desdobramentos com relação à fertilidade dos mesmos. Os resultados indicaram redução em todos os nutrientes analisados, em especial as bases como cálcio, magnésio e potássio (Tabela 19). Relaciona-se tal redução à lixiviação das bases, que se configuram como os cátions mais móveis contínuos no solo (GERBRIM *et al.* 2008).

**Tabela 19.** Análise química dos solos após o evento de chuva do dia 04/10/2018.

	mg/dm <sup>-3</sup>	g/kg			cmol/dm <sup>3</sup>			
	P	C	Al	Ca	Mg	K	pH	H+Al
Antes do evento	24.4	17.99	0.00	6.87	2.01	0.30	5.60	2.94
Após o evento	20.3	13.72	0.00	3.26	1.85	0.04	5.15	2.92

**Fonte:** Laborsolo, 2018. Org. pelo autor.

**Evento dia 23-24/11/2018**

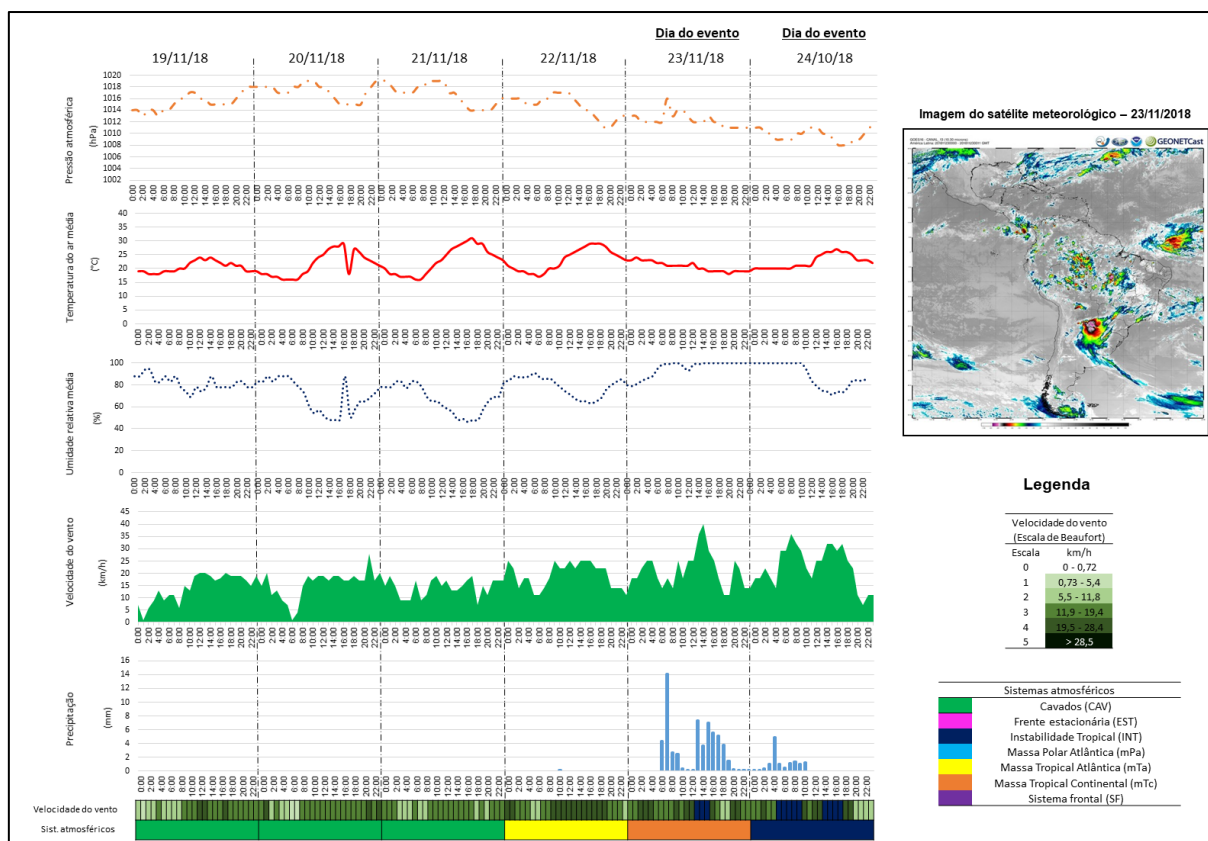
Os dias antecedentes ao evento monitorado foram marcados pela redução das temperaturas trazidas pela Massa Polar Atlântica (mPa), ainda que possuam baixa intensidade durante a primavera e verão. A atuação da Massa Tropical Atlântica (mTa), por sua vez, predomina no verão no norte do Paraná contribuindo para elevação das temperaturas e precipitação. Na área de estudo as temperaturas oscilaram entre 30°C e 18°C, sendo que, durante o evento monitorado as temperaturas não ultrapassaram 25°C (Figura 73).

As cartas sinóticas nos dias 23 e 24/11 destacam a presença de frentes frias associadas a cavados. Ao longo do dia 23/11/2018 a presença de um cavado em níveis médios se deslocou entre o Paraguai e o Centro-sul do Brasil, tendo suas instabilidades fortalecidas pelo aporte de calor e umidade resultante da presença dos Jatos de Baixos Níveis (JBN), o que provocou chuvas fortes, elevação na velocidade dos ventos e temporais isolados entre o Paraguai e a Região Sul do Brasil.

Como destacado por Sveilis (2014), o cavado caracteriza-se pelo alongamento das isóbaras de um centro de baixa pressão, em uma determinada direção, ou seja, ao longo do eixo do cavado. Conforme as isóbaras se afastam do centro de baixa pressão para a periferia, tem-se um alongamento mais pronunciado, o que se constata a circulação de ar frio para regiões mais quentes e normalmente a ocorrência de frente fria, assemelhando-se ao observado durante este evento monitorado.

O avanço de um cavado em níveis altos e médios em direção ao leste da Argentina e Uruguai, juntamente com a presença de uma frente estacionária ampliou a formação de uma nova onda frontal na Região Sul na noite do dia 23/11 e madrugada do dia 24/11, favorecendo a ocorrência de chuvas. Foram monitorados dois eventos entre os dias 23 e 24/11/2018, em virtude do curto espaço de tempo entre eles e considerando o predomínio das mesmas condições atmosféricas, optou-se por interpretá-los conjuntamente. De acordo com as cartas sinóticas, no dia 22/11 ocorre a mTa, no dia 23/11 a mTc caracterizada por um cavado pré-frontal e no dia 24/11 ocorre a Instabilidade Tropical. Como definido por Decco et al. (2016), as ondas de instabilidade tropical são fenômenos oceânicos-atmosféricos originados pelo cisalhamento de correntes quentes e frias, causando alterações na velocidade do vento, vapor de água e nebulosidade.

**Figura 73.** Análise episódica com os parâmetros climáticos para o evento em 23 e 24/11/2018.

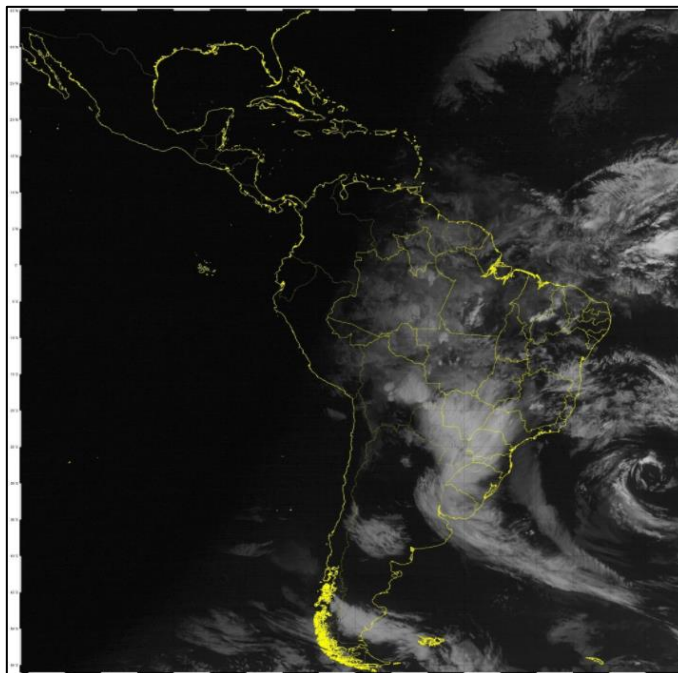


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Entre os dias 23 e 24/11/2018 a pressão atmosférica oscilou entre 1016 hPa e 1008 hPa: no Atlântico, entre as latitudes 20°S e 30°S ocorre um centro de alta pressão atmosférica, e, no dia 23/11, o centro de baixa pressão de 1008 hPa na carta sinótica identificou um cavado pré-frontal que pode caracterizar a mTc.

Com a presença do centro de baixa pressão no Oceano Atlântico, a mTc atrai o ar em direção ao continente trazendo alta nebulosidade para a região Sul do Brasil (Figura 74). A velocidade do vento durante o evento monitorado ultrapassou os 28,5 km/h o que, de acordo com a escala de Beaufort indica ventos fortes capazes de gerar queda de galhos de árvores e desfolhamento vegetal, que definem a presença de uma Instabilidade Tropical no dia 24/11/2018.

**Figura 74.** Imagem de satélite no canal infravermelho (GOES-16) com a presença de nebulosidade concentrada no centro-sul do Brasil em 24/11/2018.

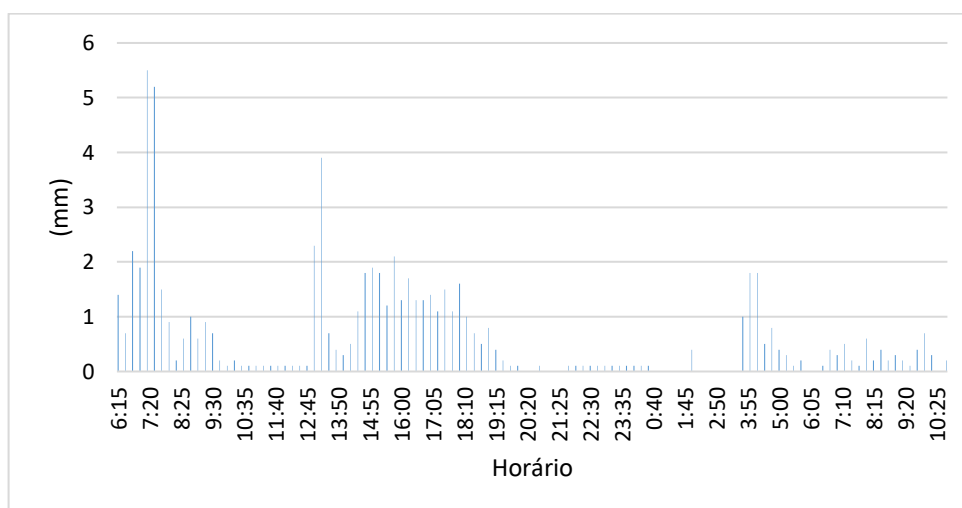


**Fonte:** INPE/CPTEC, 2018.

O primeiro evento, em 23/11/2018 produziu uma precipitação de 58,9 mm, ocorrida das 06h15 às 20h00 e o segundo, entre os dias 23 e 24/11/2018, registrou chuva de 13,7mm (das 21h45 às 10h15), como apresentado no hietograma (Figura 75), totalizando o acumulado de 72,7 mm.

A vazão máxima na megaparcela sem terraço foi de 2,4 m<sup>3</sup>/s sete horas após o início do evento de chuva. Na megaparcela com terraço a vazão máxima chegou a 2,0 m<sup>3</sup>/s às 05h30 no dia 24/11, como demonstrado no hidrograma (Figura 76). A hipótese adotada para o retardo na elevação da vazão e consequente coleta das amostras de água e sedimento se deve à ausência de chuvas nos dias antecedentes ao evento, tornando o solo seco e reduzindo a concentração de água nos microporos. Como apresentado por Bertoni e Lombardi Neto (1990), solos secos inicialmente possuem elevada velocidade básica de infiltração, diminuindo com o tempo até se tornar constante quando o solo atinge a saturação.

**Figura 75.** Hietograma da precipitação observada no evento do dia 23-24/11/2018 nas megaparcelas.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Considerando os 115 registros pluviométricos durante todo o evento entre os dias 23 e 24/11/2018 e excluindo os registros que não indicaram chuva (0mm), identificou-se que em 47% dos registros ocorreram chuvas entre 0,1 a 0,3mm (Tabela 20) embora, como observado no hidrograma (Figura 76), a vazão máxima tenha ocorrido associada ao total pluviométrico acima de 2mm, sendo 3,9mm às 13h15 com vazão máxima quinze minutos após o registro na megaparcela sem terraço, às 13h30 (2,4m<sup>3</sup>/s).

**Tabela 20.** Intervalos de precipitação associados aos registros pluviométricos no evento de 23-24/11/2018.

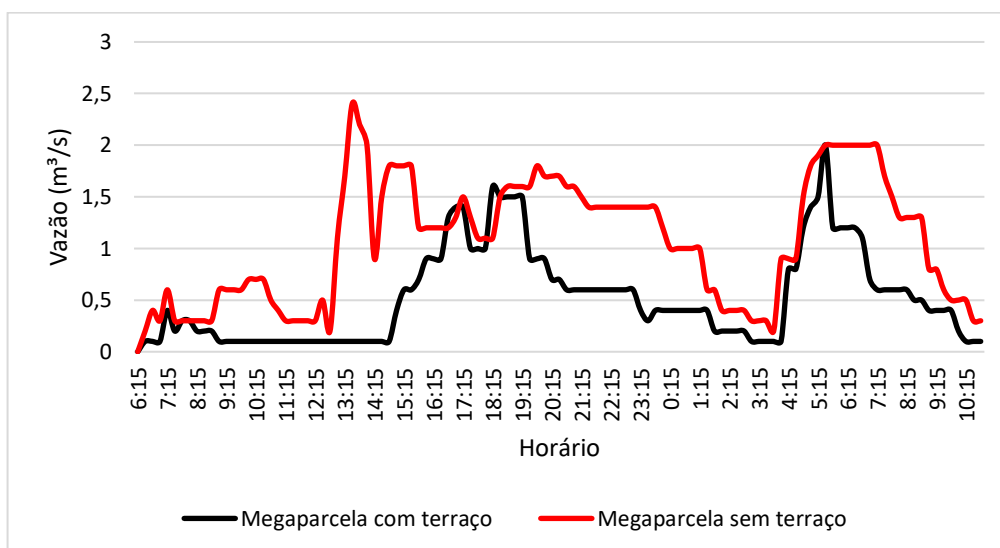
Precipitação (mm)	Registros	%
0,1 a 0,3	45	47
0,4 a 0,6	14	16
0,7 a 0,9	9	9
1,0 a 1,4	12	12
1,5 a 1,9	10	10
≥ 2,0	6	6
		<b>100</b>

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Novamente, a megaparcela com terraço apresentou vazão máxima inferior a apresentada pela megaparcela sem terraço. Portanto, como abordado por Facio (1991), a perda de solo por erosão hídrica aumenta com a vazão, demonstrando a conexão entre a lâmina d'água, intensidade da chuva e velocidade do fluxo. Nesta direção, as análises

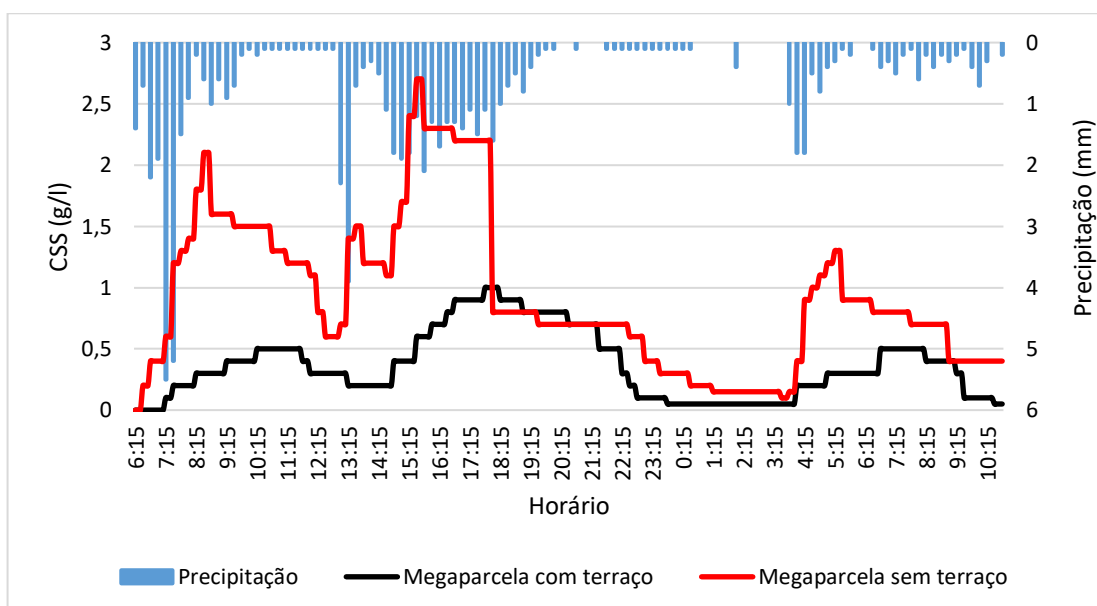
hidrossedimentológicas permitiram observar que a megaparcela sem terraços liberou mais sedimentos em grande parte do evento de precipitação, como apresentado pelo sedimentograma (Figura 77).

**Figura 76.** Hidrograma das megaparcelas com e sem terraço no evento do dia 23-24/11/2018.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 77.** Sedimentograma das megaparcelas com e sem terraço no evento do dia 23-24/11/2018.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Tendo em vista a elevação significativa da CSS após um registro de 5,5mm em 15 minutos às 07h15 e por ser o maior volume pluviométrico registrado nesse evento monitorado, buscou-se analisar os impactos da intensidade da chuva na geração da CSS em ambas as megaparcelsas, analisando a medição posterior ao registro de 5,5mm. Com intensidade da chuva em 22 mm/h, a CSS da megaparcelsa sem terraço foi seis vezes maior quando comparada a com terraço, sendo de 1,2 g/l em oposição a 0,2 g/l na megaparcelsa com terraço.

A CSS do evento de 23-24/11/2018 evidenciou maior concentração média de sedimentos por litro na megaparcelsa sem terraços: 0,92g/l, com CSS<sub>pico</sub> de 2,7g/l, frente a concentração média de 0,36 g/l na megaparcelsa com terraços com CSS<sub>pico</sub> de 1,2g/l. E, assim como observado no evento de 04/10/2018, houve redução de Ca, Mg e K após o evento de precipitação (Tabela 21).

**Tabela 21.** Análise química dos solos após o evento de chuva do dia 23-24/11/2018.

	mg/dm <sup>-3</sup>	g/kg			cmol/dm <sup>3</sup>			
	P	C	Al	Ca	Mg	K	pH	H+Al
Antes do evento	19.3	32.99	0.00	6.42	2.19	0.26	5.40	2.39
Após o evento	22.8	21.92	0.00	3.12	1.42	0.09	5.05	2.37

**Fonte:** Laborsolo, 2019. Org. pelo autor.

Após o evento ocorrido em 23-24/11/2018 e observação do aumento dos focos erosivos nas megaparcelsas, optou-se pela instalação de mantas de fibra de coco para reduzir a velocidade da água no canal escoadouro (Figura 78).

**Figura 78.** Rolos de fibra de coco (à esquerda) e instalação da manta no canal escoadouro (à direita).



**Fonte:** Oliveira, 2019.

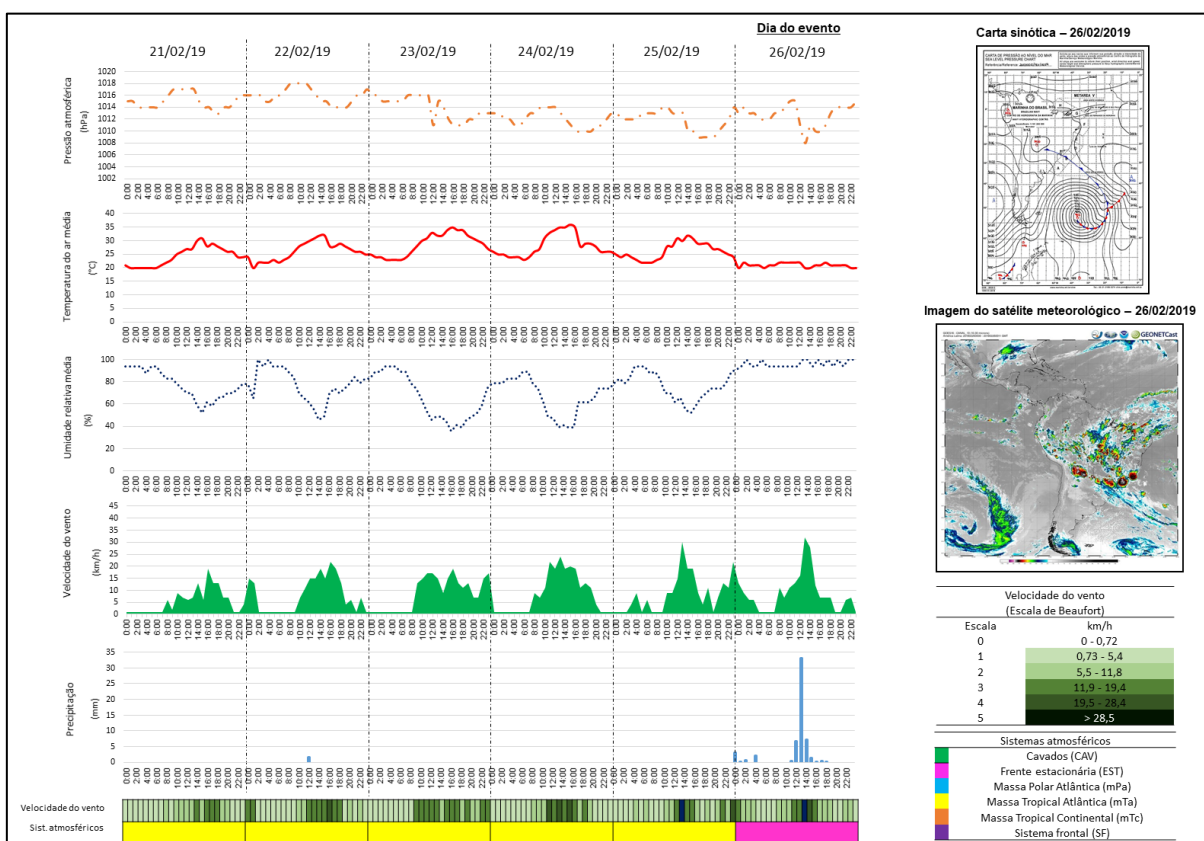


A fibra de coco pode ser empregada na área agrícola como matéria-prima para controle de erosão e repovoamento da vegetação de áreas degradadas, tendo em vista sua boa aderência ao solo. A fibra marrom, tecida em forma de manta, é um excelente material para ser usado em superfícies sujeitas à erosão provocada pela ação de chuvas ou ventos, como em taludes nas margens de rodovias e ferrovias, em áreas de reflorestamento, em parques urbanos e em qualquer área de declive acentuado ou de ressecamento rápido (CORREA, 2009).

### Evento dia 26/02/2019

Na análise da carta sinótica de superfície do dia 26/02/2019 foi observada uma frente estacionária entre o norte da Argentina e o sul do Paraguai, reduzindo as temperaturas entre o Paraná e Oceano Atlântico adjacente em virtude do aumento da nebulosidade (Anexo 1). O avanço dessa frente fria em contato com as massas de ar quentes e úmidas, comuns no verão na região, contribuíram para a geração de um tempo instável nesse dia, principalmente no centro-norte do Paraná (Figura 79).

**Figura 79.** Análise episódica com os parâmetros climáticos para o evento em 26/02/2019.



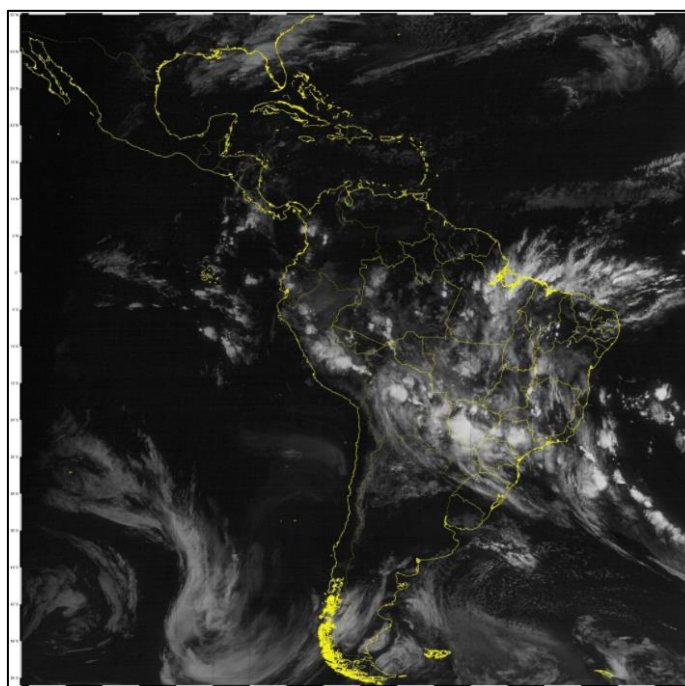
**Fonte:** Elaborado pelo autor



Historicamente o verão é uma estação chuvosa no estado do Paraná, bem como na RGIL e especificamente em Cambé, sendo que os volumes totais acumulados são consequência direta da atuação de sistemas atmosféricos de mesoescala, associados ao maior aquecimento diurno e à disponibilidade de umidade. Estes sistemas ocasionam chuvas intensas, localizadas, com grande incidência de descargas atmosféricas e de curta duração, muitas vezes acompanhadas de vendavais e granizo, afetando todas as regiões do estado (SIMEPAR, 2019).

A pressão atmosférica durante o evento monitorado oscilou entre 1015 hPa às 10h00 a 1008 hPa às 13h00, período de maior precipitação do evento, com o deslocamento do ar em direção ao oceano (Figura 80). O cenário de grande escala das temperaturas da superfície do mar (TSM) mostrou o desenvolvimento de um episódio El Niño de fraca intensidade no trimestre do verão de 2018/2019; confirmado no boletim divulgado pela Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA) em março/2019. Neste cenário, o regime das chuvas no Paraná no verão 2018/2019 ficou próximo da normal climatológica em todas as regiões do estado, possibilitando a ocorrência de períodos chuvosos associados às intercorrências atmosféricas pontuais, como frentes estacionárias e sistemas frontais, o que de fato ocorreu na área estudada.

**Figura 80.** Imagem de satélite no canal infravermelho (GOES-16) com a presença de nebulosidade em 26/02/2019.

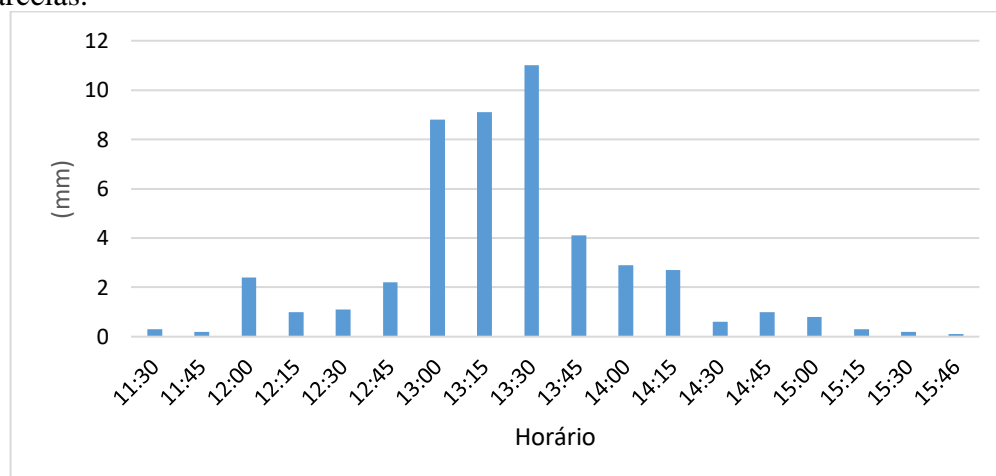


**Fonte:** INPE/CPTEC, 2019.

O evento analisado foi de 48,8mm (das 11h30 às 15h46), como apresentado no hietograma (Figura 81), com um total pluviométrico de 55,1 mm/dia. Ressalta-se que o total precipitado durante o evento analisado (48,8mm) foi superior ao limiar dos eventos extremos de precipitação para o percentil 90% (46,9mm) em Cambé, o que reforça a relevância desse total precipitando.

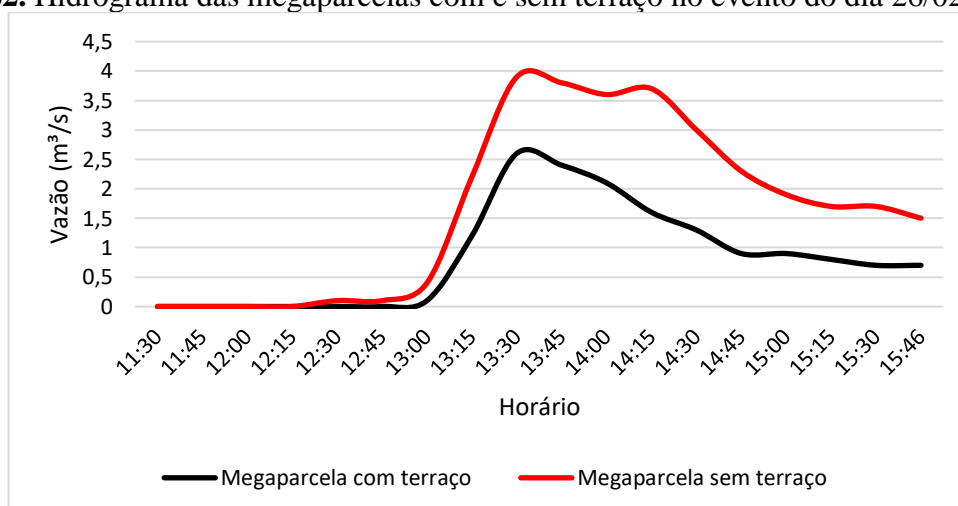
A vazão máxima na megaparcela sem terraço foi de 3,9 m<sup>3</sup>/s duas horas após o início do evento de chuva. Na megaparcela com terraço a vazão máxima chegou a 2,6 m<sup>3</sup>/s, aproximadamente duas horas e quinze minutos após o início do evento de chuva, como demonstrado no hidrograma (Figura 82).

**Figura 81.** Hietograma da precipitação observada no evento do dia 26/02/2019 nas megaparcelas.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 82.** Hidrograma das megaparcelas com e sem terraço no evento do dia 26/02/2019.

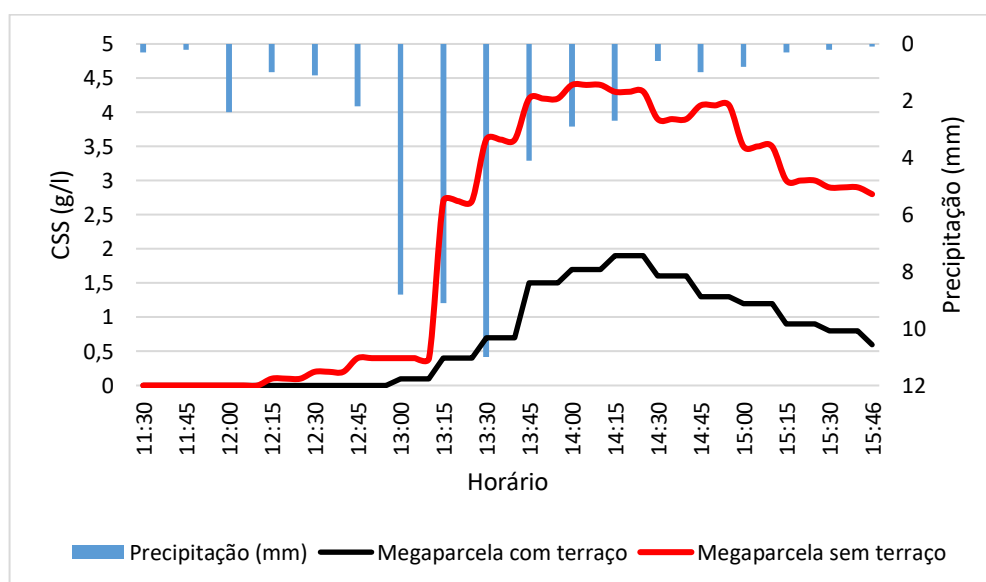


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A hipótese adotada para a proximidade no intervalo de tempo na vazão máxima em ambas as megaparcelsas se deve ao total pluviométrico precipitados nos minutos que antecederam a vazão máxima: 60% do total pluviométrico registrado durante todo o evento (das 11h30 às 15h46) ocorreu nos trinta minutos antecedentes a vazão máxima para a megaparcelsa sem terraços e quarenta e cinco minutos antecedentes para a megaparcelsa com terraços. Nessa direção, Borma e Nobre (2013) destacam que os eventos extremos de chuva alteram significativamente a vazão dos cursos hídricos nas bacias hidrográficas e são prejudiciais para o ritmo adequado em escala local, principalmente no que diz respeito ao assoreamento dos cursos e alteração da qualidade química da água.

Assim como nos dois eventos anteriores, a megaparcelsa com terraço apresentou vazão máxima inferior a apresentada para a megaparcelsa sem terraço. As análises hidrossedimentológicas permitiram observar que a megaparcelsa sem terraços liberou mais sedimentos em grande parte do evento de precipitação, como apresentado pelo sedimentograma (Figura 83).

**Figura 83.** Sedimentograma das megaparcelsas com e sem terraço no evento do dia 26/02/2019.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Observando a elevação da CSS no sedimentograma a partir da elevação da precipitação e por se tratar de elevados registros contínuos de precipitação, buscou-se analisar os impactos da intensidade da chuva na geração da CSS em ambas as megaparcelsas, analisando a hora com maior total pluviométrico (13h00 às 14h00). Com intensidade média

de chuva em 28 mm/h, a  $CSS_{total/hora}$  da megaparcela sem terraço foi aproximadamente três vezes maior quando comparada a com terraço, sendo de 15,3 g/l em oposição a 4,4 g/l na megaparcela com terraço (Tabela 22).

**Tabela 22.** Intensidade das chuvas e CSS das 13h00 às 14h00 no evento de 26/02/2019.

Horário	CSS <sub>com terraço</sub>	CSS <sub>sem terraço</sub>	Intensidade
	(g/l)	(g/l)	
13:00	0,1	0,4	35,2
13:15	0,4	2,7	36,4
13:30	0,7	3,6	44
13:45	1,5	4,2	16,4
14:00	1,7	4,4	11,6
Total	4,4	15,3	I <sub>média</sub> 28 mm/h

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A CSS do evento de 26/02/2019 evidenciou maior concentração média de sedimentos por litro na megaparcela sem terraços: 2,22g/l, com  $CSS_{pico}$  de 4,4g/l, frente a concentração média de 0,70 g/l na megaparcela com terraços com  $CSS_{pico}$  de 1,9g/l. E, com relação as análises químicas do solo, observou-se a mesma tendência de redução das bases e pH, porém, com elevação do H+Al (Tabela 23). Como abordado por Lopes (1998), a água da chuva, passando pelo solo, tende a lixiviar os nutrientes básicos do solo, como cálcio e magnésio. Eles são substituídos por elementos acidificantes, como o hidrogênio, o que credita aos solos formados sob condições de alta pluviosidade maior acidificação.

**Tabela 23.** Análise química dos solos após o evento de chuva do dia 26/02/2019.

	mg/dm <sup>-3</sup>	g/kg	cmol/dm <sup>3</sup>					
	P	C	Al	Ca	Mg	K	pH	H+Al
Antes do evento	21.7	22.12	0.00	5.17	1.41	0.11	5.61	2.24
Após o evento	21.3	21.94	0.00	3.27	1.02	0.05	5.11	2.51

**Fonte:** Laborsolo, 2019. Org. pelo autor.

Como já mencionado, após o evento monitorado em 23-24/11/2018 houve a implantação da fibra de coco no canal escoadouro, visando controlar os focos erosivos. Após sua instalação foi verificado que a manta de fibra de coco foi ineficiente na contenção e condução da água, sendo arrastada durante o evento de chuva ocorrido em 26/02/2019, com

um total precipitado superior ao limiar do percentil 90% para os eventos extremos. (Figura 84).

**Figura 84.** Arraste da manta de fibra de coco durante o evento de chuva ocorrido em 26/02/2019.



**Fonte:** Oliveira, 2019.

### **Evento dia 16/03/2019**

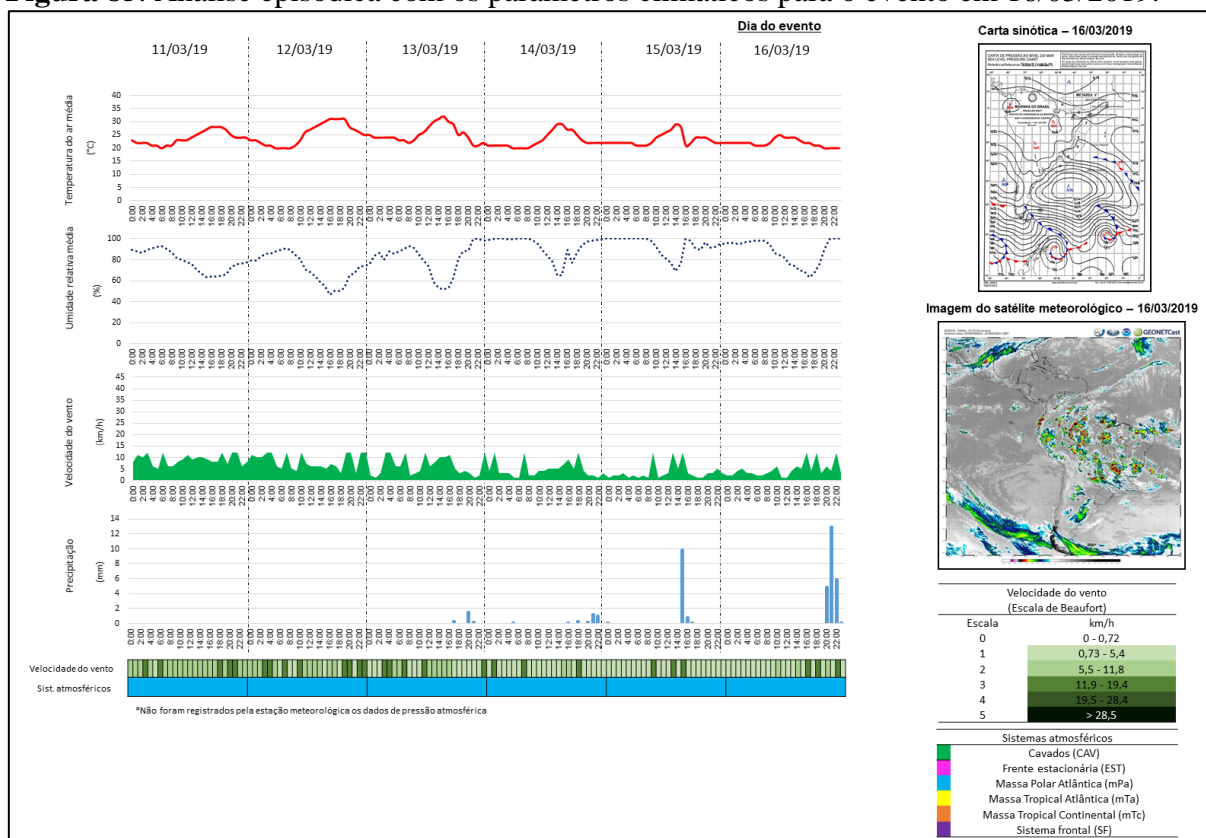
Como descrito pelo SIMEPAR (2019), março/2019 foi marcado pela atuação da Massa Polar Atlântica (mPa) no sul do Brasil e litoral, favoreceu a inserção de frentes frias e áreas de instabilidade pelo interior da região que produziram condições de chuva forte na segunda quinzena do mês.

Para Monteiro (1968), a mPa é mais potente nos seus avanços do sul para o norte, mantendo no sul do Brasil uma interferência muito importante durante todo o ano, enquanto sobre outras regiões brasileiras seja mais expressiva no inverno. Na RGIL, o final do mês de março demarca o início da redução das temperaturas, geralmente associadas a maior presença de frentes frias advindas da Argentina.

A análise das cartas sinóticas dos cinco dias antecedentes ao evento monitorado indicou o avanço sequencial de frentes frias advindas do sul da Argentina que reduziram as temperaturas por meio do aumento da nebulosidade nesse país com reflexos sentidos no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. No Paraná, observou-se a dissipação da frente ainda que, em 16/03, a temperatura média na área de estudo tenha sido de 18°C (Figura 85). As imagens de satélites mostraram em 16/03/2019 alta nebulosidade em todo o país (Figura 86), exceto em alguns pontos do nordeste brasileiro, como no Recôncavo Baiano. No Paraná, foram emitidos

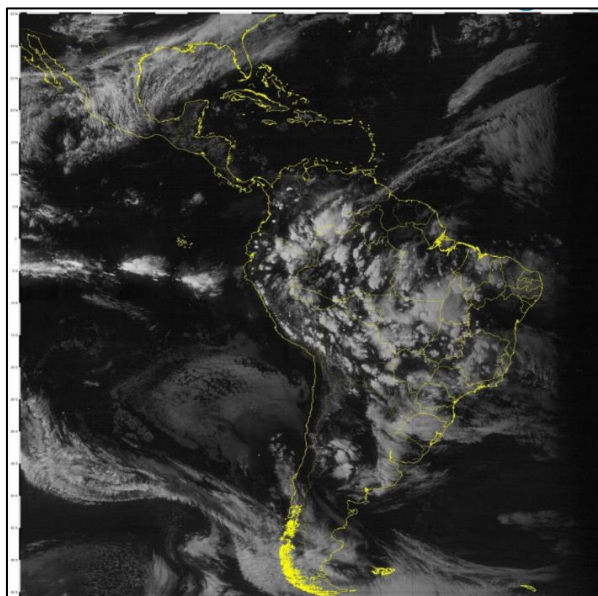
alertas para ocorrência de chuvas intensas no norte do estado pela Defesa Civil em virtude do deslocamento de instabilidades tropicais associadas às frentes frias citadas.

**Figura 85.** Análise episódica com os parâmetros climáticos para o evento em 16/03/2019.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

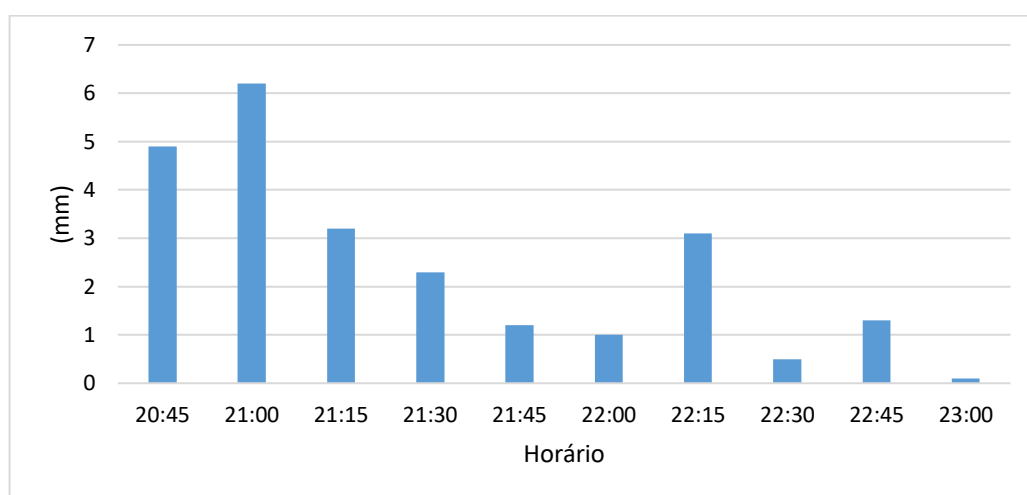
**Figura 86.** Imagem de satélite no canal infravermelho (GOES-16) com a presença de nebulosidade em 16/03/2019.



**Fonte:** INPE/CPTEC, 2019.

O evento analisado foi caracterizado por uma precipitação de 23,8mm (das 20h45 às 23h00), como apresentado no hietograma (Figura 87), com um total pluviométrico de 24,5 mm/dia. A vazão máxima na megaparcela sem terraço foi de 1,2 m<sup>3</sup>/s, trinta minutos após o início do evento de chuva. Na megaparcela com terraço a vazão máxima chegou a 0,6 m<sup>3</sup>/s, trinta minutos após o início do evento de chuva, como demonstrado no hidrograma (Figura 88).

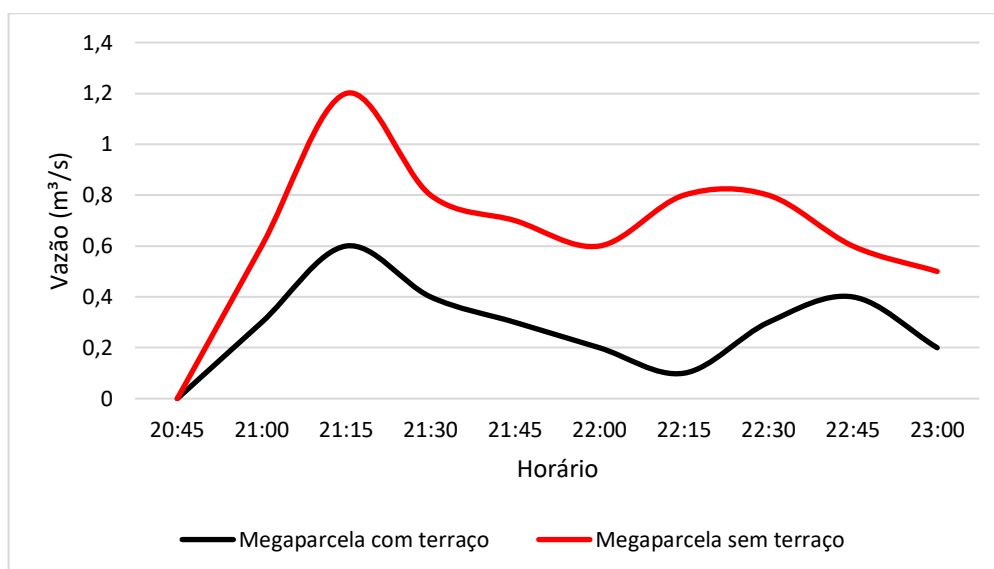
**Figura 87.** Hietograma da precipitação observada no evento do dia 16/03/2019 nas megaparcelas.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O retardo para o plantio do milho 1<sup>a</sup> safra (2018/2019) no Paraná resultou no atraso das colheitas da safra de soja, portanto no mês de março/2019 nenhum hectare na megaparcela havia sido colhido, elevando a concentração de massa verde viva no controle do impacto das gotas de chuva no solo (efeito *splash*). Tal relato se faz necessário, tendo observado neste evento as menores vazões médias e menores CSS médias entre todos os eventos monitorados. Neste sentido, como abordado por Cardoso (2009), espécies vegetais influenciam na perda do solo, fato potencializado quando ocorrem espécies com alto índice de cobertura de massa viva, ou seca, que elevam a proteção do solo ao amortecer o impacto das gotas de chuva sobre a superfície e, conseqüentemente, reduzem o escoamento superficial.

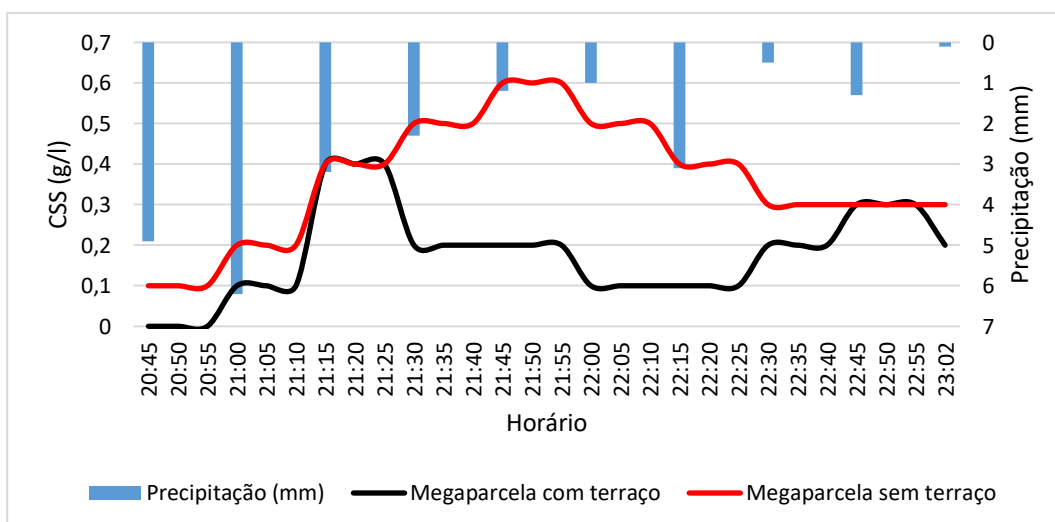
**Figura 88.** Hidrograma das megaparcelsas com e sem terraço no evento do dia 16/03/2019.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

As análises hidrossedimentológicas permitiram observar que a megaparcelsa sem terraços liberou mais sedimentos em grande parte do evento de precipitação, como apresentado pelo sedimentograma (Figura 89). O maior registro pluviométrico nesse evento foi de 6,2mm às 21h00, tendo como intensidade da chuva 24,8 mm/h, o que levou o aumento da CSS nos minutos seguintes.

**Figura 89.** Sedimentograma das megaparcelsas com e sem terraço no evento do dia 16/03/2019.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.



A CSS do evento de 16/03/2019 evidenciou maior concentração média de sedimentos por litro na megaparcela sem terraços: 0,36g/l, com CSS<sub>pico</sub> de 0,6g/l, frente a concentração média de 0,17 g/l na megaparcela com terraços com CSS<sub>pico</sub> de 0,4g/l. E, como parte das práticas vegetativas, em abril/2019 foram semeados milho e braquiária nos canais dos terraços para controlar os efeitos erosivos (Figura 90).

**Figura 90.** Semeadura de milho e braquiária nos canais dos terraços nas megaparcelas.



**Fonte:** Oliveira, 2019.

As análises químicas evidenciaram a tendência observada de redução das bases do solo após os eventos de precipitação, embora notou-se a menor variação de Ca, Mg e K antes e após o evento se comparados aos demais eventos monitorados (Tabela 24).

**Tabela 24.** Análise química dos solos após o evento de chuva do dia 16/03/2019.

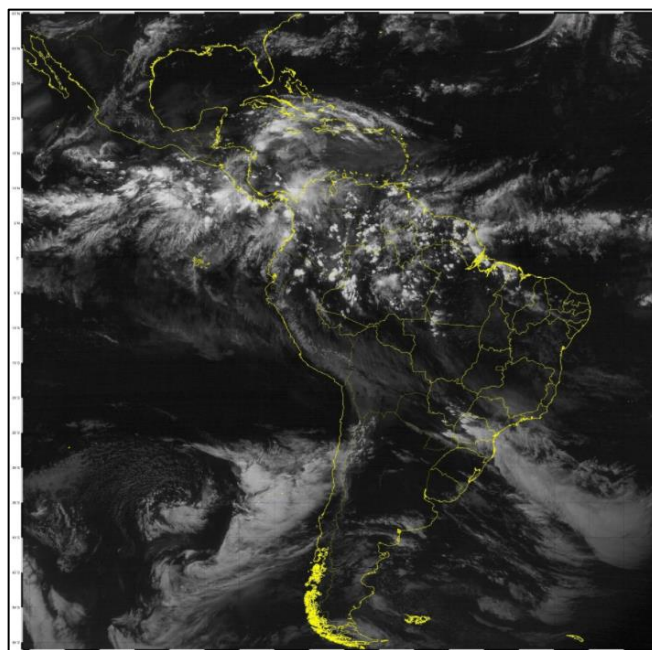
	mg/dm <sup>-3</sup>	g/kg			cmol/dm <sup>3</sup>			
	P	C	Al	Ca	Mg	K	pH	H+Al
Antes do evento	13.9	27.49	0.00	4.13	2.32	0.39	5.58	2.64
Após o evento	13.4	22.02	0.02	4.01	2.28	0.33	5.32	2.43

**Fonte:** Laborsolo, 2019. Org. pelo autor.

### Evento dia 28/05/2019

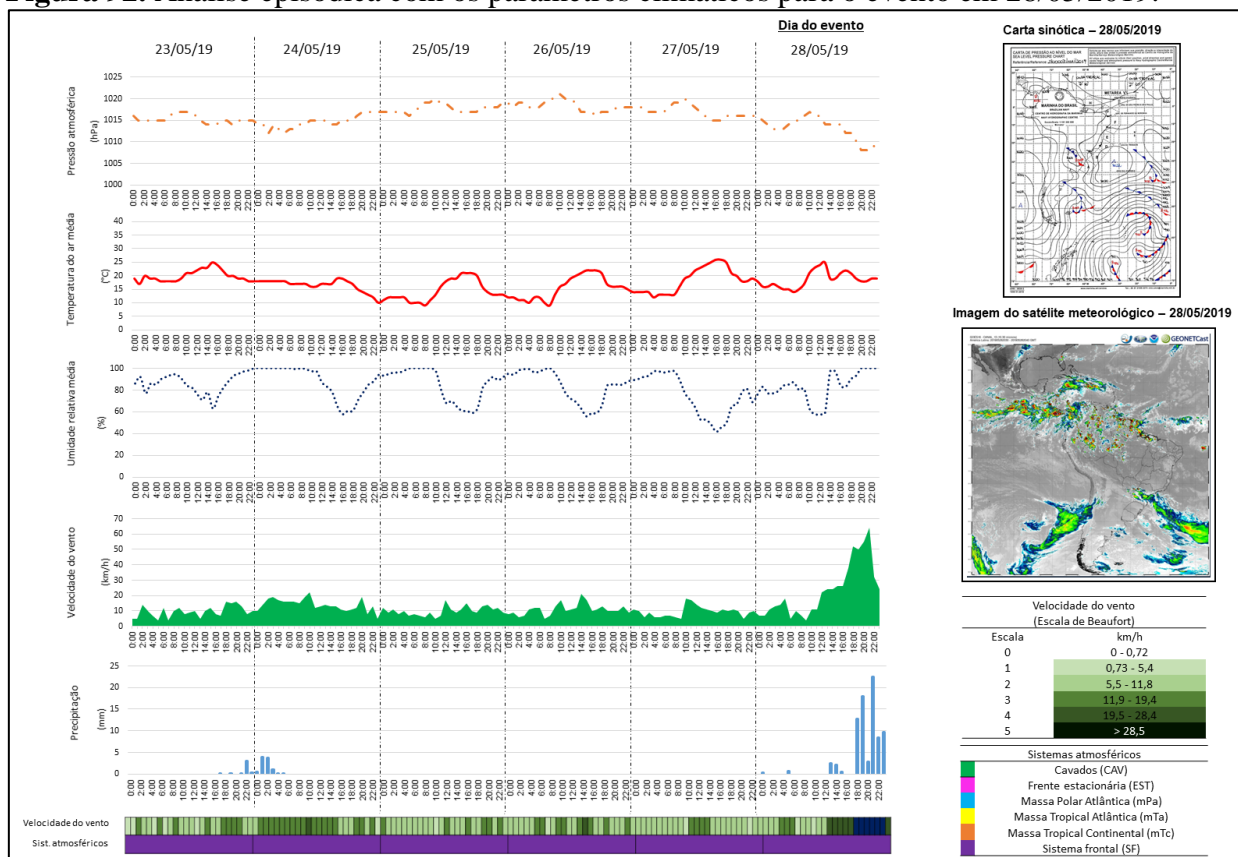
A atuação do sistema frontal combinado ao escoamento do Jato de Baixos Níveis (JBN) e com o suporte do cavado em médios e altos níveis gerou a condição de tempo instável em grande parte da Região Sul, principalmente no Paraná (Figura 91). A forte instabilidade atmosférica proporcionou condição para chuvas generalizadas (Figura 92) e com volumes elevados acompanhadas também de muitas descargas elétricas.

**Figura 91.** Imagem de satélite no canal infravermelho (GOES-16) com a presença de nebulosidade em 28/05/2019.



**Fonte:** INPE/CPTEC, 2019.

**Figura 92.** Análise episódica com os parâmetros climáticos para o evento em 28/05/2019.

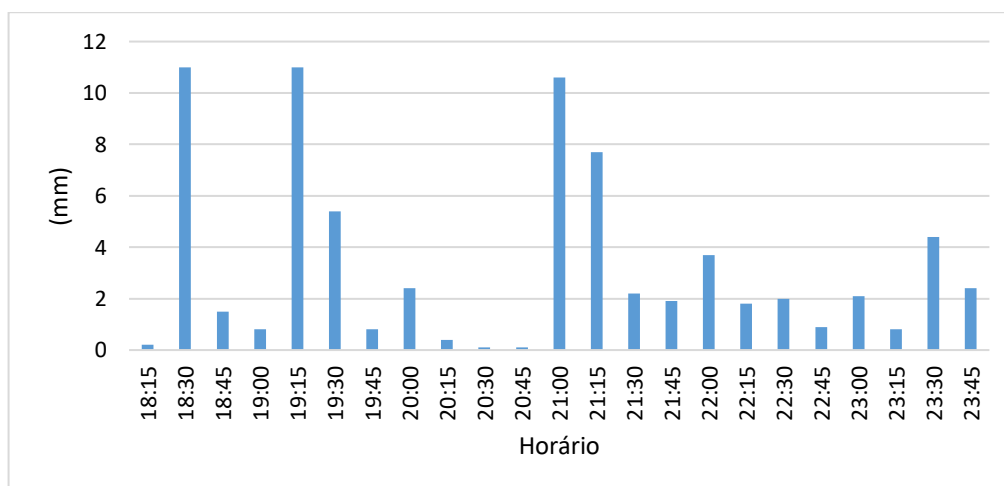


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Como observado no esquema da análise episódica e na imagem do satélite ocorreram temporais no estado acompanhados de rajadas de vento com forte velocidade, que nas megaparcels superaram 60km/h. A análise rítmica/episódica evidenciou a atuação preponderante dos sistemas frontais, frentes estacionárias e cavados como condicionantes atmosféricos, com chuvas capazes de gerar erosão dos solos dispostos nas megaparcels.

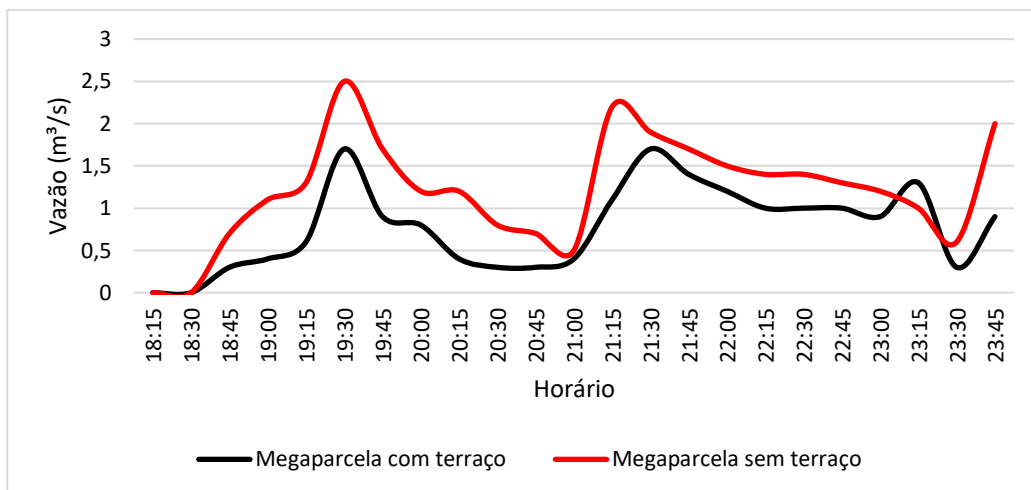
O evento analisado foi de 74,2mm (das 18h15 às 23h45), como apresentado no hietograma (Figura 93), com um total pluviométrico de 80,2 mm/dia: o total precipitado durante o evento monitorado superou o percentil 95% (65,8mm), estando entre os maiores totais pluviométricos registrados em toda série histórica (2017 a 2019). A vazão máxima na megaparcels sem terraço foi de 2,5 m<sup>3</sup>/s, uma hora e quinze minutos após o início do evento de chuva. Na megaparcels com terraço a vazão máxima chegou a 1,7 m<sup>3</sup>/s, uma hora e quinze minutos após o início do evento de chuva, voltando a se repetir às 21h30, como demonstrado no hidrograma (Figura 94).

**Figura 93.** Hietograma da precipitação observada no evento do dia 28/05/2019 nas megaparcels.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

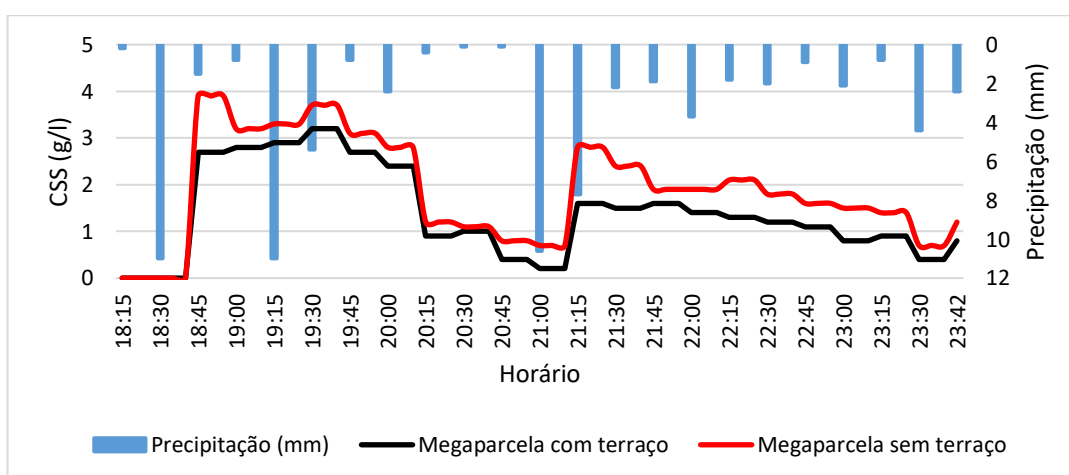
**Figura 94.** Hidrograma das megaparcelas com e sem terraço no evento do dia 28/05/2019.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Assim como nos dois eventos anteriores, a megaparcela com terraço apresentou vazão máxima inferior a apresentada pela megaparcela sem terraço. As análises hidrossedimentológicas permitiram observar que a megaparcela sem terraços liberou mais sedimentos em grande parte do evento de precipitação, como apresentado pelo sedimentograma (Figura 95).

**Figura 95.** Sedimentograma das megaparcelas com e sem terraço no evento do dia 28/05/2019.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Por se tratar do evento de maior total pluviométrico monitorado, adotou-se novamente a estratégia de observação dos impactos da intensidade da chuva na geração da CSS em

ambas as megaparcels. Desta vez, foram calculadas as intensidades das chuvas a cada registro de chuva. Com intensidade média de chuva em 12 mm/h, a  $CSS_{total-evento}$  da megaparcelsa sem terraço foi de 41,3 g em oposição a 31,8 g na megaparcelsa com terraço (Tabela 25). Destaca-se a contribuição da intensidade das chuvas às 18h30 para elevação significativa da CSS no registro seguinte, fazendo da intensidade uma variável da precipitação crucial para a liberação de sedimentos nas megaparcelsas.

**Tabela 25.** Intensidade das chuvas e CSS no evento de 28/05/2019.

Horário	CSS <sub>com terraço</sub>	CSS <sub>sem terraço</sub>	Intensidade
18:15	0	0	0,8
18:30	0	0	<b>44</b>
18:45	<b>2,7</b>	<b>3,9</b>	6
19:00	2,8	3,2	3,2
19:15	2,9	3,3	44
19:30	3,2	3,7	21,6
19:45	2,7	3,1	3,2
20:00	2,4	2,8	9,6
20:15	0,9	1,2	1,6
20:30	1	1,1	0,4
20:45	0,4	0,8	0,4
21:00	0,2	0,7	42,4
21:15	1,6	2,8	30,8
21:30	1,5	2,4	8,8
21:45	1,6	1,9	7,6
22:00	1,4	1,9	14,8
22:15	1,3	2,1	7,2
22:30	1,2	1,8	8
22:45	1,1	1,6	3,6
23:00	0,8	1,5	8,4
23:15	0,9	1,4	3,2
23:30	0,4	0,7	17,6
23:45	0,8	1,2	9,6

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A CSS do evento de 28/05/2019 evidenciou maior concentração média de sedimentos por litro na megaparcelsa sem terraços: 1,87g/l, com  $CSS_{pico}$  de 3,9g/l, frente a concentração média de 1,38 g/l na megaparcelsa com terraços com  $CSS_{pico}$  de 3,2g/l. Por fim, as análises químicas do evento em 28/05/2019 comprovaram a redução das bases do solo após os eventos de precipitação (Tabela 26).

**Tabela 26.** Análise química dos solos após o evento de chuva do dia 28/05/2019.

	mg/dm- 3	g/kg			cmol/dm3			
	P	C	Al	Ca	Mg	K	pH	H+Al
Antes do evento	18.4	22.47	0.00	7.25	3.24	0.23	6.10	2.73
Após o evento	9.4	11.34	0.00	4.21	0.18	0.03	5.60	2.52

**Fonte:** Laborsolo, 2019. Org. pelo autor.

Diante do arraste circunstancial da manta de fibra de coco, em fevereiro/2019 foi proposta a criação de um sistema de drenagem da água que fosse capaz de reduzir sua velocidade no final da calha Parshall. Sendo assim, uma caixa d'água interligada aos canos de drenagem de água foi instalada em abril e maio/2019 na direção da saída de água da calha Parshall em ambas as megaparcelsas (sem terraço e com terraço) (Figura 96).

**Figura 96.** Sistema de drenagem da saída de água nas megaparcelsas.

**Fonte:** Oliveira, 2019.

Destaca-se que tal ação contribuiu para a redução do arraste de sedimentos decorrente dos episódios de chuvas desde o final da calha até o rio em ambas as megaparcelsas. Como sugestão para estudos futuros, menciona-se a combinação das caixas d'água sob mantas de capim-vetiver no caminhamento preferencial da água. Isso porque, como a caixa d'água não abrange toda a área de escoamento preferencial da água e sedimentos, a manta de capim-vetiver pode auxiliar no amortecimento das gotas da chuva e no tempo de infiltração da água no solo.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Região Geográfica Intermediária de Londrina (RGIL) configura-se como uma região pluviograficamente homogênea com relação às chuvas médias mensais, porém heterogênea com relação às chuvas médias anuais, sendo o norte menos chuvoso (1.410mm) e o sul mais chuvoso (1.634mm).

As maiores variações pluviométricas decadais foram observadas na primavera (32%) e no inverno (53%) entre 2007 a 2018 e no verão (24%) e no outono (44%) entre 1987-1997. Com a aplicação do SPI-3 observa-se a primavera e o outono do ano de 1999/2000 como o período mais seco de toda série histórica. O verão e o inverno do ano de 1987/1988 destacam-se entre os mais secos. Por meio deste mesmo índice também foi verificado que a primavera e o verão do ano de 1996/1997 e 2015/2016 como os mais úmidos de toda série histórica.

A utilização do termo “chuva extrema” deve ser mais bem compreendida, entendendo que há a variação da distribuição espacial das chuvas e que, a chuva extrema para um local pode não ser a mesma para outro. Para tanto, a técnica dos percentis permitiu estipular que chuvas acima de 43mm/dia são consideradas extremas para a Região Geográfica Intermediária de Londrina.

Ademais, o município de Cambé destaca-se na RGIL por apresentar aumento nos dias consecutivos secos, aumento da precipitação nos dias chuvosos, aumento de dias com precipitação acima de 20 e 25mm, aumento de eventos extremos de precipitação e aumento da intensidade das chuvas, o que pode ter contribuído para o total de sedimentos erodidos durante o período analisado. Foi verificado ainda o aumento na intensidade das chuvas em Alvorada do Sul, Califórnia, Centenário do Sul, Londrina-São Luiz e Porecatu.

Outra tese comprovada por meio da aplicação dos índices climáticos foi o outono na RGIL apresentada redução nas chuvas (tendência negativa) em todos os cenários em que houve significância estatística superior ao nível de confiança de 90%. Neste sentido, sustenta-se duas teses: a marcação do clima tropical na RGIL traz uma concentração das chuvas nos meses do verão ou a estação seca passa por uma expansão, aumentando em número de dias.

Sob o ponto de vista hidrossedimentológico, a intensidade das chuvas foi um fator determinante para a liberação dos sedimentos em suspensão, embora os terraços dispostos na megaparcela tenham contribuído para reduzir sua concentração (CSS).

A proposta inicial do edital 01/2017 do Programa da Rede Paranaense de Apoio a Agropesquisa e Formação Aplicada/ Fundação Araucária/Seti/Senar/PR propunha o monitoramento de eventos pluviométricos superiores a 30mm/dia. Porém, outra tese aqui

comprovada é de que eventos de precipitação com intensidades superiores a 12 mm/h foram capazes de causar erosões em ambas megaparcelsas e intensidades  $\geq 44$  mm/h foram responsáveis por CSS superiores a 3,9g/l. A CSS durante os eventos de precipitação foi, em média, 1,33 g/l na megaparcelsa sem terraços e 0,63 g/l na megaparcelsa com terraços. Os eventos de precipitação reduziram a fertilidade química dos solos, principalmente Ca, Mg e K.

O monitoramento climático em escala regional e local, a partir da aplicação de modelos estatísticos e índices climáticos, permitiu o entendimento e caracterização do comportamento hidrossedimentológico nas megaparcelsas, trazendo resultados mais condizentes com a realidade na escala de propriedade, quando comparadas àquelas realizadas em parcelas-padrão.

Como sugestão para estudos futuros cita-se a utilização do granulômetro a laser para determinação das frações granulométricas dos sedimentos gerados após os eventos de precipitação. Como abordado por Oliveira *et al.* (2016), percebe-se que os dados gerados pelo granulômetro a laser produzem resultados eficazes, visto que este atinge leituras em faixas granulométricas mais estendidas; enquanto o método de determinação convencional da granulometria pode limitar-se até 1 micrômetro, o granulômetro a laser atinge 0,01 micrômetro, fornecendo uma maior segurança nos resultados.

- **Dificuldades encontradas nas análises laboratoriais**

Em relação às análises laboratoriais, observou-se uma dificuldade na separação dos sólidos dissolvidos, mesmo com a decantação de 18 dias. De maneira geral, a separação dos sólidos dissolvidos tem se apresentado lenta, ou seja, permanecem duas faixas de transição entre a superfície da lâmina d'água até o fundo do vidro, justificada pela alta concentração de argila (superior a 80%). Na primeira faixa (3 cm) ocorre uma separação nítida, já a segunda faixa 3-8 cm permanece com alta turbidez. Diante destes dados, constata-se uma dúvida sobre qual profundidade deve ser retirada a alíquota referente aos sólidos dissolvidos em suspensão, considerando as duas faixas de separação.

Portanto, estão sendo testadas estratégias para acelerar o processo de decantação dos sedimentos suspensos. Destaca-se como estratégia a adição na amostra de um volume de 10 ml de HCl de concentração 0,05 mol/L a fim de acelerar o processo de decantação sem comprometer a concentração dos sólidos solúveis.



Por hora, os testes apontaram que após 2 horas da adição do HCl os valores dos sólidos solúveis foram os mesmos observados para a amostra decantada naturalmente (18 dias). O comportamento observado corrobora e complementa aquele verificado nos primeiros testes, quando foi adicionado maior volume do ácido. A conclusão prévia é de que um volume reduzido de ácido pode ser utilizado, não havendo ônus no tempo de decantação induzida.

## REFERÊNCIAS

- ADACHI, S.; YOSHIKAWA, K.; YAMANOUCHI, U. Fine Mapping of Carbon Assimilation Rate 8, a Quantitative Trait Locus for Flag Leaf Nitrogen Content, Stomatal Conductance and Photosynthesis in Rice. **Front Plant Sci.** 2017; 8:60, 2017.
- AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP.** São Paulo, 378p. Tese (Doutorado em Geografia) - FFLCH - USP. 2000.
- AMORIM, R. S. **Deteção de Tendências em Séries de Extremos Hidrológicos Considerando Efeitos de Autocorrelação Temporal e Multiplicidade de Testes.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 167 p. 2018.
- ANGHINONI, I. **Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto.** In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.873-928. 2007.
- ARNOLD J. G., SRINIVASAN R., MUTTIAH R. S., WILLIAMS J. R. Large area hydrologic modeling and assessment part i: model development'. **Journal of the American Water Resources Association.** p. 12-21, 1998.
- AYOADE, J.O. **Introdução a climatologia para os trópicos.** Bertrand Brasil. Rio de Janeiro 332p. 1996.
- BAGARELLO, V.; FERRO, V. Plot-scale measurement of soil erosion at the experimental area of Sparacia (southern Italy). **Hydrological Processes** 18, 141–157, 2004.
- BANZON, V., T. M. SMITH, C. L.; HANKINS, W. A long-term record of blended satellite and in situ sea surface temperature for climate monitoring, modeling and environmental studies, **Earth Syst. Sci. Data Discuss**, 2016.
- BARBEDO, A.G.A. **Estudo Hidrossedimentológico na Bacia do Alto Paraguai – Pantanal.** Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande. 107f. 2003.
- BARROS, J. F. C; CALADO, J. G. **Rotações de Culturas,** Universidade de Évora, 2012.
- BARROS, V. R. et al. IPCC, 2014: **Summary for policymakers.** In: Climate Change 2014. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2014.
- BENNETT H.H. **Soil Conservation.** McGraw-Hill, New York. 69p. 1939.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Precipitação.** In: Tucci, C. E. M. Hidrologia: Ciência e aplicação. Porto Alegre: UFRGS, p.177-241, 2007.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo.** São Paulo: Ícone, 2010, 7ª ed. (Coleção Brasil Agrícola).

- BEUSELINCK, L.; HAIRSINE, P.; SANDER, G.; GOVERS, G. Evaluating a multiclass net deposition equation in overland flow conditions. **Water Resources Research**. 38. 2002.
- BLAIN, G.C. Tendências e variações climáticas em séries anuais de precipitação pluvial do Estado de São Paulo. **Bragantia**, São Paulo, v.69, p.765-770, 2010.
- BODNER F, BREHM G, HOMEIER J, STRUTZENBERGER P FIEDLER K Caterpillars and host plant records for 59 species of Geometridae (Lepidoptera) from a montane rainforest in southern Ecuador. **J Insect Sci** 10: 1-22, 2010.
- BOIX-FAYOS C. CAMPBELL R. Measuring soil erosion by field plots: understanding the sources of variation. **Earth-Science Reviews** 78 267–285, 2006.
- BONILLA, C. A et al. Instrumentation for measuring runoff, sediment, and chemical losses from agricultural fields. **Journal of environmental quality**, v. 35, n. 1, p. 216– 223, 2006.
- BORMA, L. De S.; NOBRE, C. A. **Secas na Amazônia: causas e consequências**. Oficina de Textos, 2013.
- BORSATO, V.A.; BORSATO, F.H. **A dinâmica atmosférica e a influência da Massa Polar Atlântica nas termoisopletas do outono de 2008 em Apucarana/PR**. Anais do V Encontro de Produção Científica e Tecnológica, p.1-10, 2010.
- BORSATO, V. A.; MENDONÇA, F.A. **A dinâmica dos sistemas atmosféricos no verão 2012- 2013 no Paraná e em Campo Mourão**. II Simpósio de Estudos Urbanos, 2013.
- BRANDÃO, C.A. **Telecomunicações e dinâmica regional no Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Educação. 188p. 1996.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA & Serviço Florestal Brasileiro – SFB. **Florestas do Brasil em resumo** (Relatório). Dados de 2004-2007. Brasília, DF: MMA e SFB, 2008.
- BRUK S. **Processos Etnodemográficos**. Ed. Nauka. Madri. 200p. 1985.
- BUSKE, T. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; ROSSO, R. B.; BRAGA, F. DE V. A. Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento. **Irriga**, Botucatu, v.19, n.2, p. 315- 329, 2014.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; VAN RAIJ, B.. **Determinação da matéria orgânica**. In: VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 600p. 2008.
- CARVALHO, R.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; SOUZA, F. S. Erosão hídrica em Latossolo Vermelho sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro no sul de Minas Gerais. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.1679-1687, 2007.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). **La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: paradojas y desafíos del desarrollo sostenible** (LC/G.2624) Santiago, Chile, 2015.

CHANG, K.T. **Introduction to Geographic Information Systems**. 3rd Edition. McGraw Hill, 2006. 234 p.

CHILINGAR, G. V.; AL-QAHTANI, G.; MOURHATCH, R. **The fundamentals of corrosion and scaling for petroleum and environmental engineers**. Houston: Gulf Publishing Company, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 54p.

CLARKE, R.T.; DIAS, P.L.S. **As Necessidades de Observação e Monitoramento dos Ambientes Brasileiros quanto aos Recursos Hídricos**. Publicação de apoio a prospecção CT-HIDRO 05. CGEE, 2003.

COELHO, R.D.; VICCINO, J.R.; SILVA V.M. da. **Infiltrômetro de anéis e variabilidade espacial das equações de infiltração de água no solo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21. Santa Maria, 1992, Anais... Santa Maria: UFSM, 1992.

COIADO, E.M. In: PAIVA, J. B. e PAIVA, E. M. C. D. (Orgs.) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, p.280-281. 2003.

COSTA, M. S.; LIMA, K. C.; ANDRADE, M. M.; GONÇALVES, W. A. Tendências observadas em eventos extremos de precipitação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, V.08, 1321-1334, 2015.

CUNHA, B.C.C. **Impactos socioambientais decorrentes da ocupação da planície de inundação do ribeirão Anicuns: o caso da Vila Roriz**. Dissertação de Mestrado. IESA, UFG, Goiânia, 1997

DARKWAH, W. K.; ODUM, B.; ADDAE, M.; KOOMSON, D. Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming. **Journal of Scientific Research and Reports**. 17. 1-9. 2018.

DECCO, H.T.; TORRES JUNIOR, A.R.; PEZZI, L.P.; LANDAU, L. Revisiting Tropical Instability Wave Variability in the Atlantic Ocean using SODA reanalysis, **Ocean Sci. Discuss**, v. 84, p.1-30, 2016.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 703-709, 1999.

DE VENTE, J.; POESEN, J. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semiquantitative models. **Earth-Science Reviews**, v. 71, p. 95-125, 2005.

DEUSCHLE, D. **Controle do escoamento superficial e das perdas de solo em sistema plantio direto na escala de lavoura**. Universidade Federal de Santa Maria - Centro de Ciências Rurais. Dissertação de Mestrado. 86p. 2016.

DIDONE, E.J.; BARBOSA, G.M.C.; OLIVEIRA, J.F.; OLIVEIRA, L.H.P.; OLIVEIRA, J.C.S.; RODRIGUES, R.J.; MERTEN, G.H.; MINELLA, J.P.G. **Monitoramento do impacto da agricultura conservacionista no comportamento hidrossedimentológico em uma encosta agrícola**. Anais do XIV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Campinas, 2020.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. **Les types de climats annuels au Brésil**: une application de la classification de Köppen de 1961 a 2015. *EchoGéo*, 41, 2017.

DUBREUIL, V.; FANTE, K.; PLANCHON, O.; SANTA'ANNA NETO, J. **Os tipos de climas anuais no Brasil** : uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. *Confins*, p.43-61, 2018.

DURÃES M.F. **Desenvolvimento Do Índice De Perturbação Hidrossedimentológica**: Aplicação Nas Bacias Hidrográficas Dos Rios Paraopeba E Sapucaí/MG. Universidade Federal de Lavras. Programa de Pós- Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas. Tese de doutorado. 184p. 2013.

EL-SWAIFY S.A.; MOLDENHAUER C.A. **Soil Erosion and Conservation**. Soil Conservation Soci-ety of America, Ankeny, IA, 1985.

ELY, D.F. **Teoria e método da climatologia geográfica brasileira**: uma abordagem sobre seus discursos e práticas. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Departamento de Geografia, Presidente Prudente. 208p. 2006.

ELY, D.F. Padrões espaciais das tendências das precipitações sazonais e mensais no estado do Paraná – Brasil. **Rev. Brasileira de Climatologia**: Edição Especial – XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2019.

ELY, D. F.; DUBREUIL, V. Análise das tendências espaço-temporais das precipitações anuais para o estado do Paraná – Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 21, dez. 2017.

ELY, D.F.; FORTIN, G. Trend analysis of extreme thermal indices in South Brazil (1971 to 2014). **Theoretical and Applied Climatology**, v.139. 3-4, p.1045-1056, 2019.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 353p. 2007.

EMBRAPA - - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo de Soja no Cerrado de Roraima** – Exigências climáticas. Embrapa Roraima, 2009. (Sistemas de Produção, 1ª edição).

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Diagnose e manejo de doenças fúngicas na cultura da cebola**. Circular técnica 133, Embrapa Hortaliças, Brasília, 2014.

ENGMAN E.T. Applications of Microwave Remote Sensing of Soil Moisture for Water Resources and Agriculture. **Remote sens. Environ.** v35, p.213-226, 1991.

FANG, N.F., WANG, L., SHI, Z.H., Runoff and soil erosion of field plots in a subtropical mountainous region of China. **Journal of Hydrology**, 2017.

FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa, 9p. (Circular Técnica n° 48), 2007.

FARINACCIO, M. et al. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS utilizando novas metodologias em SIG para cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 7, n. 2, p. 73-85, 2006.

FIALHO, E.S.; SOUZA, J.J.L.L. Utilização do clima no planejamento com reflexo das condições ambientais nos centros urbanos. **Acta geográfica**. Boa Vista, v.1, n2, p.29-41, 2007.

FREIRE, O. **Solos das regiões tropicais**. Botucatu: Fepaf, 271p. 2006.

FREITAS, R. E.; MENDONÇA, M. A. A. Expansão Agrícola no Brasil e a Participação da Soja: 20 anos. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 54, n. 3, p. 497-516.

GAISER, G.G.; COLOZZI FILHO, A.; SILVA, A.S. **Monitoramento de bioindicadores do solo em áreas com implantação de terraços**. Resumos do XXVIII Seminário do Programa de Iniciação Científica do IDR-Paraná, 2020.

GEBRIM, F. O.; et al. Lixiviação de cátions favorecida pela presença de ânions inorgânicos e ácidos orgânicos de baixa massa molecular em solos adubados com camas de aviário. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2255-2267, 2008.

GEORGAKAKOS, A.; FLEMING, P.; DETTINGER, M. **Water Resources**. In Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment. Edited by J. M. Melillo, Terese (T.C.) Richmond, and G. W. Yohe, 69–112. U.S. Global Change Research Program, 2014.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Climate change and plant diseases. **Scientia Agricola**, p.23-41, 2008.

GILBERT, R. O. **Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring**. United States: N. 231p., 1987.

GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. Analysis of Changes in Meteorological Variables Using Mann-Kendall and Sen's Slope Estimator Statistical Tests in Serbia. **Global and Planetary Change**, 100, 172-182, 2013.

GONCALVES A.D.M.A.; LIBARDI P.L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **R. Bras. Ci. Solo**, 37:1174-1184, 2013.

GOSLING, S.N.; ARNELL, N.W. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. **Climatic Change** 134, 371–385, 2016.

GRIMM, A. M. **Influência remota de fontes tropicais anômalas de calor**. Tese de Doutorado. Instituto Astronômico e Geofísico, USP. São Paulo, 216p. 1992.

GUERRA, A. J. T. et al. **O início do Processo Erosivo**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. do; BOTELHO, R. G. M. (orgs). Erosão e conservação dos Solos. Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1999.

GUPTA, S., et al. Quality of life, big data and the power of statistics. **Statistics and Probability Letters**, 2018.

HANN, J.F. **Handbuch der Klirnatologie**. Wien, 764 pp. 1882.

HANSEN, J.; M. SATO, P.; KHARECHA, K. Earth's energy imbalance and implications. **Atmos. Chem. Phys.**, 11, 13421-13444, 2011.

HATFIELD, J.L.; PARKIN, T.B. Enhanced efficiency fertilizers: Effect on agronomic performance of corn in Iowa. **Agron. J.** 106:771–780, 2014.

HELMS D. **Readings in the History of the Soil Conservation**. Service United States Department of Agriculture Soil Conservation Service Historical Notes Number. 1991.

HEPBURN, C. **The Economics and Politics of Climate Change**. Oxford: Oxford University Press, 2009. p.365-384.

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p. 145-154, 1998.

HSIEH, Y. P. A mesh-bag method for field assessment of soil erosion. **Journal of Soil and Water Conservation** 47(6):495-499, 1992.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ- IAPAR. **Dados diários de chuva**. Acesso em: 12/04/2018. Disponível em: <http://www.iapar.br/pagina-2236.html>, 2015.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ- IAPAR. **Dados diários de chuva**. Acesso em: 12/04/2018. Disponível em: <http://www.iapar.br/pagina-2236.html>, 2016.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ- IAPAR. **Mapa climático do Paraná**. Acesso em: 20/02/2020. Disponível em: <http://www.iapar.br/pagina-677.html>, 2019.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – IPARDES. **Leituras regionais: mesorregiões geográficas do Paraná**. Curitiba, 2004. Disponível em:

<[http://www.ipardes.gov.br/index.php?pg\\_conteudo=1&sistemas=1&cod\\_sistema=1&ano\\_es tudo=2004](http://www.ipardes.gov.br/index.php?pg_conteudo=1&sistemas=1&cod_sistema=1&ano_es tudo=2004)>. Acesso em: 17 abr. 2018.

IPCC, 1992: **Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Seveth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 234pp. 1992.

IPCC, 2007: **Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp. 2007.

IPCC, 2012: **Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Seveth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 326pp. 2012.

IPCC, 2019: **Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Seveth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 556pp. 2019.

JAICAY, N.; HLINKA, J.; KRAVTSOV, S.; TSONIS, A.; PALUS, M. Time scales of the European surface air temperature 335 variability: The role of the 7–8 year cycle, **Geophysical Research Letters**, 43, 902–909, 2016.

JENNY, H. **Factors of soil formation: A system of quantitative**. New York, McGraw-Hill, 1941. 271p.

KAISER, H.; RIHA, S.J.; WILKS, D.S. SAMPATH, P. Adaptations to global climate change at the farm level. **Agricultural Dimensions of Global Climate Change**. 136-152, 1993.

KARL, T.R.; NICHOLLS, N.; GHAZI, A. CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: workshop summary. **Clim. Change** 42: 3–7, 1999.

KENDALL, M.G. **Rank Correlation Methods**. Charles Griffin, London. 1975.

KINGRA, P.; KAUR, H. Microclimatic Modifications to Manage Extreme Weather Vulnerability and Climatic Risks in Crop Production. **Journal of Agricultural Physics**, 2017.

KÖPPEN, W. **Versucheiner Klassifikation der Klimate**, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. – Geographische Zeitschrift 6, 593–611, 657-679. 1901.

KÖPPEN, W. **Das geographische system der klimate**. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Ed.). Handbuch der klimatologie. Berlin: Gebruder Borntraeger, v. 1, p. 1-44, part C, 1936.

KOSTIAKOV, A. N. **On the dynamics of the coeficiente of water percolation in soils and the necessity of studying it from dynamic point of view for purposes of amelioration**. 6th Committee of International Society of Soil Science. Paris: International Soil Science Society, v. 6, p. 17- 21, 1932.

LAL R. Soil degradation by erosion. **Land Degradation & Development**, 12, 519–539. 2001.

LAL R.; STEWART, B.A. Soil degradation: A global threat. **Adv. Soil Sci.**, 11:13-17, 1990.

LANGDALE G. W., WEST L. T., BRUCE R. R., MILLER W. P., THOMAS A. W. Soil properties. **Soil Technol** v.5, p.81-87, 1992.

LEPSCH, I.F. **19 Lições de pedologia**. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LIMA, L.F.C.; SANTOS, B.B.; SANTOS, G.G.; TAVARES, D.S.M.; GAMA, J.S.N. **Desempenho agrônômico de variedades de feijão-caupi no período de estiagem em**



**Castanhal-PA.** Anais do IV Congresso Internacional de Ciências Agrárias, Teresina, Piauí, 2019.

LONDE, L. R. Desastres relacionados à água no Brasil: perspectivas e recomendações. **Ambient. soc.** [online], vol.17, n.4, 2014.

LONDERO, A. L. **Perdas De Água E Sedimento De Bacias Pareadas De Ordem Zero Sob Plantio Direto Com E Sem Terraço.** Dissertação de Mestrado, 157f; Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, UFSM, 2015.

LOPES, A.S. Manual Internacional de fertilidade do solo (tradução). Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e Fosfato. 2ª ed. Piracicaba: 1998. 177p.

MACHADO, F.S. **Erosão hídrica sob chuva simulada em diferentes classes de solos e coberturas vegetais na província petrolífera de Urucu – Coari, AM.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia. 56p. 2010.

MACHADO, J. P.; JUSTINO, F.; PEZZI, L. P. Efeitos do aumento da tensão de cisalhamento do vento no clima do Hemisfério Sul obtido do modelo acoplado SPEEDO. **Rev. bras. meteorol.** [online], vol.29, n.4, 2014.

MAGNONI, F.; MAGNONI JUNIOR, L.; FIGUEIREDO, W.S.; ANDREO, J.R. O monitoramento climático e o alerta de desastres naturais na era da comunicação digital. **Ciência Geográfica** - Bauru - XVI - Vol. XVI, 2012.

MAGRIN, G.O., et al. **Climate changes in Central and South America.** In: Barros, V.R., et al., Eds., *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part B: Regional Aspects*, Cambridge University Press, Cambridge, 1499-1566, 2014.

MALUTTA S. **Estudo hidrossedimentológico da bacia hidrográfica do Rio Negrinho-SC com o modelo swat.** Universidade Federal De Santa Catarina Centro Tecnológico Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Ambiental. Dissertação de Mestrado. 126p. 2012.

MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica** 13, 245-259. 1945.

MARCUZZO, F.F.N.; GOULARTE, E.R.P. Caracterização do Ano Hidrológico e Mapeamento Espacial das Chuvas nos Períodos Úmido e Seco do Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 1, p.91-99, 2013.

MARENGO, J. A. et al. Climate changes in Tropical South America east of the Andes. In “State of the Climate in 2014”, **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 95, p. S170-S171, 2014.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A.P.A.; ALVES, L.M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Climanálise**, v.4, 49-54, 2016.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade:** caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 2006.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C.A.; CHOU, S. C.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES, L. M.; OBREGÓN, G. O.; SOARES, W. R.; BETTS, R.; KAY, G. **Riscos das mudanças climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia**, 2011.

MARINS, J. A. L.; MASSOQUIM, N. G. **A influência do fenômeno El Niño na produção da soja no município de Campo Mourão: os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, [S.l.], v. 1, p. 2567-2571, 2017.

MCDONALD C. Soil economy. **Early American Soil Conservationists**, 33-42, 1941.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. **The relationship of drought frequency and duration to time scales**. In: 8th Conference on Applied Climatology, Am. Meteorol. Soc. Boston, 179–184, 1993.

MELILLO, J.; YOKE, G.W. **Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment**. US Global Change Research Program, 2014.

MELLOR, J.E.; LEVY, K.; ZIMMERMAN, J.; ELLIOTT, M.; BARTRAM, J.; CARLTON, E.; CLASEN, T.; DILLINGHAM, R.; EISENBERG, J.; GUERRANT, R.; LANTAGNE, D.; MIHELIC, J.; NELSON, K. Planning for climate change: The need for mechanistic systems-based approaches to study climate change impacts on diarrheal diseases. **Science of the Total Environment**, 548: 82-90, 2016.

MENDONÇA, F. A. **O Clima e o Planejamento Urbano das Cidades de Porte Médio e Pequeno: Proposições Metodológicas para Estudo e sua Aplicação à Cidade de Londrina/PR**. 300f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MENDONÇA, F. A. Aspectos da problemática ambiental urbana da cidade de Curitiba/PR e o mito da "capital ecológica". **GEOUSP - Espaço e tempo**. São Paulo: v.1, p.179 - 188, 2002.

MENDONÇA, F. A. Riscos, vulnerabilidade e abordagem socioambiental urbana: uma reflexão a partir da RMC e de Curitiba. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**. N.10. p.139-148. Jul/dez. Curitiba: editora UFPR, 2004.

MENDONÇA, F. A.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos. 208p. 2007.

MENDONÇA, L. A. R. et al. Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 89-98, 2009.

MERTEN G.H.; NEARING M.A.; BORGES A.L.O. Effect of Sediment Load on Soil Detachment and Deposition in Rills. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 65:861–868. 2001.

MERTEN, G.H.; ARAÚJO, A.G.; BARBOSA, G.M.C. **Erosão no Estado do Paraná** (org). Erosão no Estado do Paraná: fundamentos, estudos experimentais e desafios. Londrina: IAPAR, 2016.

MERTEN, G.H.; ARAÚJO, A.G.; BISCAIA, R.C.M. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil Tillage Res** 152:85–9, 2015.

MILLION, A. **Characterization of Indigenous Stone Bunding and its effects on crop yield and soil productivity at Mesobit-Gedba**. [Dissertação de Mestrado]. Alemaya University, Etiópia. 2003. 299p.

MINELLA J.P.G. **Monitoramento hidrológico e da erosão: da parcela à bacia hidrográfica**. Anais XX Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2016.

MINELLA, J. P. G. et al. Establishing a sediment budget for a small agricultural catchment in southern Brazil, to support the development of effective sediment management strategies. **Journal of Hydrology** 519, 2189–2201, 2014.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; RUHOFF, A. L. Utilização de métodos de representação espacial para cálculo do fator topográfico na equação universal de perda de solo revisada em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1455-1462, 2013.

MINEROPAR. Serviço Geológico do Paraná. **O Grupo Serra Geral no estado do Paraná: mapeamento geológico na escala de 1:250.000 (I e II)**. 1a ed. Curitiba: Mineropar, v. 1 e 2, 2013.

MIYAZAWA, M.; BARBOSA. G.M.C. Efeitos da agitação mecânica e matéria orgânica na análise granulométrica do solo. **Rev Bras. de Engen. Agrícola e Ambiental** v.15, n.7, p.680–685, 2011.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros**. Brasília: MMA/SBF, 404 p. 2002.

MONTEIRO C. A. de F. **O clima e a organização do espaço no estado de São Paulo: problemas e perspectivas**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. 54p.

MONTEIRO, C.A.F. **A Frente Polar Atlântica e as Chuvas de Inverno na Fachada Sul Oriental do Brasil** (Contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil). São Paulo: IGEOG/USP, 1969.

MONTEIRO, C.A.F. **Clima e Excepcionalismo** (Conjecturas sobre o Desempenho da Atmosfera como Fenômeno Geográfico). Florianópolis: UFSC, 1991.

MONTEIRO, C.A.F. **O Estudo Geográfico do Clima**. In: Cadernos Geográficos. Florianópolis: CFH/Departamento de Geociências. Ano 1, nº1, 1999.

MORAES A. C. Licenciatura em ciências sociais e ensino de sociologia: entre o balanço e o relato. **Tempo social**. Vol.15, nº.1. São Paulo: p. 1-16, 1999.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion & conservation**. Longman: Blackwell, 2005.

MUELLER, B., SENEVIRATNE, S.I. Hot days induced by precipitation deficits at the global scale. **Proc. Natl. Acad. Sci.** 109 (31), 2013.

MURPHEE C. E.; MCGREGOR K. C. **Soil conservation** .Trans. ASAE 407 1991.

NERY, J.T. Dinâmica climática da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, nº1, 2005.

NI J.R.; LI, X.X., BORTHWICK, A.G.L. Soil erosion assessment based on minimum polygons in the Yellow River basin, China. **Geomorphology** 93, 233-252. 2008.

OGASHAWARA, I. Análise rítmica e a climatologia geográfica brasileira. **Revista Geoaraguaia**, [S.l.], dec. 2012. ISSN 2236-9716, 2012.

OKE, T.R. **Bibliography of Urban Climate**, 1977 –1980. World Climate Program Publication 45. World Meteorological Organization, 1980.

OLIVEIRA, T.G.; MENDES, G.C.; PEREIRA, E.L.; FERREIRA, L.D. **Análise comparativa entre o granulômetro a laser e o método convencional de granulometria por sedimentação**. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Belo Horizonte: p.1-6, 2016.

OLIVEIRA, A.B.; COSTA, A.C.L.; SILVA, V.P.R.; DIAS, J.D.; PATRIOTA, M.R.A.; RODRIGUES, C.C. Estudo da variabilidade horária da temperatura e umidade do solo na área experimental do projeto Esecafior-Caxiuanã-LBA. **Ciência e Natura** v.40, Edição Especial: X Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, 2018.

OLLESCH, G.; VACCA, A. Influence of time on measurement results of erosion plot studies. **Soil and Tillage Research** 67, 23–39, 2002.

OMM, 2011. World Meteorological Organization Regional. **Guia de práticas climatológicas**, 2011.

OMM, 2012. World Meteorological Organization Regional. **Climate changes**. Association VI Conference on Social and Economic Benefits (SEB) of Weather, Climate and Water Services. 2012.

ORLANSKI, I. Arational subdivision of scales for atmospheric processes. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v56(5), p527-534, 1975.

OSTERKAMP, W.R., TOY, T.J. Geomorphic considerations for erosion prediction. **Environmental Geology** 29, 152–157. 1997.

PALMER, W.C. **Meteorological drought**. Washington (US Weather Bureau Res. Nº 45), 58p. 1965.

PATINO, C.M.; FERREIRA, J.C. Confidence intervals: a useful statistical tool to estimate effect sizes in the real world. **J Bras Pneumol**, v.41(6):565–566, 2015.

PEDRON F. A.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; BOTELHO, M. R.; MENEZES, F. P. Levantamento e classificação de solos em áreas urbanas. In: Importancia, limitações e aplicações. **Bras. Agrociência**, Pelotas, v. 13, n.2, p. 147-151, abr-jun, 2004.

PEEL, M.C., FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. – **Hydrol. Earth Syst. Sci.** 11, 1633–1644. 2007.

PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. Mudanças Climáticas Globais e a Agricultura no Brasil. **Revista Multiciência**, Campinas, ed.8, 2007.

PEREIRA, M. A. F. **Processos hidrossedimentológicos em diferentes escalas espaço temporais no bioma Mata Altântica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 118p. 2010.

PERUSI M.C. **Discriminação de Argissolos e avaliação da estabilidade de agregados por vias seca e úmida em diferentes sistemas de uso e manejo**. Botucatu, 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. 2005.

PESSINI, P. B. **Estudo dos Eventos de Seca Meteorológica na Região Sul do Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina – Engenharia Sanitária e Ambiental, 87p. 2017.

PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, P.; SINCLAIR, K.; KURZ, D.; MCNAIR, M.; CRIST, S.; SPHPRITZ, L.; FITTON, L.; SAFFOURI, R.; BLAIR, R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. **Science**, v. 267, n. 5201, p. 1117-1123, 1995.

PINKAYAN, S. **Conditional probabilities of occurrence of wet and dry years over a large continental area**. Forty-Collins. Colorado-USA: Hydrology Colorado State University, 1966.

PSCHEIDT, I.; GRIMM, A.M. Frequency of extreme rainfall events in Southern Brazil modulated by interannual and interdecadal variability. **International Journal of Climatology**, v.29, 1988-2011. 2009.

RANVEER, A.; LATAKE, P.; PAWAR, P. The Greenhouse Effect and Its Impacts on Environment. **International Journal of Innovative Research and Creative Technology (IJIRCT)**. 1. 333-337, 2015.

REICHARDT, K. **A Água em Sistemas Agrícolas**. São Paulo: Manole. 1986. 188 p.

RIBEIRO, A.G. As escalas do clima. **Boletim de Geografia Teorética** 23, 288-294. 1993.

RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. Models for the estimation of the physical quality of a Yellow Red Latosol (Oxisol) under pasture. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 47(1): 25-31, 2004.

ROCHA, G.C. Carta de solos da bacia do ribeirão Cambé na área urbano-rural de Londrina, PR. **Semina: Ci. Exatas/Tecnológicas**, v. 16, n. 4, p. 536-549, dez. 1995.

ROSEGHINI, W. F. F. **Ocorrência de eventos climáticos extremos e sua repercussão sócio-ambiental no litoral norte paulista**. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2007.

ROSSATO, R. Cidades brasileiras: a urbanização patológica. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v.7, p.23-32, 1993. SADID N.; HAUN S. WIEPRECHT S. An overview of hydro-

sedimentological characteristics of intermittent rivers in Kabul region of Kabul river basin, *International Journal of River Basin Management* 1-6p, 2017.

RUHE, R.V. Geomorphic Surfaces and the nature of soils. **Soil Sci.**, 82:441-445, 1956.

SALTON, F.G. **Ocorrência de eventos extremos de precipitação em Londrina (PR):** uma análise a partir dos impactos. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual de Londrina. Departamento de Geografia. 59p. 2019.

SANSIGOLO, C.A.; KAYANO, M.T. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in southern Brazil for the 1913-2006 period. **Theoretical and Applied Climatology**, 101(1-2), 209-216, 2010.

SANT'ANNA NETO, J.L. Da climatologia geográfica à geografia do clima gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno geográfico. **Revista da ANPEGE**, [S.l.], v. 4, n. 04, p. 51-72, jul. 2017. ISSN 1679-768X, 2008.

SANT'ANNA NETO, J.L. **História da climatologia no Brasil:** gênese e paradigmas do clima como fenômeno geográfico. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 169 f. 2001.

SANTOS, B.C; SOUZA, P.H.; VECCHIA, F.A.S. A caracterização da precipitação do ano hidrológico de 2013-2014 na região de São Carlos/SP e sua repercussão no espaço geográfico. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

SANTOS, C. A.; et al. Tendências dos índices de precipitação no estado do Ceará. **Rev. bras. meteorol.**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 39-47, 2009.

SANTOS, F.A.S.; ANJOS, R.J. **Utilização do Índice de Precipitação Padronizada (SPI) no monitoramento da seca no Estado de Pernambuco.** In: XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Anais, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, Fortaleza, p. 121- 122, 2001.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306 p. 2013.

SANTOS, M. **A redescoberta da Natureza.** Estudos Avançados. v.6 nº.14 São Paulo: 1992.

SANTOS, P.V.S; SANTOS, R.; COUTINHO, M.D.L. Detecção de Mudanças Climáticas Através de Índices Pluviométricos Diários no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, n.4 713-731, 2013.

SILVA, W. L. et al. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Rev. bras. meteorol.**, São Paulo: v. 30, n. 2, p. 181-194, 2015.

SCHNEIDER, S. H. **Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change** *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Contribution of WGII to the Fourth Assessment Report of the IPCC ed M L Parry, O F Canziani, J P Palutikof, P J van der Linden and C E Hanson (Cambridge: Cambridge University Press) 779–810, 2007.

SEÇKIN, N.; TOPÇU, E. Drought analysis of the Seyhan Basin by using Standardized Precipitation Index (SPI) and L-moments. **Tarım Bilimleri Dergisi** 22(2):196–215, 2016.

SEN, P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. **J. Am. Stat. Assoc.** 63, 1379–1389. 1968.

SHAFFER, B. A.; DEZMAN, L. E. **Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas**. In: Proceedings of the (50th). Annual Western Snow Conference, p. 164–75. Fort Collins, CO: Colorado State University, 1982.

SILVA R. S.; MAGALHÃES H. Ecotécnicas urbanas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 4, n.7, p.33-42, 1993.

SILVA, G. M. **Avaliação da ocorrência de seca no Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 126 f. 2012.

SILVA, M.E.S; GUETTER, A.K. Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná. **Revista Terra Livre**, São Paulo-SP, Ano 19 - vol. I - n. 20, p. 111-126, jan/jul. 2003.

SILVA, M.S.; MARTINS, M.H.A.; OLIVEIRA, D.M. **Hidrodinâmica do Igarapé da Fortaleza e do Rio Curiaú e Morfologia de Fundo (Batimetria) do Igarapé da Fortaleza**. In: TAKIYAMA, L.R.; SILVA, A.Q. da (orgs.). Diagnóstico das Ressacas do Estado do Amapá: Bacias do Igarapé da Fortaleza e Rio Curiaú. Macapá-AP, CPAQ/IEPA e DGEO/SEMA, p.137-154, 2003.

SILVA, W. L. et al. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Rev. bras. meteorol.**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 181-194, 2015.

SILVEIRA, A. L. L. da. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 3ª edição, Porto Alegre: Ed. da UFRGS, p. 35-51, 2004.

SOARES, T. J. **Efeito estufa: a Amazônia e os aspectos legais**. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas/Editora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 173p. 2007.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **Glossary of Soil Science Terms**. Soil Science Society of America. Madison: USDA, NSSC, 2010.

SONALI, P.; KUMAR, D.N. Review of trend detection methods and their application to detect temperature changes in India. **Journal of Hydrology**, v. 476, p. 212-227, 2013.

SORRE, M. **Les fondements de la géographie humaine**. Tome III, L'Habitat. Paris: Librairie Armand Colin. 1952. 494p.

SORRE, M. **Les fondements de la géographie humaine: les fondements biologiques** 3. Ed Paris: Librairie Armand Colin. 1957.

SPERLING, S.; BONETTI, L. P.; SOARES, R. M.; ANTONIAZZI, R. L. **Recorrência do fenômeno de estiagens na estação de cultivo da soja no município de Cruz Alta, Rio Grande do Sul**. In: SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 17., 6-8 nov. 2012, Cruz Alta, Proceedings... Cruz Alta: UNICRUZ. 2012.

SPRINGER, K. Considerações acerca da geografia de Alexander von Humboldt. Ver. **RA'E'GA**, Curitiba, n. 18, p. 7-22, 2009.

STIGTER, K. Development of Microclimate Modification Patterns in Forestry. In: Stigter K. (eds) **Applied Agrometeorology**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010.

SUERTEGARAY, D. M. A.; NUNES, J. O. R. A natureza da Geografia Física na Geografia. **Terra Livre**, v. 2, n. 17, p. 11-24, 2001.

SVEILIS, J.R. **Interpretação de informações meteorológicas**. Centro de Instrução Almirante Graça Aranha (Trabalho de Conclusão de Curso). Rio de Janeiro, 2014. 44p.

TADDEI, R. **Oráculos da chuva em tempos modernos: mídia, desenvolvimento econômico e as transformações na identidade social dos profetas do sertão**. In: MARTINS, K. P. H. (Org.). Profetas da chuva. Fortaleza: Tempo d'Imagem, p. 161-170. 2006.

TARIFA, J. R.; AZEVEDO, T. R. **Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática**. [S.l: s.n.], 2001.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; RIBON, A.A. Physical properties of dystrophic Red Latosol (Oxisol) under different agricultural uses. **R. Bras. Ci. Solo**, 34:925-933, 2010.

TEN CATEN A; DALMOLIN R.S.D; PEDRON F.A; MENDONCA-SANTOS M.L. Spatial resolution of a digital elevation model defined by the wavelet function. **Pesq Agropec Bras**. 2012; 47:44 p.9-57.

TRENBERTH, K. E., FASULLO, J. T., BALMASEDA, M. A. Earth's energy imbalance. **J. Clim.**, 27, 3129–3144, 2014.

TROPMAIR, H. **Sistemas/Geossistemas/Geossistemas Paulistas**. Ecologia da Paisagem. Edição do autor. Rio Claro, 2004. 130 p.

VACARIO, E.P.L.; MACHADO, G. **Inundações urbanas em Londrina-PR: um estudo da Bacia do Ribeirão Cambé**. Rev. Geografia em Questão, v.12, p.120-141, 2019. VALENTIN C.; POESEN J.; LI Yong. Gully erosion: impacts, factors and control. **Catena** v. 63, p.132–153, 2005.

VANONI, V. A. **Sedimentation engineering**. New York: ASCE (Manuals & Reports on Engineering Practice) n. 54. 1977.

VESTENA, L.R. **Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento e modelagem**. 2008. 264f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.



- VIANELLO, R.L. **A estação meteorológica e seu observador**: uma parceria secular de bons serviços prestados à humanidade. Instituto Nacional de Meteorologia, 16p. 2011.
- VIEIRA FILHO, J.E. R.; GASQUES, J.G (org.). **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília: Ipea, 2016. 391 p.
- VITTE, A.; SILVEIRA, R. Considerações sobre os conceitos de natureza, espaço e morfologia em Alexander Von Humboldt e a gênese da Geografia Física moderna. **GEOUSP Espaço E Tempo (Online)**, 14(1), 77-94. 2010.
- VITTE, P.; MANENTI, F.; PIERUCCI, S. Dynamic Simulation of Concentrating Solar Plants. **Rev. Chemical Engineering Transactions**, p.23-34. 2012.
- WALLING, D.E Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. **Science of the Total Environment**, 344, p.159-184, 2005.
- WANG, G.Q.; ZHANG, J.Y.; LIU, J.F.; HE, RM. Quantitative assessment for climate change and human activities impact on river runoff. **China Water Resource** 2008(2):55–58 (em chinês), 2008.
- WANG, Y.; REN, F.; ZHANG, X. Spatial and temporal variations of regional high temperature events in China. **Int. J. Climatol**, 34, pp. 3054-3065, 2014.
- WILLIAMS, G. P. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. **Journal of Hydrology**, v.111, p.89-116, 1989.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, DC: USDA (Agriculture Handbook, 537). 1978. 58p.
- WISCHMEIER, W.H. **A rainfall erosion index for a Universal Soil-Loss Equation**. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 23(3):246-249, 1959.
- WRI .World Resources Institute - **World Resources**, 1992-1993. A report by the World Resources Institute. Oxford University Press, New York, NY. 385 pp. 1992.
- XAVIER, T.M.B.S.; SILVA, J.F.; REBELLO, E.R.G. **A Técnica dos quantis e suas aplicações em Meteorologia, Climatologia e Hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras**. Thesaurus Editora de Brasília Ltda. Brasília, 141 p. 2002.
- XIMENES, L.J.F.; LOPES, P.A.A.; MENDONÇA, E.C.B. **Efeitos das secas sobre indicadores agropecuários do Nordeste**. In: SEMINÁRIO SOBRE SECAS, IMPACTOS E RESPOSTAS – Uma análise da seca de 2012-2013 no Nordeste e Contribuições para uma Política Nacional de Secas. Fortaleza, 2013.
- YOKOYAMA, L.P.; WETZEL, C.T.; VIEIRA, E.H.N.; PEREIRA, G.V. **Sementes de feijão: produção, uso e comercialização**. In: VIEIRA, E.H.N. & RAVA, C.A. (eds.). Sementes de feijão: produção e tecnologia. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, p.249-270. 2000.
- ZANDONADI, L.; ACQUAOTTA, F.; FRATIANNI, S.; ZAVATTINI, J.A. Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River Basin). **Theor Appl Climatol** v. 123, p.741–756, 2016. ZANIN P.R; BONUMÁ N.B. FRANCO D. Comportamento

hidrossedimentológico de bacia hidrográfica com reservatório. **Geociências**, v. 36, n. 1, p. 185-203, 2017.

ZAVATTINI, J.A. **Les études du rythme climatique du Brésil au cours de la période 1971-2000**. In: Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 18, 2005, Gênes, Actes ..., Gênes, AIC, p.317-320, 2005.

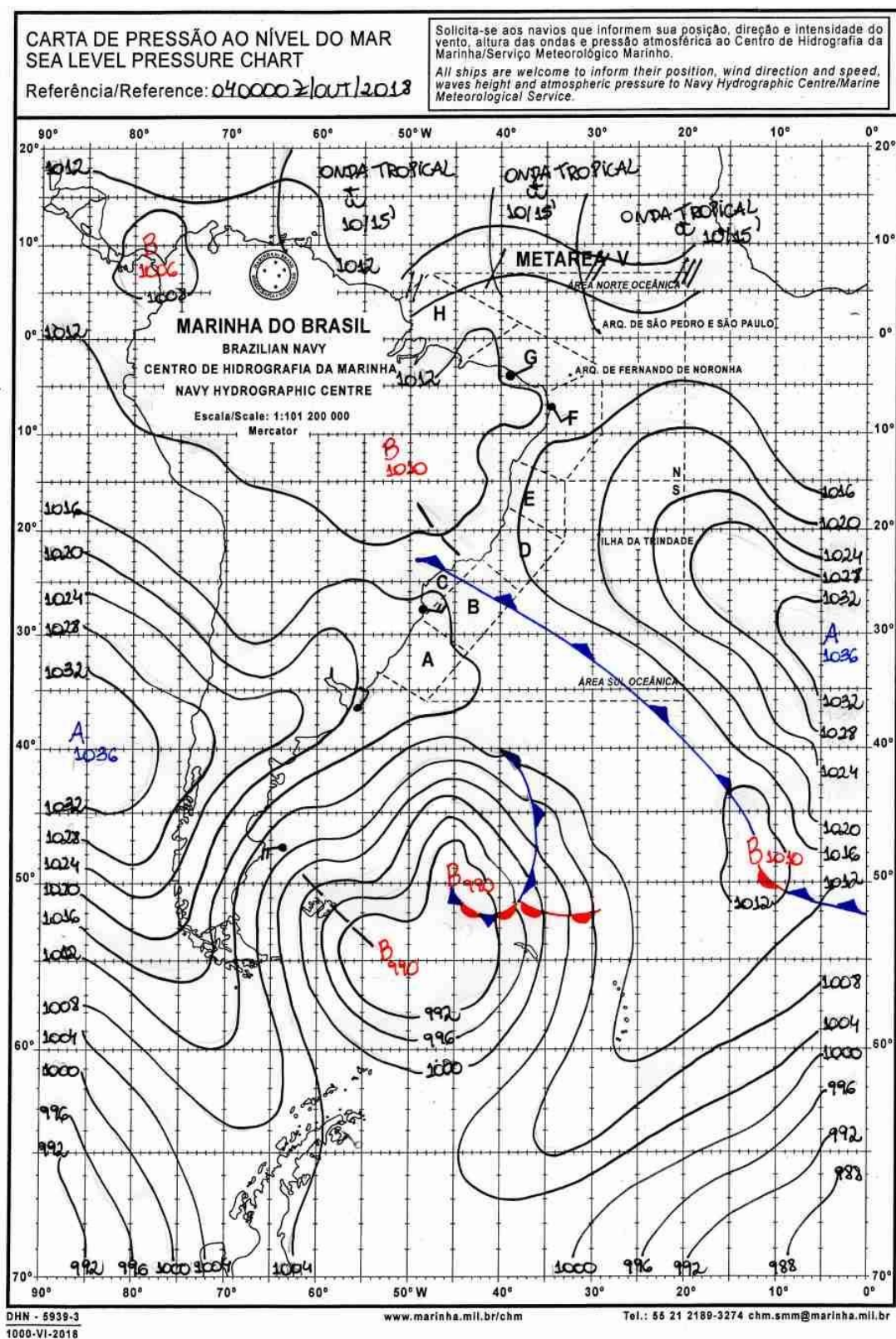
ZAVATTINI, J.A. O tempo e o espaço nos estudos do ritmo do clima no Brasil. **Revista Geografia, AGETEO**, Rio Claro, v. 27, n. 3, p. 101-131, 2002.

ZAVATTINI, J.A. **As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul**: estudo geográfico com vista à regionalização climática. Cultura Acadêmica: São Paulo 2009. 215p.  
ZHANG, X.; YANG, F. RCLimDex (1.0) User Guide. Climate Research Branch Environment Canada, Downsview, Ontario, Canada. 22p. 2004.

ZHU, H.D., SHI, Z.H., FANG, N.F., WU, G.L., GUO, Z.L., ZHANG, Y. Soil moisture response to environmental factors following precipitation events in a small catchment. **Catena** 120, 73-80. 2014.

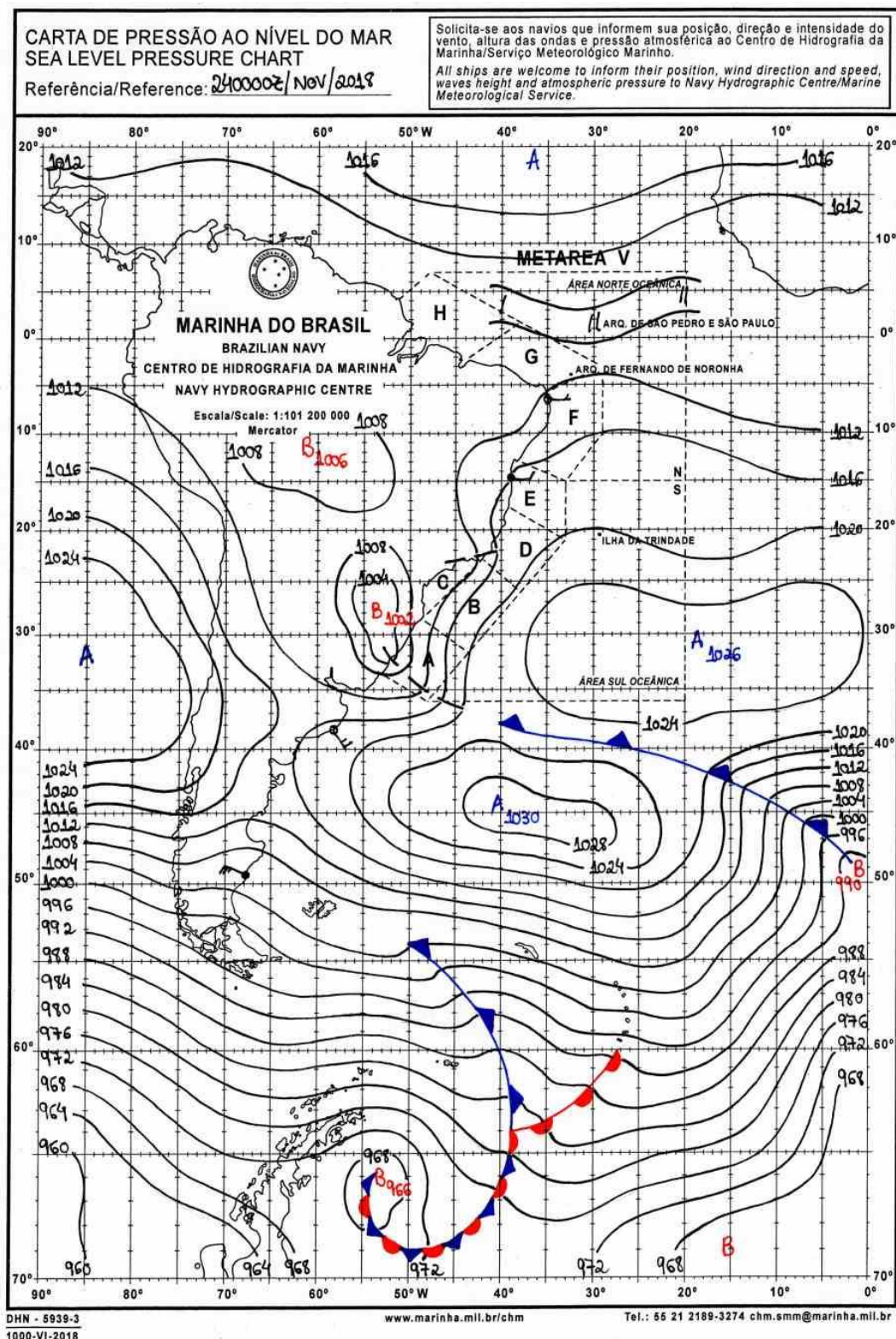
## ANEXOS

Cartas sinóticas utilizadas na análise episódica

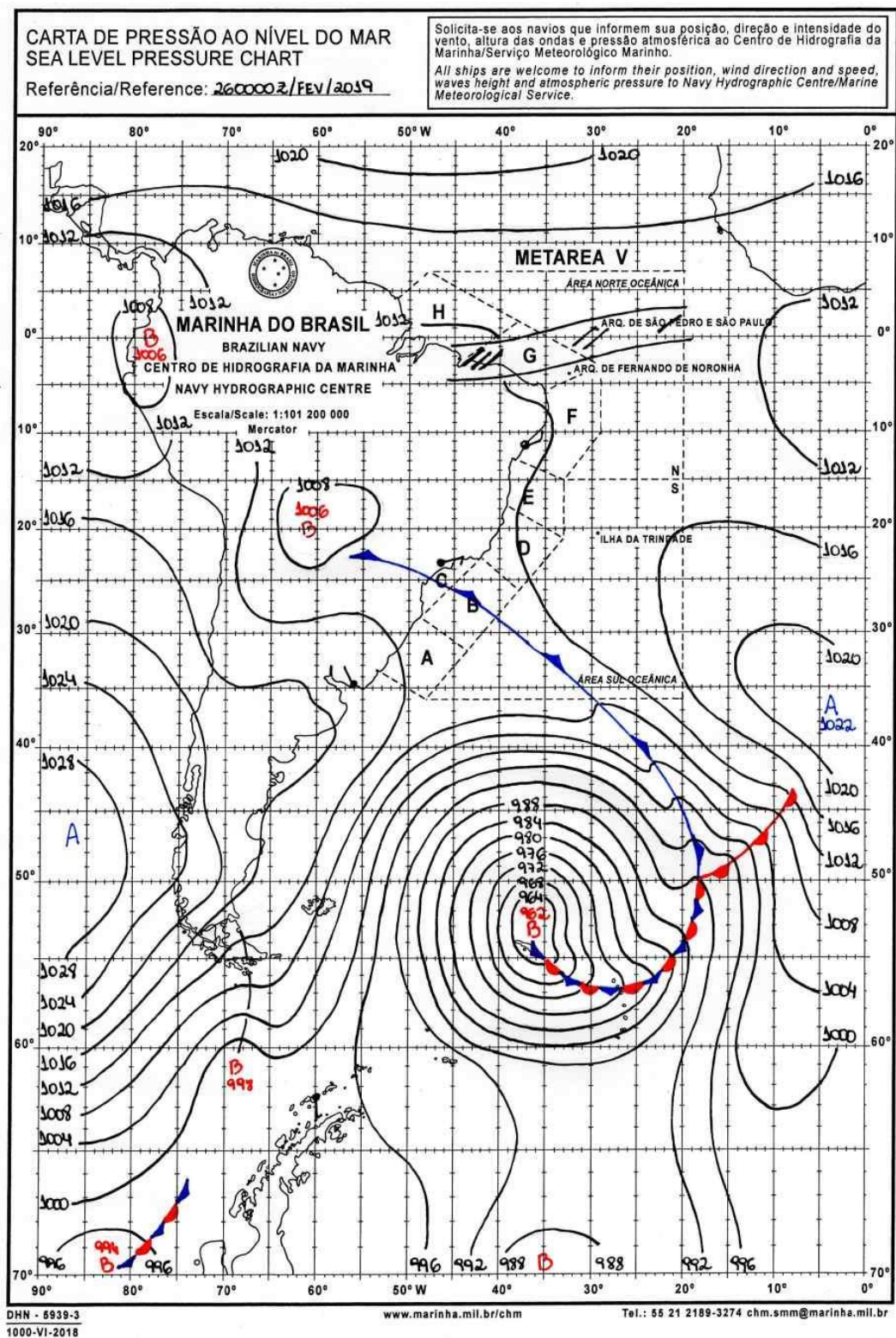


Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil, 2018.



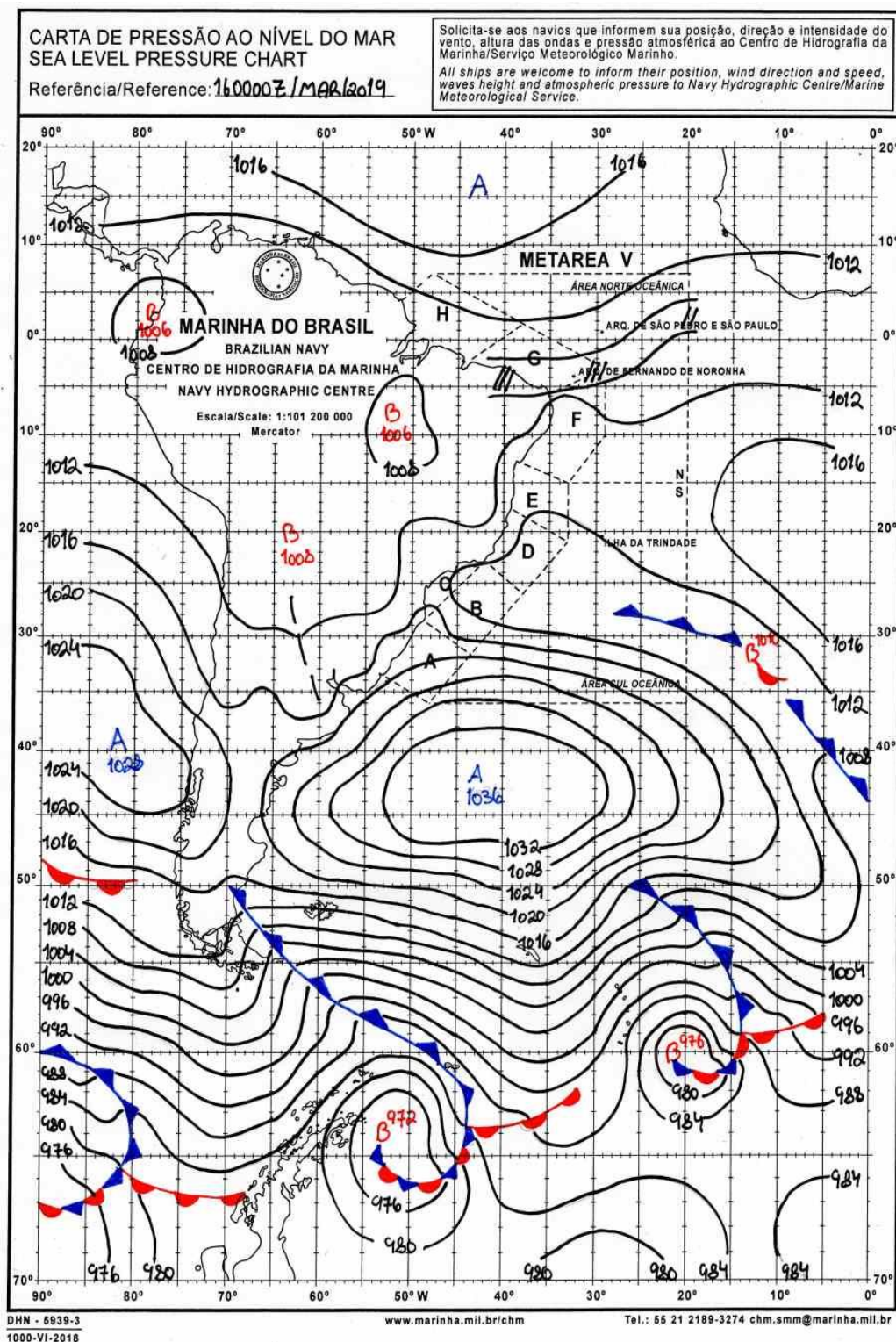


**Fonte:** Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil, 2018.

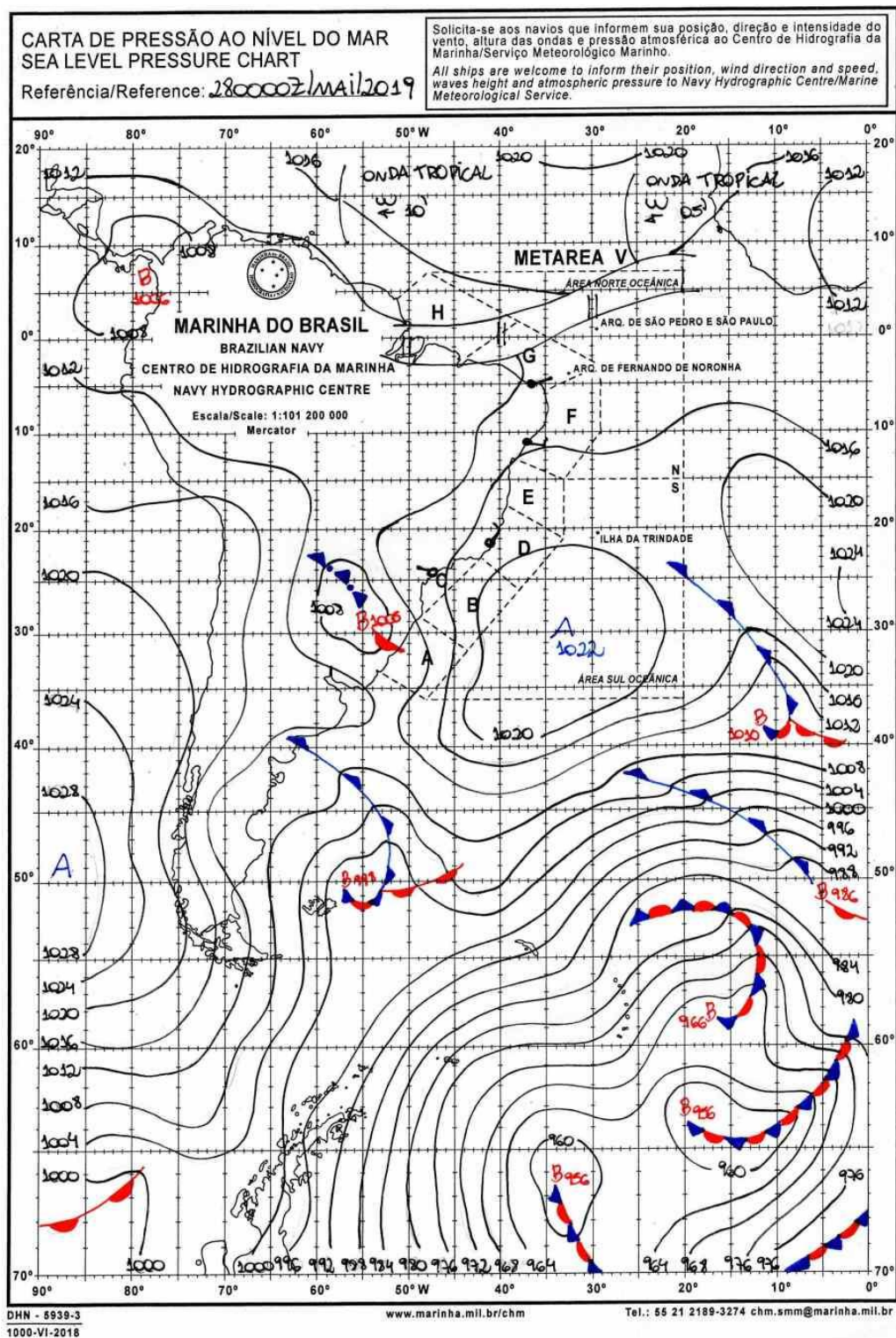


**Fonte:** Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil, 2018.

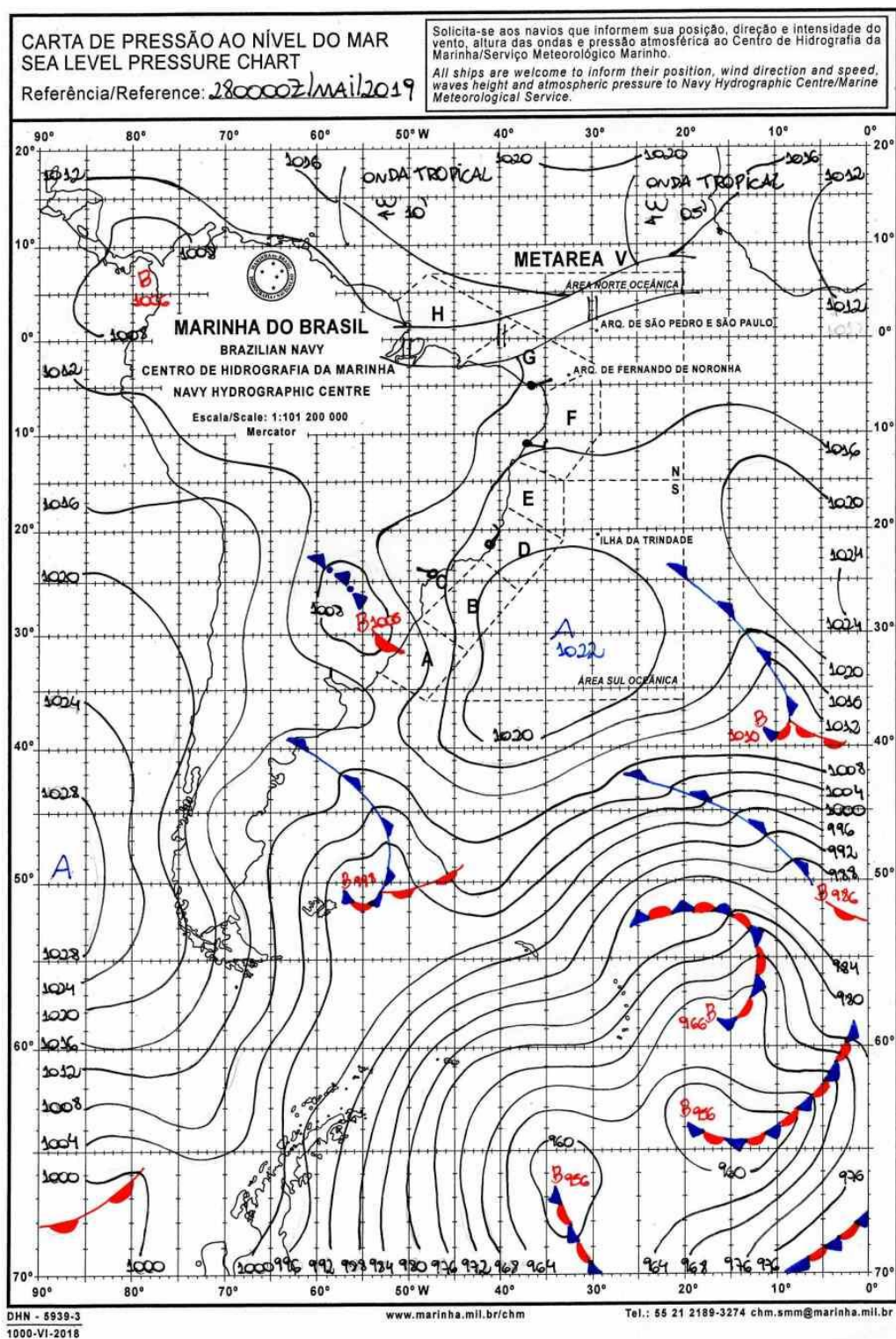




Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil, 2018.







Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil, 2018.



**APÊNDICE A.** Distribuição da granulometria nas amostras dispostas nas megaparcelsas sem terraços (ponto 1 a 63) e com terraços (64 a 90).

Ponto	Argila	Silte	Areia	Ponto	Argila	Silte	Areia	Ponto	Argila	Silte	Areia
	%				%				%		
1	74	14	12	33	77	11	13	64	76	10	15
2	74	14	12	34	71	15	14	65	74	11	15
3	76	13	11	35	70	14	17	66	73	12	14
4	74	12	14	36	72	15	14	67	73	12	15
5	75	12	13	37	74	9	16	68	74	10	16
6	76	13	11	38	76	13	11	69	76	11	13
7	71	15	14	39	76	12	12	70	71	14	14
8	71	16	13	40	72	14	14	71	73	13	14
9	75	10	15	41	73	13	14	72	78	10	12
10	72	13	15	42	76	10	14	73	72	14	14
11	71	16	13	43	71	14	14	74	74	12	14
12	75	11	14	44	73	13	14	75	77	10	13
13	72	15	13	45	74	12	14	76	74	13	13
14	73	14	13	46	69	14	16	77	72	15	13
15	76	13	12	47	72	12	16	78	75	12	13
16	72	13	15	48	73	13	14	79	74	12	14
17	72	13	16	49	71	12	17	80	75	12	14
18	74	12	14	50	73	11	16	81	75	11	13
19	76	11	13	51	72	11	17	82	72	13	15
20	76	10	14	52	69	12	19	83	75	10	15
21	76	10	14	53	68	13	19	84	75	11	14
22	71	12	17	54	73	10	17	85	69	17	15
23	73	13	14	55	70	11	19	86	71	15	14
24	74	13	14	56	71	10	19	87	74	11	14
25	70	13	17	57	72	10	18	88	72	10	17
26	72	12	16	58	73	11	17	89	74	10	16
27	76	11	13	59	71	11	18	90	75	10	15
28	76	11	12	60	73	8	18				
29	78	9	12	61	74	12	14				
30	77	10	13	62	73	12	15				
31	72	13	15	63	74	11	15				
32	73	13	14								