

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS**

**FERNANDO BATTISTI**

**IMPLANTAÇÃO E MONITORAMENTO PRELIMINAR DE  
MICROBACIA HIDROGRÁFICA RURAL NO SUDOESTE DO  
PARANÁ**

**DISSERTAÇÃO**

**DOIS VIZINHOS**

**2020**

**FERNANDO BATTISTI**

**IMPLANTAÇÃO E MONITORAMENTO PRELIMINAR DE  
MICROBACIA HIDROGRÁFICA RURAL NO SUDOESTE DO  
PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias – Área de Concentração: Agroecossistemas.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar  
Conceição

Coorientador: Prof. Dr. André Pellegrini

**DOIS VIZINHOS**

**2020**

B336i Battisti, Fernando

Implantação e monitoramento preliminar de microbacia hidrográfica rural no sudoeste do Paraná – Dois Vizinhos: [s.n], 2020.

100 f. :il.

Orientador: Dr Paulo Cesar Conceição

Coorientador: Dr André Pellegrini

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. Dois Vizinhos, 2020.

Bibliografia p. 76-80

1. Sedimentos (Geologia). 2. Solo rural – Uso. 3. Solos - Umidade – Medição. I. Conceição, Paulo Cesar, orient. II. Pellegrini, André, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Dois Vizinhos. IV. Título

CDD:630



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Câmpus Dois Vizinhos  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
**Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**Título da Dissertação nº 43**

### **Implantação e monitoramento preliminar de microbacia hidrográfica rural no Sudoeste do Paraná**

**Fernando Battisti**

Dissertação apresentada às treze horas e trinta minutos do dia seis de março de dois mil e vinte, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM **CIÊNCIAS AGRÁRIAS**, Linha de **Pesquisa** – Manejo e Conservação de Agroecossistemas, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas (Área de Concentração: Agroecossistemas), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho .....

Banca examinadora:

---

**Dr. Paulo Cesar Conceição**  
UTFPR - DV

---

**Dr. Moacir Tuzzin de Moraes**  
UTFPR - FB

---

**Dr. Cristiano André Pott**  
UNICENTRO

---

**Coordenador(a) do PPGSIS**  
**Assinatura e carimbo**

\*A Folha de aprovação assinada encontra-se arquivada no departamento de Registros acadêmicos



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me concedido o dom da vida, por ter me guiado e dado força para alcançar meus objetivos com saúde e alegria.

A minha família, meu pai Antonio Battisti, minha mãe Vera Lucia Battisti pelo amor, carinho, pelos ensinamentos, paciência e todo o apoio nesta caminhada, a minha irmã Gabriela Battisti pelo carinho e companheirismo, a minha namorada Cátia Piccini Batista pelo apoio, ajuda e compreensão durante todo o meu período de aprendizado, desde a graduação, especialização e mestrado.

A Universidade e toda a sua estrutura por proporcionar um ambiente agradável e propício para o crescimento intelectual.

A Fundação Araucária e demais órgãos financiadores do projeto de pesquisa em rede por apoiar o desenvolvimento científico e tecnológico do estado do Paraná, promovendo a pesquisa e viabilizando a elaboração deste trabalho.

Aos pesquisadores e colaboradores da Rede de Agropesquisa do estado do Paraná pela dedicação e carinho na construção do conhecimento e elaboração dos projetos em cada região do estado.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição pelo ensinamento, dedicação, companheirismo, e pela sua competência em educar de forma humana seus alunos.

Ao meu grande amigo e coorientador, Prof. Dr. André Pellegrini por me dar a oportunidade de estar ao seu lado executando um grande projeto de pesquisa dentro da Universidade e do Estado do Paraná, por me acolher em sua família, me orientar e ser um grande companheiro para todas as horas.

Aos membros dos Grupos de Estudos em Ciência do Solo e Manejo de Bacias Hidrográficas pelo companheirismo, amizade, seriedade e comprometimento na elaboração dos trabalhos.

A banca examinadora por aceitar o convite e contribuir com o trabalho.

A todas as pessoas que estiveram ao meu entorno enquanto do desenvolvimento do projeto de pesquisa, coleta de dados e elaboração da dissertação.

## RESUMO

BATTISTI, Fernando. Implantação e monitoramento preliminar de microbacia hidrográfica rural no Sudoeste do Paraná. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2020.

O monitoramento hidrológico em bacias hidrográficas é uma técnica muito importante para compreender a resposta hídrica da bacia frente aos eventos pluviométricos, agindo sobre as características de formação natural da bacia e o manejo realizado pelo homem. O manejo inadequado do solo acarreta em problemas erosivos de diferentes magnitudes, causando a degradação do solo. O presente estudo implantou o sistema de monitoramento de precipitação, vazão e concentração de sedimentos em suspensão em uma bacia hidrográfica com área total de 61,81 ha localizada na área experimental da UTFPR no município de Dois Vizinhos, região sudoeste do estado do Paraná. A implantação do sistema de monitoramento foi concluída em maio de 2019. O monitoramento dos eventos pluviométricos, entre maio de 2019 e fevereiro de 2020, foram monitorados precipitação, vazão e concentração de sedimentos em suspensão durante os eventos pluviométricos de grande magnitude, contabilizando dois eventos de chuva-vazão significativos. Também foi realizado a caracterização topográfica da bacia e físico-hídrica do solo. Estas informações foram utilizadas para auxiliar na compreensão da resposta hídrica da bacia frente a precipitação em seus diferentes usos do solo e sistemas de manejo. Os resultados mostraram que nos eventos monitorados menos de 5% do volume precipitado foi convertido em vazão no exutório da bacia. Estes resultados podem apresentar maior variação, dependendo do volume e intensidade da precipitação, da umidade antecedente do solo, da condição atual de uso do solo e até mesmo a capacidade de retenção de água em áreas de amortização. O monitoramento contínuo desta bacia ao longo do tempo irá representar o seu desempenho frente a outras condições ambientais e assim apresentar do pior ao melhor cenário de retenção e perda de água e sedimento.

**Palavras-chave:** Sedimentos. Uso do solo. Topografia.

## ABSTRACT

BATTISTI, Fernando. Implementation and preliminary monitoring of a rural watershed in the Southwest of Paraná. 100 f. Dissertation (Masters in Agroecosystems) - Federal University of Technology Paraná, Dois Vizinhos, 2020.

Hydrological monitoring in watershed is a very important technique to understand the water basin's response to rainfall events, acting on the characteristics of the basin's natural formation and the management carried out by man. Improper soil management leads to erosion problems of different magnitudes, causing soil degradation. The erosion carried by water through runoff may reach rivers, causing several other environmental problems. The present study implemented the monitoring system for precipitation, flow and sediment concentration in a hydrographic basin with a total area of 61.81 ha located in the experimental area of UTFPR, in Dois Vizinhos, southwest region of the state of Paraná. The implementation of the monitoring system was completed in May 2019. The monitoring of rainfall events, between May 2019 and February 2020, precipitation, flow and concentration of suspended sediments were monitored during large-scale rainfall events, accounting for two significant rainfall-flow events. Topographic characterization of the basin and physical-hydric soil was also carried out. This information was used to assist in the understanding of the basin's water response to rainfall in its different land uses and management systems. The results showed that in the monitored events less than 5% of the precipitated volume was converted into flow in the basin's exutory. These results may show greater variation, depending on the volume and intensity of precipitation, the antecedent moisture of the soil, the current condition of land use and even the water retention capacity in depreciation areas. The continuous monitoring of this basin over time will represent its performance in relation to other environmental conditions and thus present from the worst to the best level of retention and loss of water and sediment.

**Keywords:** Sediments. Use of the soil. Topography.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Desenvolvimento do Sistema Plantio Direto no Brasil.....	15
<b>Figura 2</b> – Conexão das escalas de monitoramento e modelagem em forma esquemática. .....	20
<b>Figura 3</b> – Sobreposição longitudinal e transversal de fotografias aéreas em diferentes perspectivas. ....	22
<b>Figura 4</b> – Processo de transferência de sedimentos das suas fontes para o local de depósito.....	27
<b>Figura 5</b> – Terraço de base estreita.....	32
<b>Figura 6</b> – Terraço de base média. ....	32
<b>Figura 7</b> – Terraço de base larga. ....	32
<b>Figura 8</b> – Localização do local de estudo. ....	34
<b>Figura 9</b> – Chapa do RN 17.261 do IBGE (A) e Receptor GNSS (B) realizando leitura estática no RN 17.261 no centro da cidade de Dois Vizinhos PR.....	35
<b>Figura 10</b> – Pontos de referência implantados e leitura de coordenadas com receptor GNSS no método estático.....	36
<b>Figura 11</b> – Levantamento topográfico com GNSS RTK (A) e com Estação Total (B e C). ....	37
<b>Figura 12</b> – Pontos de controle distribuídos na área de interesse e sua bordadura. ....	38
<b>Figura 13</b> – Drone DJI Phantom 4 no dia do levantamento. ....	38
<b>Figura 14</b> – Pontos de controle inseridos (A) e (B), e ajustamento de posição dos pontos de controle nas imagens aéreas (C). ....	39
<b>Figura 15</b> – Ortofoto da área de estudo e suas bordas.....	40
<b>Figura 16</b> – Recorte da área de abrangência da bacia hidrográfica.....	41
<b>Figura 17</b> – Divisão dos usos do solo e representação do grid amostral utilizado.....	42
<b>Figura 18</b> – Coleta de amostras de solo com estrutura preservada com o uso de cilindros volumétricos. ....	43
<b>Figura 19</b> – Barramento e canalização do fluxo (A); retirada de vertedor triangular e construção de forma em madeira para concretagem (B). ....	46
<b>Figura 20</b> – Construção de muretas laterais a calha e construção de contenção de estabilização de margens. ....	47
<b>Figura 21</b> – Estação de monitoramento logo após construção. ....	48
<b>Figura 22</b> – Pluviômetros padrão Ville de Paris (A) e (B); e pluviógrafos de balança (C) e (D).....	49
<b>Figura 23</b> – Sensor de pressão linígrafo e sensor de turbidez (A); Datalogger (B).....	49
<b>Figura 24</b> – Curva chave da calha Parshall W48.....	50
<b>Figura 25</b> – Amostrador de sedimentos em suspensão modelo DH-48 .....	51
<b>Figura 26</b> – Curvas de nível geradas por levantamentos com Drone (a) e receptor GNSS RTK e estação total (b).....	53
<b>Figura 27</b> – Mapa de declividade em percentual.....	57
<b>Figura 28</b> – Condutividade hidráulica saturada nas camadas de 0-10 (a), 10-20 (b), 20- 30 (c) e 30-40 cm (d). ....	61
<b>Figura 29</b> – Porosidade total do solo nas camadas de 0-10 (a), 10-20 (b), 20-30 (c) e 30- 40 cm (d).....	63
<b>Figura 30</b> – Macroporosidade do solo nas camadas de 0-10 (a), 10-20 (b), 20-30 (c) e 30- 40 cm (d).....	65
<b>Figura 31</b> – Microporosidade do solo nas camadas de 0-10 (a), 10-20 (b), 20-30 (c) e 30- 40 cm (d).....	67

<b>Figura 32</b> – Densidade do solo nas camadas de 0-10 (a), 10-20 (b), 20-30 (c) e 30-40 cm (d). .....	69
<b>Figura 33</b> – Hietograma, hidrograma e sedimentograma de 28/05/2019 na calha Parshall. CSS: Concentração de sedimentos em suspensão. ....	71
<b>Figura 34</b> – Hietograma, hidrograma e sedimentograma de 30/05/2019 na calha Parshall. ....	73

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Poligonal de coordenadas e cotas ajustadas.....	36
<b>Tabela 2</b> – Tempo de trabalho. ....	54
<b>Tabela 3</b> – Uso do solo através de GNSS RTK e Drone. ....	55
<b>Tabela 4</b> – Divisão de pontos amostrais para coletas na bacia hidrográfica. ....	55
<b>Tabela 5</b> – Distribuição das classes de declividade para a bacia hidrográfica. ....	58
<b>Tabela 6</b> – Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica. ....	58
<b>Tabela 7</b> – Parâmetros físicos e hídricos do solo em diferentes usos do solo ao longo do perfil. ....	59
<b>Tabela 8</b> – Precipitação diária no período de monitoramento. ....	70

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

CP	Calha Parshall
CSS	Concentração de sedimentos em suspensão
DS	Densidade do solo
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food and Agriculture Organization
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Position System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ksat	Condutividade hidráulica saturada
Ma	Macroporos
MDT	Modelo digital do terreno
Mi	Microporos
PD	Plantio direto
IAPAR	Instituto Agronômico do Paraná
PD	Plantio direto
PR	Unidade da Federação – Paraná
PT	Porosidade total
Q	Vazão
RTK	Real Time Kinematic
SC	Sistema convencional
SPD	Sistema Plantio direto
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
2.1 EVOLUÇÃO DA AGRICULTURA.....	13
2.2 CICLO HIDROLÓGICO, EROÇÃO E PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	16
2.2.1 Importância do estudo em escala de bacias hidrográficas.....	17
2.2.2 Monitoramento em diferentes escalas .....	18
2.2.3 Diferentes métodos usados na escala de estudo .....	21
2.2.4 Produção de sedimentos e erosão .....	26
2.3 MEDIDAS DE REDUÇÃO DE EROÇÃO E PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS... 29	
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	34
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA .....	35
3.3 PARÂMETROS FÍSICOS AVALIADOS NA BACIA HIDROGRÁFICA.....	41
3.3.1 Condutividade hidráulica saturada .....	43
3.3.2 Porosidade total .....	44
3.3.3 Macroporosidade .....	44
3.3.4 Microporosidade.....	45
3.3.5 Densidade do solo.....	45
3.4 DIMENSIONAMENTO E CONSTRUÇÃO DAS ESTRUTURAS NA BACIA HIDROGRÁFICA .....	46
3.5 MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA .....	48
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	52
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>53</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO TOPOGRÁFICA DA BACIA HIDROGRÁFICA .....	53
4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DA BACIA.....	59
4.3 MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO NA BACIA HIDROGRÁFICA .....	70
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>74</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....</b>	<b>75</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>76</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A evolução da agricultura se deu por meio da necessidade de aumentar a produção de alimentos, visto que a população mundial vinha crescendo e a demanda por alimentos apresenta crescimento exponencial. Esta evolução do sistema produtivo apresentou diversas fases e pontos críticos, sendo marcada por inovações, mudanças, melhorias e remediações de danos.

Se tratando de evolução, pode-se citar o cultivo em larga escala, a tecnologia das máquinas agrícolas para produção e processamento dos alimentos. O uso destas tecnologias impulsiona o agronegócio e aquece ainda mais o mercado de inovação a fim de atender novas demandas de equipamentos para otimizar o trabalho no campo.

As tecnologias não são apenas voltadas a equipamentos, mas também para o uso consciente do solo, buscando estar cada vez mais próximo a sustentabilidade, ou ao menos utilizar de forma racional os recursos naturais. Para isso são criadas e implantadas as medidas conservacionistas para uso em lavouras e áreas cultivadas em geral. Cada região possui sua característica produtiva predominante, voltada a reduzir a degradação o solo e a água, obter o maior rendimento das culturas e garantir um rendimento financeiro.

O Brasil é considerado pioneiro na adoção de práticas conservacionistas, impulsionado pelos altos índices de erosão observados na década de 1960 e 1970, causado pelo cultivo de lavouras no formato europeu, com aração do solo a cada cultivo, hoje denominado sistema de preparo convencional. O novo sistema implantado foi chamado plantio direto (PD), com destaque no aumento da eficiência do uso do solo e do sistema produtivo, além de reduzir o impacto ambiental causado pelo revolvimento do solo. Inicialmente, o plantio direto foi implantado em áreas do estado do Paraná, e na sequencia difundido para todo o Brasil.

Nos últimos anos observou-se a baixa eficiência no uso do PD, causado pelo uso incorreto da técnica, não levando em consideração os pilares fundamentais da técnica para promover a conservação do solo. As consequências mais evidentes no local estão relacionadas a compactação do solo, redução da taxa de infiltração, aumento do índice de escoamento superficial, perda de solo por erosão, formação de voçorocas, aumento da concentração de sedimentos em corpos d'água e do pico de vazão em rios, além da contaminação da água com agrotóxicos e fertilizantes.

Aliado a estes problemas com erosão está a retirada dos terraços agrícolas, motivado pela uniformização das áreas e aumento do tamanho das máquinas. O desmatamento de áreas inaptas para cultivo e a drenagem de áreas de amortização intensificam a erosão e contribuem para a degradação ambiental.

O estudo das perdas de água e sedimentos, em nível de bacia hidrográfica remete a uma compreensão baseada na dinâmica dos fatores naturais, aliados aos usos do solo e manejos dentro da bacia. Pela grande variabilidade destes fatores, cada escala proporciona uma resposta diferente, tornando a extrapolação de escalas ou a comparação direta entre bacias com diferentes formações naturais e usos impossível.

Baseado nesse contexto, o objetivo do trabalho foi realizar a implantação de um sistema de monitoramento hidrológico em uma bacia hidrográfica rural. Realizar a caracterização topográfica e físico-hídrica além do monitoramento preliminar de perda de água e sedimento em suspensão durante eventos que geram incremento de escoamento no exutório da bacia hidrográfica.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 EVOLUÇÃO DA AGRICULTURA

A agricultura desde os seus primórdios vem se desenvolvendo e se reinventando para suprir as necessidades do homem. Em meados de 1950 a 1970 ocorreu a Revolução Verde. Esse período foi marcado pela evolução e avanço em geral nas tecnologias voltadas a agricultura (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012).

Estas tecnologias na década de 70 do século passado alavancaram a agricultura em larga escala no mundo, tendo na época como objetivo a movimentação na economia e aumento na produção de alimentos para resolver o problema mundial de fome, este que continua até os dias de hoje (LONDERO, 2015).

A Revolução Verde proporcionou muitas mudanças, até mesmo na dieta alimentar das pessoas em todo o mundo. O crescimento populacional, principalmente em grandes centros urbanos acabou alterando as demandas de alimentos no mundo, isso é afirmado pela FAO, que apresenta projeções de aumento de 29% na população até 2050, chegando a 9,8 bilhões de pessoas (FAO, 2019).

Este crescimento populacional foi mais evidenciado nos países em desenvolvimento, com grande adensamento urbano, chegando a 70% do crescimento. A projeção para 2050 é que a renda destas pessoas em meio urbano seja superior a atual, mostrando um cenário em que será necessário um aumento de 70% na produção de alimentos atual para satisfazer as necessidades desta população urbana e rica (FAO, 2019).

Analisando estes dados podemos pensar que a necessidade de aumento de 70% na produção de alimentos é um número alto, porém a soma de fatores torna esse aumento necessário. Pessoas com poder aquisitivo mais elevado, estabelecidas em meio urbano adensado, tendem a investir mais e ser mais exigentes em sua alimentação (LONDERO, 2015).

A dinâmica de abastecimento destes grandes centros requer alta eficiência, esta que também deverá ser aplicada no setor produtivo para passar de 2,5 para 3 bilhões de toneladas/ano a produção de cereais, sem contar a produção de carne que precisa aumentar em mais de 200 milhões de toneladas/ano (FAO, 2019).

Para aumentar a produção agrícola será necessário aumentar a eficiência no uso dos recursos naturais, principalmente água, energia e solo e essa pressão de produção traz à tona a necessidade de um novo modelo produtivo, mais limpo, sustentável e eficiente. A preocupação em melhorar o sistema de produção agrícola está relacionado ao impacto que este gera sobre os

recursos naturais, como a contaminação da água por agroquímicos, erosão do solo e perdas de água do sistema (BERTOL et al., 2007).

O desenvolvimento da agricultura no Brasil foi impulsionado pela demanda de alimentos e biocombustíveis. Na década de 50 e 60, com a chegada dos imigrantes europeus, a expansão teve um rápido avanço, em que a fronteira agrícola passou de 800 mil hectares para 4 milhões de 1969 até 1977 (AMADO; ELTZ, 2003).

Esta expansão territorial foi muito forte no sul do Brasil. Em meados de 1970 a 1980 notou-se grande degradação do solo como resultado do manejo utilizado para a produção. A consequência deste manejo foi a queda na produtividade, aliada com a necessidade de expansão de área, a fronteira agrícola expandiu-se para as regiões Oeste e Norte do Paraná (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012).

Neste período, o preparo do solo era feito em Sistema Convencional (SC), prática de domínio dos europeus, que utilizava revolvimento intenso do solo para controlar plantas daninhas, aumentar o contato da semente ao solo e incorporação dos resíduos culturais (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012).

O sistema de preparo convencional conduziu a elevadas perdas de produtividade e degradação do solo, chegando a perdas de 10 toneladas de solo para cada tonelada de grão produzido. Este cenário de degradação intensa e desenfreada motivou a adoção de um sistema de cultivo conservacionista, próprio para as características da região subtropical que se encontra no sul do Brasil (AMADO; ELTZ, 2003; CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012).

O sistema conservacionista em questão é conhecido hoje como Sistema Plantio Direto (SPD), introduzido por alguns produtores na década de 70, tendo como pioneiro na técnica o produtor Herbert Bartz no Oeste do Paraná, mais precisamente em 1972. Este sistema ainda precisou de 20 anos para ganhar o seu espaço no meio agrícola (Figura 1), e foi impulsionado a implantação após o desenvolvimento de maquinário apropriado para semeadura na palha e o herbicida Paraquat para controle de ervas daninhas (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012; CAVIGLIONE et al., 2010).

**Figura 1** – Desenvolvimento do Sistema Plantio Direto no Brasil.



Fonte: (Emater-RS, Epagri-SC, Emater-PR, Cati-SP, Fundação MS-MS, APDC, FAO, IAPAR e IBGE)

O Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) foi o pioneiro em desenvolver pesquisas com a finalidade de encontrar índices de eficiência do plantio direto e chegou em resultados em que o sistema chegava controlar em até cinco vezes mais as perdas de solo em relação ao SC, que apresentavam 15 toneladas por hectare (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012).

O SPD visa equilibrar e viabilizar a lucratividade das lavouras com uma sistemática de trabalho e menor degradação do meio ambiente, explicada por Denardin como sendo:

Um sistema de exploração agropecuária, fundamentado na diversificação de espécies, via rotação e/ou consorciação de culturas, na mobilização de solo apenas na linha/cova de semeadura, na manutenção permanente da cobertura de solo e na minimização do intervalo entre colheita e semeadura, objetivando estabelecer um processo contínuo de colher e semear, constitui um complexo de tecnologias de processo, de produto e de serviço que submete o sistema agrícola produtivo a um menor grau de perturbação ou de desordem, quando comparado a outras formas de manejo que empregam mobilização de solo (DENARDIN et al., 2005).

Este sistema de manejo quando bem desenvolvido na lavoura, favorece o controle biológico de pragas, doenças e plantas daninhas, reduz os índices de erosão e transporte de agroquímicos para corpos d'água, aumenta os processos de floculação e agregação do solo, além de favorecer o desenvolvimento da estrutura do solo. Também tende a aumentar e estabilizar a produtividade das culturas, eleva o teor de carbono no solo, reduz a taxa de

mineralização da matéria orgânica e desacelera a taxa de ciclagem e reciclagem de nutrientes (CAVIGLIONE et al., 2010; DENARDIN et al., 2005).

As características pluviais das regiões de clima temperado e subtropical do sul do Brasil, a cobertura permanente do solo e os recursos benéficos do SPD não asseguram uma condição suficiente para a retenção de água e erradicação da erosão. Assim, o SPD é uma ferramenta que auxilia no controle, porém não é um escudo completo contra a erosão hídrica, devendo ser complementado com outras práticas que reforcem o sistema, como o uso de terraços (DENARDIN et al., 2005).

No Brasil, atualmente cerca de 32 milhões de hectares são cultivados no SPD (FEBRAPDP, 2018). Entretanto, observa-se uma diversidade muito grande na forma em que é praticado, em que encontra-se desde sistemas pobres que exploram apenas a semeadura direta, por ser a forma mais barata e menos trabalhosa (TIECHER et al., 2018), até sistemas complexos e bem estruturados, que seguem as premissas tais como preconizado.

Em uma visão geral, pode-se observar a ausência de mobilização do solo, pequena ou inexistente camada de cobertura morta sobre o solo, compactação do solo, e sucessão de culturas. Os preparos agrícolas são realizados em momentos inadequados e altamente suscetíveis a erosão, perda de fertilidade e produtividade e com baixa capacidade de suprimir plantas daninhas, ficando extremamente dependente de agroquímicos (TIECHER, 2015).

Este cenário da agricultura precisa mudar, não é necessária outra revolução como foi na mudança de sistema convencional para sistema plantio direto, porém é necessário seguir as premissas do SPD em lavouras agrícolas para se manter em um sistema mais sustentável e duradouro. O Brasil é considerado o celeiro da produção agrícola, líder na exportação de soja e altamente competitivo no mercado internacional (FEBRAPDP, 2018), porém deixa a desejar no cuidado da base da produção, seu solo e meio ambiente.

## 2.2 CICLO HIDROLÓGICO, EROSÃO E PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

A erosão do solo é um processo natural, porém intensificado pela ação do homem. O principal tipo de erosão que ocasiona perda de solo no planeta é a erosão hídrica. No Brasil a intensificação deste tipo de perda de solo pode ser dada pelo mau uso e/ou manejo ineficaz das lavouras (LONDERO et al., 2017; MINELLA et al., 2010)

Estes fragmentos de solo e rochas erodidos são chamados de sedimentos, e iniciam o processo com a desagregação, ocorrendo o transporte e pôr fim a deposição. Este processo ocorre com o auxílio da água, oriunda da precipitação e escoamento superficial.

### 2.2.1 Importância do estudo em escala de bacias hidrográficas

O estudo e monitoramento da dinâmica do ciclo hidrológico e sedimentológico em uma bacia hidrográfica, é de grande importância para a compreensão dos fatores que afetam e interagem no ecossistema desta bacia. Avaliando o balanço energético, pode-se definir a bacia hidrográfica como um sistema geomorfológico aberto, em que a energia e matéria é recebida do clima e perdida por meio de fluxos de água e sedimento (MERTEN et al., 2011).

O índice de perda de energia e matéria vai variar dependendo de diversos fatores ambientais, nesta abordagem trazendo o contexto onde há influência do homem, e o ecossistema começa a ser chamado de agroecossistema.

O uso e manejo do solo para a promoção de atividades agrícolas influenciam nos recursos hídricos, pela alteração que causam no ciclo hidrológico e na qualidade da água. Essa alteração pode alcançar diferentes níveis de impacto ambiental, alterando os níveis de erosão, degradação do solo, redução da infiltração e qualidade da água (MERTEN et al., 2011; SUAREZ; FILHO, 2013).

O estudo da dinâmica do ciclo hidrológico e produção de sedimentos necessita de um parâmetro para ser medido e quantificado. Para isso é necessário critérios e limites para estudo, observação e coletas de dados, sendo utilizadas as bacias hidrográficas como unidade de estudos pela vantagem de integrar aspectos ambientais, econômicos e sociais que envolvem o gerenciamento e manejo dos recursos naturais que englobam o solo, a água, biodiversidade entre outros (MERTEN et al., 2011).

Outra vantagem da utilização de bacias hidrográficas para estudo em quantificação de perdas de água e sedimentos é quanto a sua formação e localização. Cada local ou região possui suas características ambientais próprias, sendo inteiramente relacionadas com a resposta hidrológica e sedimentológica no exutório da bacia.

Estudos referentes aos processos de erosão vem sendo desenvolvidos ao longo do tempo e de forma progressiva nas últimas décadas, principalmente se tratando de modelagem em várias condições espaciais e temporais de escala. Para este tipo de estudo é importante levar em consideração os impactos no local e fora do local de erosão, em que os locais se referem a

perda de solo, redução do conteúdo de matéria orgânica e da fertilidade do solo e redução da capacidade de retenção de água. Os efeitos externos estão relacionados ao risco de inundação, contaminação de várzeas e corpos d'água e assoreamento de reservatórios (VENTE et al., 2013).

Diversos estudos vêm sendo conduzidos com âmbito de identificar as fontes de sedimentos em diferentes escalas de bacias, com foco em identificar o percentual de contribuição de sedimentos em diferentes tipos de uso do solo em bacias hidrográficas. Este estudo utiliza a geoquímica elementar para identificar a fonte do material erodido, e é uma ferramenta poderosa que já é utilizada no Brasil e em outras partes do mundo, como na França, México, África do Sul, Canadá, Estados Unidos, Reino Unido, Espanha, Luxemburgo, Turquia, Tunísia, Irã e Austrália (TIECHER et al., 2018).

A representação dos processos hidrológicos em diferentes escalas tem encontrado entraves nas questões que envolvem:

- A heterogeneidade espacial dos sistemas hídricos e a incerteza com a qual os parâmetros e os processos são medidos em diferentes escalas;
- As dificuldades de representar os processos caracterizados em microparcelas para escalas de bacias hidrográficas e;
- A falta de relação entre os parâmetros de modelos matemáticos com as diferentes configurações espaciais encontradas na natureza (MENDIONDO; TUCCI, 1997a).

Esta complexidade dos fatores hidrológicos vem sendo estudada e aos poucos melhor interpretada, porém o estudo de escalas ainda é tido como sendo tratado com simplicidade frente a todos os fatores que o influenciam de forma não-linear.

### 2.2.2 Monitoramento em diferentes escalas

Os estudos sobre comportamentos do ciclo hidrológico vêm se desenvolvendo com o passar dos anos. Este conhecimento sobre hidrologia está em constante aprimoramento, tanto em nível de descoberta de novos fatores que influenciam nas respostas hidrológicas quanto o arranjo dos fatores mais conhecidos e a magnitude de suas respostas em diferentes escalas de estudo e representação.

Pesquisadores apontam que o conhecimento hidrológico até a década de 30 era mais qualitativo, eram descritos os processos em sua essência, porém sem conhecer a fundo a sua magnitude e o nível de importância no sistema hídrico. A necessidade de mensurar de forma



quantitativa os processos hidrológicos surgiu no século XX, principalmente para a aplicação em projetos para obras de engenharia. Nestas obras, o nível de investimento econômico já exigia que fosse projetado previsões de enchentes e avaliações de impactos de efluentes despejados em rios (MENDIONDO; TUCCI, 1997a).

Para solucionar a demanda de conhecimento em nível quantitativo deste período, foram importadas diversas técnicas matemáticas e estatísticas para hidrologia. Porém, não foi levado em consideração as relações físicas, químicas e biológicas dos processos envolvidos, sendo então importado conhecimento empírico e agora aplicado em locais com diferentes características físicas e hidrológicas (MENDIONDO; TUCCI, 1997a; MINELLA et al., 2010).

A preocupação em nível ambiental aumentou na década de 70, diversas questões surgiram referente a impactos resultantes do uso do solo urbano e rural nos rios. Por exemplo, dúvidas referentes a possíveis modificações climáticas causadas por ações antrópicas e quais eram as magnitudes de cada fenômeno. Nesta época, a Ciência Hidrológica teve um grande desenvolvimento, porém este foi fragmentado, sendo as variáveis estudadas de forma independente e isolada (MENDIONDO; TUCCI, 1997a; MERTEN et al., 2011; MINELLA et al., 2010)

A construção do conhecimento é dada por inúmeras tentativas e erros, busca de resultados em diferentes formas de estudo. Hoje sabemos que o estudo e caracterização de variáveis em separado é importante, porém, se tratando de ciclo hidrológico, erosão, impactos ambientais e modificações climáticas, o estudo deve ser feito levando em consideração um todo. Para isso a bacia hidrográfica é apresentada como uma grande ferramenta para estudo, sendo que pode ser avaliada em diferentes escalas de tamanho, usos e com diferentes características de formação geológica, físicas, químicas, e biológicas (MERTEN et al., 2011).

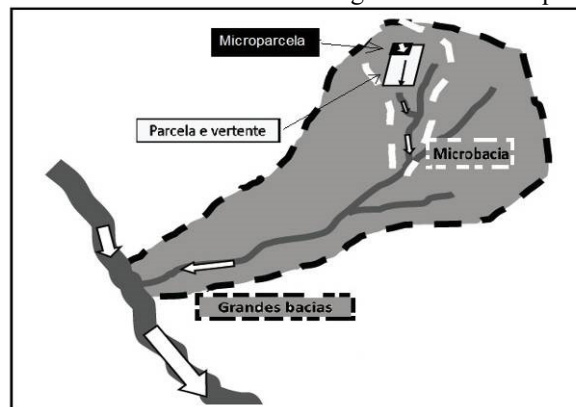
O comportamento dos processos hidrológicos é distinto de acordo com o sistema e escala de análise. A dinâmica dos processos hidrológicos envolve mudança das variáveis no tempo e no espaço e assim, há uma dificuldade de representação dos processos em diferentes escalas pela heterogeneidade espacial, falta de relação entre os parâmetros quantificados na natureza e os modelos matemáticos existentes (MENDIONDO; TUCCI, 1997a; MERTEN et al., 2011).

A utilização de microparcelas para estudo e determinação de variáveis é importante, mesmo em estudo de grandes bacias ou para a extrapolação em escalas. Estes são usados em modelos matemáticos para definir com exatidão os parâmetros de caracterização específica de processos interferentes como: energia cinética da gota da chuva (erosividade), salpico, efeitos

da cobertura do solo, influência das propriedades físico hídricas do solo, estimativa da evapotranspiração real e percolação (com uso de lisímetros) (MERTEN et al., 2011).

Esta evolução do entendimento do ciclo hidrológico e do estudo de bacias hidrográficas nos leva a uma importante definição: entender como as informações geradas nas diferentes escalas de estudo são conectadas (Figura 2), desde a parcela até a grande bacia hidrográfica e estabelecer funções de transferência entre escalas (MERTEN et al., 2011).

**Figura 2** – Conexão das escalas de monitoramento e modelagem em forma esquemática.



Fonte: Adaptado de MINELLA et al., 2010.

Até o momento, o desafio proposto à hidrologia é entender e conseguir tornar representativo e confiável a transferência de informações entre escalas. Cada escala possui sua importância na representação de alguns atributos, conforme o entendimento de representatividade (MERTEN et al., 2011; MINELLA et al., 2010).

Na escala de parcela vertente é possível obter dados de processo de infiltração, geração de escoamento superficial e erosão, para diferentes tipos de solos e níveis de cobertura vegetal com grande controle experimental. Na pequena bacia é avaliado a interação entre os processos observados na parcela vertente e os observados no exutório da calha fluvial, com vazões, produção de sedimentos e eutrofização (MERTEN et al., 2011).

Uma questão interessante no estudo de pequena bacia é a possibilidade de avaliar processos hidrológicos numa escala que incorpora toda a complexidade da paisagem, relevo e aspectos sociais e econômicos presentes na bacia de forma relativamente simples (MERTEN et al., 2011).

Na escala de grande bacia o estudo é mais amplo, são avaliados os impactos regionais da erosão sobre degradação dos recursos hídricos, a economia regional e a saúde da população presente no local. A complexidade da representação dos processos de erosão aumenta, devido a participação de diferentes fontes, como sulcos, entressulcos, remoção em massa e erosão

fluvial. O processo de deposição de sedimentos também possui outra dinâmica, pela possível ocorrência de locais de deposição como lagos, banhados, várzeas e reservatórios, além da redução natural da declividade do canal fluvial (MINELLA et al., 2010).

Os estudos em escalas de grandes bacias apresentam características próprias, influenciadas por uma série de fatores que acontecem dentro dela ao longo do tempo. Sua resposta hídrica e sedimentológica podem não possuir um efeito linear, efeito este observado em microparcelas.

### 2.2.3 Diferentes métodos usados na escala de estudo

Tendo em vista que o estudo de bacias hidrográficas é feito em diferentes escalas, cada escala possui métodos específicos de estudo e obtenção de dados que podem divergir pela dimensão dos fatores envolvidos (MERTEN et al., 2011).

As ferramentas para levantamento topográfico de campo atuais são muito eficientes e geram dados de alto grau de confiabilidade quando utilizadas dentro de sua recomendação. Tanto o uso de estação total quanto receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System*) possibilitam a aquisição de dados precisos para estudos na dimensão proposta. A utilização de uma ferramenta extra ao GNSS é o método de posicionamento relativo cinemático em tempo real RTK (*Real Time Kinematic*), muito utilizado e aprimorado por ser prático, preciso e funcional em levantamentos e locações em campo (COELHO, 2013; SEEBER, 2003).

O mapeamento de áreas utilizando veículos aéreos também é feito, porém neste sentido há diversos modelos de equipamentos, cada um com um custo e destinado para uma dimensão de área. Cada equipamento gera um produto final diferente, geralmente distinto pela sua precisão em termos de localização e pela qualidade visual do produto gerado. Os Drones ou RPAs (*Remote Piloted Aircraft*) vem se popularizando nos últimos anos pelo avanço tecnológico, aplicabilidade em projetos de diversas escalas e preços acessíveis (OTAKE, 2017).

O desenvolvimento dos veículos aéreos não tripulados (VANT) e o uso da aeronave na topografia revolucionaram o mapeamento de áreas em proporção semelhante aos GPS quando lançados nos anos 90, que deram outros rumos a geodésia e a agrimensura (INCRA, 2017).

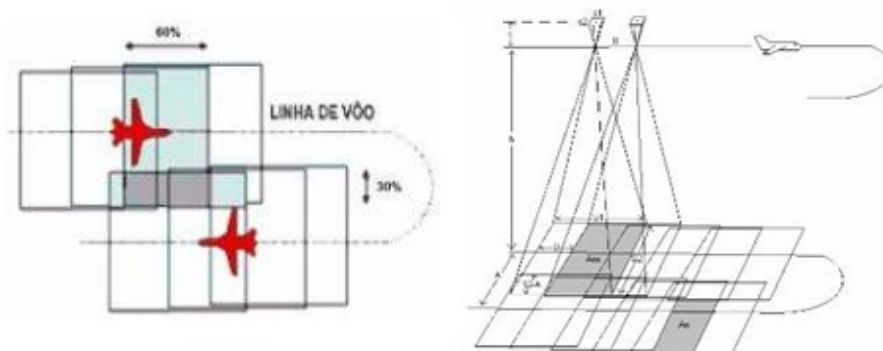
Após realização de estudos e comparações entre metodologias e equipamentos, o INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) publicou uma Norma de Execução nº 02 de 19 de fevereiro de 2018 (Anexo B). Nela se estabelece critérios para a

aplicação e avaliação de produtos gerados a partir de aerofotogrametria (imagens aéreas) para a determinação de coordenadas dos vértices limites de imóveis rurais.

A publicação diz respeito ao levantamento topográfico utilizando os Drones, porém vale também para o processamento dos dados, que irá gerar o produto final. As imagens coletadas a partir do voo com fins de mapeamento e caracterização de áreas ou objetos é chamada de fotogrametria, nome que deriva de três palavras gregas: luz, descrição e medidas. Por meio da técnica de fotogrametria é possível gerar informações tridimensionais a partir das fotografias aéreas (OTAKE, 2017).

Para cobrir uma área com grandes dimensões, várias fotografias devem ser coletadas, com uma sobreposição entre elas (Figura 3), possibilitando a união e correção de distorções destas. Após processamento das correções, as fotografias se tornam uma imagem só, e adquire uma visão de topo, ou seja, com uma projeção ortográfica, comumente chamada de ortofoto, ou ortoimagem (BARROS et al., 2005; OTAKE, 2017).

**Figura 3** – Sobreposição longitudinal e transversal de fotografias aéreas em diferentes perspectivas.



Fonte: adaptado de (IFSC, 2010)

Sobre uma ortoimagem, há mais possibilidades de detalhamento e visualização do local de interesse, facilitando a identificação dos limites dos usos do solo e a projeção de trabalho sobre a área de estudo (BORGES et al., 2016). Junto a topografia, é de grande importância realizar a caracterização, ou levantamento de características físico-hídricas da bacia hidrográfica afim de compreender melhor a sua resposta frente aos eventos pluviométricos, expressando maior ou menor infiltração, capacidade de reter a água no solo ou de gerar escoamento superficial.

As principais variáveis utilizadas, ou as mais básicas, para compreender as características físico-hídricas do solo de bacias hidrográficas são: condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ), porosidade total (PT), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e

densidade do solo (DS) (MINELLA et al., 2007; TOIGO, 2010). Estas propriedades físico-hídricas podem mostrar as tendências de variação entre os usos do solo e também internamente ao uso do solo, facilitando a compreensão do padrão de formação e tipo de escoamento superficial que ocorre no local (MENDIONDO; TUCCI, 1997b).

O objetivo do levantamento das propriedades físicas do solo, em um mapa de distribuição espacial, é entender qual é a heterogeneidade destas propriedades que podem identificar graus de compactação ao longo da área de estudo. Com esta técnica é possível identificar locais com valores críticos que afetam o desenvolvimento das plantas, alteram a dinâmica da infiltração de água e aumento do escoamento superficial, aeração do solo e diversos outros fatores que são alterados quando há variações nas propriedades físicas (GOMES; FILIZOLA, 2006).

Para facilitar o trabalho de pesquisadores e padronizar o método de análise, a Embrapa desenvolveu um manual de métodos de análise de solo, em que aborda a metodologia de trabalho para obter os resultados desejados (TEIXEIRA et al., 2017).

Juntamente com as características físicas do solo da bacia coletadas a campo, a utilização de fatores ou índices físicos da bacia hidrográfica está cada vez mais em evidência e constitui elementos de grande importância para avaliação de seu comportamento hidrológico (TEODORO et al., 2007).

Os índices físicos mais utilizados são: Área, perímetro, ordem do curso d'água, perímetro molhado, amplitude altimétrica, coeficiente de compactidade, índice de circularidade, densidade de drenagem e densidade hidrográfica. As relações entre estas informações podem ser úteis para determinar indiretamente valores hidrológicos onde faltam dados. (TEODORO et al., 2007).

A área é a quantificação espacial da superfície em que todas as águas da chuva escoam em direção ao mesmo curso d'água. O perímetro é uma linha imaginária que circunda a bacia hidrográfica, considerando o seu divisor de água.

A ordem dos cursos d'água em bacias hidrográficas consiste no estabelecimento de classes, considerando o rio principal e da ordem de seus tributários. Os critérios para esta classificação são encontrados em (HORTON, 1945).

As medidas horizontais do canal representam o perímetro molhado da bacia. A amplitude altimétrica representa o intervalo entre a maior e a menor altitude da bacia, no caso entre o espigão mais alto e o exutório.

O coeficiente de compacidade relaciona a forma da bacia com um círculo, sendo este adimensional. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente, e quanto mais circular, mais próximo a um (TEODORO et al., 2007), calculado pela Equação 1:

$$Kc = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Em que: Kc é o coeficiente de compacidade, P é o perímetro (m) e A é a área da bacia hidrográfica (m<sup>2</sup>).

O índice de circularidade semelhante ao coeficiente de compacidade, tende a um à medida que a bacia se aproxima da forma circular, e diminui conforme a bacia for mais alongada, calculada pela Equação 2:

$$IC = \frac{12,57 \cdot A}{P^2} \quad (2)$$

Em que: IC é o Índice de circularidade, A é a área da bacia hidrográfica (m<sup>2</sup>) e P é o perímetro (m).

A densidade de drenagem correlaciona o comprimento de todos os canais (perenes e temporários) com a área da bacia hidrográfica (HORTON, 1945). Varia de 0,5 para bacias mal drenadas (devido à alta permeabilidade ou baixa precipitação) a 3,5 para (bacias bem drenadas ocorrendo em áreas bem drenadas com altos índices de precipitação e muito impermeáveis) dada pela Equação 3:

$$Dd = \frac{L}{A} \quad (3)$$

Em que: Dd é densidade de drenagem (m m<sup>-2</sup>), L é o comprimento de todos os rios e canais (m) e A é a área da bacia hidrográfica (m<sup>2</sup>).

Densidade hidrográfica é a relação entre número de rios ou cursos d'água e a área da bacia hidrográfica (TEODORO et al., 2007), dada pela Equação 4:

$$Dh = \frac{N}{A} \quad (4)$$

Em que: Dh é densidade hidrográfica (canal km<sup>-2</sup>), N é o número de rios ou cursos d'água e A é a área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>).

Voltado ao monitoramento no exutório da bacia hidrográfica, cada escala e situação requer o uso de uma metodologia específica para coleta dos dados. Para monitorar a vazão da bacia hidrográfica são realizados cálculos para estimar a vazão máxima que poderia passar naquele ponto, aplicando a equação empírica chamada de método racional (Equação 5).

$$Q = \frac{(C \cdot i \cdot A)}{360} \quad (5)$$

Q = vazão da bacia (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>); C = coeficiente médio de deflúvio; i = precipitação máxima com duração igual ao tempo de concentração da bacia (mm h<sup>-1</sup>); A = área a ser drenada (ha).

Este método foi desenvolvido no século XIX, citada na literatura americana pela primeira vez em 1889 por Emil Kuichling. Ele que obteve o coeficiente de deflúvio a partir de medidas de precipitação e vazão em Rochester, Nova York, no período de 1877 a 1888, sendo um valor adimensional, e é extraído de uma tabela em função das características da bacia (PAIVA; PAIVA, 2001).

Há um grande questionamento quanto ao uso do método, pela grande variabilidade das características ambientais, a simplicidade do método e os valores do coeficiente de deflúvio terem sido obtidos em áreas diferentes das que são aplicados o método. Mesmo assim, até os dias atuais o método é usado e aceito como sendo a ferramenta simples e que dá uma ideia do pico de vazão em bacias hidrográficas para dimensionamento de estruturas e canais de drenagem (PAIVA; PAIVA, 2001).

Para realizar o cálculo é necessário obter o valor de *i*, que é a precipitação máxima com duração igual ao tempo de concentração da bacia. A equação é desenvolvida sobre diversos índices para cada região utilizando a curva IDF (curva de intensidade, duração e frequência) (PAIVA; PAIVA, 2001), sendo neste caso a mais próxima foi elaborada para a cidade de Francisco Beltrão (ISAM/PUC, [s.d.]), formando a seguinte equação (Equação 6):

$$I = \frac{1.012,2 \cdot T^{0,182}}{(tc + 9)^{0,76}} \quad (6)$$

Em que: I = intensidade (mm h<sup>-1</sup>); T= o tempo de retorno (anos); tc = duração da chuva (min).

Para obter o tempo de duração da chuva foi obtido o tempo de concentração da bacia, que é o tempo que água leva do ponto mais alto até o exutório da bacia (Equação 7):

$$tc = 57 \cdot \left( \frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385} \quad (7)$$

Em que: tc= Tempo de concentração (min); L= comprimento do rio principal (km) e Δh = diferença de altitude ao longo do rio principal (m).

#### 2.2.4 Produção de sedimentos e erosão

A erosão é um processo geomórfico natural, que é intensificado pelo uso e manejo inadequado do solo. Ela pode ser dividida em três fases: desagregação, transporte e deposição. A intensidade de ocorrência de cada fator é dada pela energia envolvida em cada processo, pela declividade do terreno e a altura da lamina de água (LONDERO et al., 2017; MINELLA et al., 2010).

Um dos principais motivos da perda de solo na maior parte do planeta é a erosão hídrica. O que causa esta erosão, se tratando de clima é a erosividade da chuva, que é a capacidade que a chuva possui de causar a desagregação das partículas do solo (WALTRICK et al., 2011).

Este potencial de causar erosão é expresso por meio de índices, sendo utilizado o EI<sub>30</sub>, que consiste no produto da energia cinética total da chuva pela sua intensidade máxima em 30 minutos, expressa em MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (WALTRICK et al., 2011; WISCHMEIER; SMITH, 1978).

O índice EI<sub>30</sub> é utilizado para desenvolver estudos em diversas regiões do Brasil, sendo correlacionadas linearmente com perdas de solo (CARVALHO et al., 2005; MORAIS et al., 1991; SILVA et al., 2009, 1997). O que intensifica esta desagregação é a energia cinética que

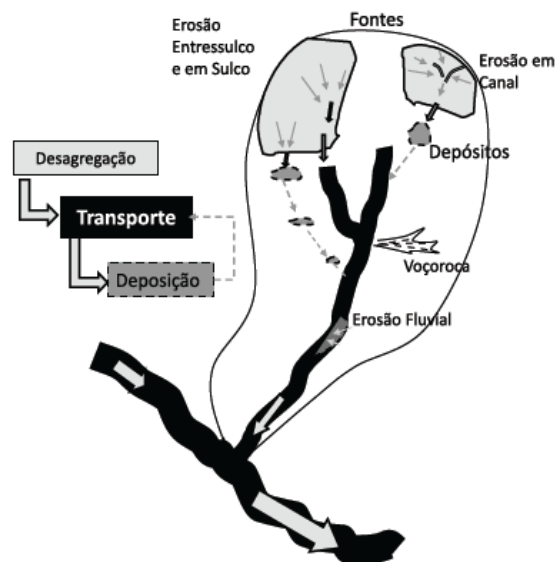


as gotas possuem, quanto maior esta energia, maior é o impacto e a força de desagregação causada no solo (MINELLA et al., 2010; WALTRICK et al., 2011).

O impacto das gotas diretamente na superfície do solo descoberto causa esta desagregação do solo, promovendo uma pequena compactação, ou selamento superficial do solo, que reduz a capacidade de infiltração e favorece o início do escoamento superficial (WALTRICK et al., 2011).

O sedimento erodido é transportado em seus caminhos preferenciais de escoamento, que são sulcos de erosão, canais, voçorocas e a rede de drenagem (Figura 4). O depósito deste sedimento acontece em áreas em que há faixas de vegetadas, reservatórios de água, lagos, banhados, locais de relevo côncavo, locais de escoamento divergente e junto a planície aluvial (MINELLA et al., 2010).

**Figura 4** – Processo de transferência de sedimentos das suas fontes para o local de depósito.



Fonte: Minella et al., 2010.

Outras formas de erosão também são importantes contribuintes às perdas de solo, como as formações de voçorocas, estradas, erosão subsuperficial, fluvial, eólica de fluxos de massa. Todas contribuem para a perda de solo e conseqüente aumento da concentração de sedimentos sendo levadas pelo escoamento, pois, enquanto possuir energia para transporte, este é levado para pontos mais baixos da bacia hidrográfica, chegando ao leito do rio, sendo o transporte continuado.

A perda de energia acarreta na deposição. O processo de transporte deste sedimento pode ser continuado no caso de haver um aumento da energia de transporte novamente, junto

com o escoamento e fatores que promovem erosão, como a precipitação (DENARDIN et al., 2005; MINELLA et al., 2010).

Em bacias de utilização agrícola é comum ocorrer formações de erosão na forma de entressulco, sulco, voçoroca e erosão fluvial (MERTEN et al., 2011; MINELLA et al., 2010). Isto acontece pelo fato de que as áreas são mal manejadas, favorecendo a degradação dos solos e o grande aumento da erosão e volume erodido. Estudos realizados na Europa mostram que as maiores perdas de solo estão em sistemas de cultivo agrícola (93,5%) e que esta perda é cerca de 40 vezes maior do que a da mata e 20 vezes maior do que outras áreas com vegetação seminatural (BORRELLI et al., 2017).

O Brasil se destaca na atualidade pela adoção de práticas conservacionistas. O SPD baseado nos princípios de redução de perturbações no solo, manutenção da cobertura vegetal permanente (resíduos ou plantas), diversificação, rotação e consorciação de culturas e implementação de medidas de controle mecânico de escoamento superficial (DENARDIN et al., 2005; TIECHER et al., 2018).

Com a adoção do SPD para produção de grãos de cultivo anual, se pensou que o problema de erosão havia acabado, pois aquele cenário devastador da erosão em massa tido no sistema convencional não era mais visto (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012). Esta percepção perdurou por diversos anos, porém com o uso do sistema plantio direto de forma simplificada, os problemas erosivos permanecem presentes, mesmo que em menor proporção quando comparados com o antigo sistema convencional. Isso sem contar com os novos problemas criados junto ao mau uso do sistema plantio direto, como por exemplo a compactação do solo pelo uso de maquinário agrícola ou pressão de pisoteio animal.

A compactação pode ser definida como uma diminuição do volume do solo por compressão, tendo como consequência um rearranjo das partículas do solo, ficando mais denso e conseqüentemente ocorrendo a redução da porosidade (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007). A compactação não pode ser confundida com adensamento, este que é uma redução natural do espaço poroso do solo e por consequência há um aumento da densidade em camadas ou horizontes ocasionado por dessecação, enchentes ou precipitação química. A diferença está no agente, sendo a compactação o resultado de ação antrópica e adensamento é um fenômeno natural (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007).

Os atributos físicos do solo estão muito correlacionados com o grau de compactação do solo. Em solos agrícolas, acarreta em uma série de problemas, seja por redução da produtividade das culturas, perda de solo, baixa retenção de água no solo, queda na fertilidade

do solo e em casos mais extremos impossibilidade do desenvolvimento vegetativo e inviabilidade econômica da lavoura (TIECHER, 2015).

Diversos estudos vêm sendo desenvolvidos em várias partes do mundo com fins de quantificar e representar o comportamento dos índices de erosão ao se aplicar uma nova metodologia ou sistema mais eficiente de cultivo. Hoje já se sabe que a erosão persiste após a adoção de sistema conservacionista por algum tempo, sendo a redução da concentração de sedimentos no exutório da bacia um fator não linear (MERTEN et al., 2011).

O problema causado pela erosão pode ser muito severo, não apenas no local erodido, com perda de fertilidade e estrutura do solo, mas também fora, causando danos nos locais de deposição com a eutrofização das águas, assoreamento dos leitos de rios e prejudicando a infraestrutura hídrica existente (BORRELLI et al., 2017).

A eutrofização é causada pelo enriquecimento do nível de nutrientes que são carregados via erosão junto com os sedimentos para os corpos d'água. Esse problema ocasionado por atividades humanas é acelerado pela multiplicação de microrganismos em períodos de altas temperaturas, podendo causar grande mortalidade de peixes, sendo este um dos principais problemas para as águas superficiais (TIECHER et al., 2017a).

Estudos realizados em uma bacia hidrográfica com predominância de uso rural para cultivo de tabaco (90%) no município de Agudo, no estado do Rio Grande Sul mostraram resultados que reafirmam a importância do estudo de bacias hidrográficas em diferentes escalas. Foi utilizado sedimento em suspensão proveniente da erosão da bacia, utilizando o fósforo como indicador de perda de nutriente, pois este é aplicado em doses superiores a exportação da planta e por ser o elemento que contribui potencialmente para a eutrofização de águas superficiais. (MINELLA et al., 2010; TIECHER et al., 2017a).

### 2.3 MEDIDAS DE REDUÇÃO DE EROSÃO E PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

A erosão do solo é um processo natural, porém quando intensificado pela ação antrópica se torna um problema que gera efeitos no local onde ocorre e também fora deste (TIECHER et al., 2017b). Todo o processo erosivo causa um impacto, podendo ser de menor ou maior proporção, afetando o meio ambiente e por consequência toda a sua cadeia subsequente.

A adoção de sistemas de manejo conservacionistas de solo e água tem como objetivo aumentar a proteção do solo com adição de vegetação ou resíduos que permaneçam na sua superfície e ajam de forma a amortecer, ou reduzir a energia do impacto das gotas da chuva no

solo, promovendo uma melhor infiltração e redução da velocidade do escoamento superficial. Outros fatores também vão influenciar na dinâmica da água quando ao uso de cobertura vegetal, como rugosidade e porosidade do solo, além da declividade do terreno (DENARDIN et al., 2005; MERTEN et al., 2011).

Ao realizar estudos com implicações do uso e manejo de solo sobre os recursos hídricos, Merten et al, (2011) coletaram dados de diversos experimentos de perda de solo e água, chegando à conclusão que:

A cobertura residual proporcionada pelos sistemas conservacionistas de manejo de solo (aqueles capazes de manter uma cobertura residual acima de 30%) consegue reduzir em mais de 80% as perdas de solo quando comparados com sistemas não conservacionistas (MERTEN et al., 2011).

A utilização descomprometida das técnicas de manejo de enxurrada, além de não controlar a erosão hídrica, torna o transporte de nutrientes, sedimentos enriquecidos com carbono e poluentes altamente intensificada para os mananciais (DENARDIN et al., 2005).

Em um sistema conservacionista diversas técnicas agrícolas são utilizadas para que em conjunto controlem a erosão. Cada sistema de cultivo comporta um manejo específico, podemos citar o exemplo as lavouras de culturas anuais, onde é utilizado o plantio direto, a semeadura em faixas e perpendicular à linha de declive, uso de terraços agrícolas, a rotação de culturas e o incremento de palhada sobre o solo.

A escolha das áreas para cultivo conforme sua aptidão também é uma forma de controlar a erosão, pois a partir de determinado percentual de declividade e comprimento de declive no terreno, a cobertura vegetal que está sobre o solo perde o seu potencial de dissipar a energia erosiva da chuva. Isso permite a flutuação e transporte dos resíduos culturais em eventos de precipitação elevada, e então desencadeando a erosão em sulco sob a cobertura (DENARDIN et al., 2005).

O uso de controle mecânico de erosão, conhecido como terraço ou curva de nível é de extrema importância para retenção de água nas lavouras, atuando como barreira física, construída transversalmente ao declive do terreno, atuando contra a formação de escoamento superficial em áreas que possuem pendentes. O dimensionamento apropriado e correta construção desta barreira gera um bom resultado em eventos de alta precipitação, porém funciona melhor quando aliado com as demais práticas conservacionistas preconizadas no SPD (CAVIGLIONE et al., 2010; DENARDIN et al., 2005).

Existem diversos tipos de terraços para áreas agrícolas. Para definir a melhor estrutura é necessário pré-definir algumas características, como precipitação máxima (chuva de projeto), características do relevo da área, tipo de preparo e cultivo utilizado. Para dimensionar o sistema de terraceamento a adotar é necessário definir o espaçamento entre as estruturas, a seção transversal e o volume máximo de escoamento (CAVIGLIONE et al., 2010).

Para o estado do Paraná, a recomendação é utilizar metodologia descrita pelo IAPAR, sendo requerido seleções dos espaçamentos verticais e horizontais, e a estrutura é definida segundo o declive do terreno e três classes texturais do solo (RUFINO, 1994). Outra recomendação é a do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), utilizado no estado de São Paulo, este que é um pouco mais complexo, utilizando em suas equações a declividade e índices K, u e m relacionados ao agrupamento de solo, culturas e tipo de manejo de solo e restos culturais, respectivamente (LOMBARDI NETO *et al.*, 1994).

Mensurar a eficiência dos terraços e o controle da erosão entre as estruturas é uma tarefa difícil. Muitos fatores ambientais influenciam na resposta a uma chuva, podendo algumas vezes extrapolar o que foi calculado (CAVIGLIONE et al., 2010). As estruturas mais utilizadas estão classificadas pela sua finalidade, construção e formato como:

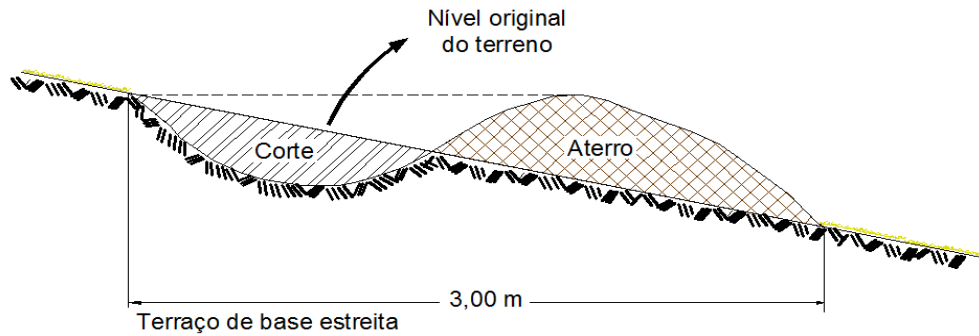
**-Infiltração:** retém a água da chuva e permite a infiltração no solo. Recomendado para regiões de baixa precipitação e solo permeável.

**-Drenagem:** Intercepta o escoamento, retém uma quantidade e conduz o excedente de sua capacidade para um canal de drenagem (natural ou artificial). Recomendados para regiões de alta precipitação e declividade entre 6 e 12 % e solos permeáveis.

**-Dupla finalidade:** Reúne as características do terraço de infiltração e drenagem, retendo parte do escoamento e drenando o excesso. Recomendado para regiões de alta e baixa precipitação, declividade de até 12 % e solos de permeáveis até impermeáveis.

**-Base estreita:** conhecido como cordões de contorno, recomendado para pequenas lavouras com terrenos inclinados (Figura 5).

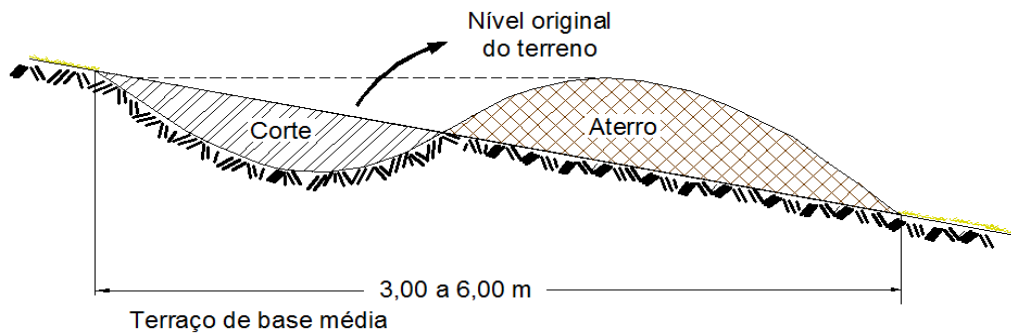
**Figura 5** – Terraço de base estreita.



Fonte: Fernando Battisti (2019).

- **Base média:** possui de 3 a 6 metros de largura, com possibilidade de cultivo em boa parte da estrutura (Figura 6).

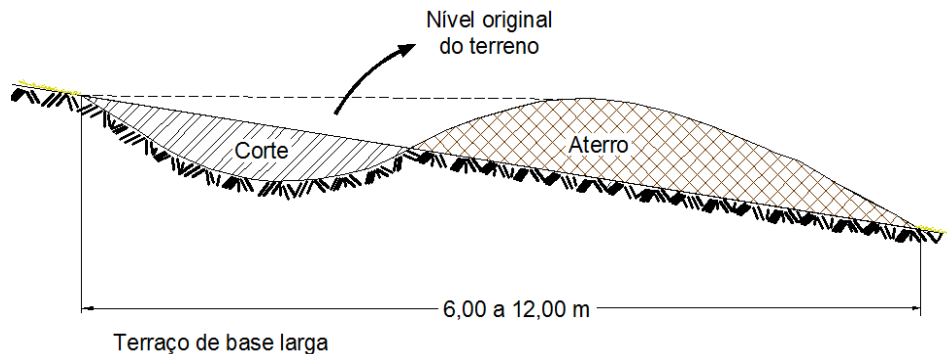
**Figura 6** – Terraço de base média.



Fonte: Fernando Battisti

- **Base larga:** possui de 6 a 12 metros de largura, este é tido como terraço verdadeiro. Recomendados para grandes lavouras, com declividade de até 8 % (Figura 7).

**Figura 7** – Terraço de base larga.



Fonte: Fernando Battisti.

A alocação de terraços pode ser feita de diferentes formas. Para projetos que necessitam um maior detalhamento da área e localização de cada estrutura, pode ser feito o

levantamento topográfico planialtimétrico da área e através do modelo digital de elevação MDE locar os terraços no mapa e posteriormente no campo. A locação no campo é feita com equipamentos de topografia, sendo cada um utilizado conforme o grau de precisão requerido, podendo citar desde mangueira de nível, nível topográfico, estação total e receptor GNSS RTK.

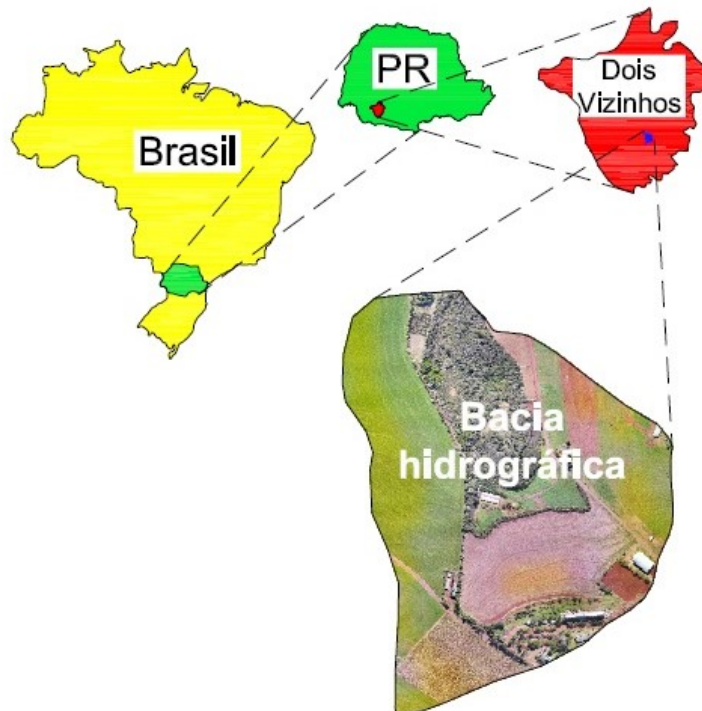
### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O estudo foi conduzido na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-DV), localizada no município de Dois Vizinhos, região sudoeste do estado do Paraná, localizada pelas coordenadas geográficas 25°41'55" de latitude Sul e 53°6'1" de longitude Oeste e altitude 510 metros (Figura 8).

O clima na região é do tipo Cfa, subtropical úmido, com precipitações distribuídas durante as quatro estações do ano, com um acumulado entre 1900 e 2200 mm por ano (ALVARES et al., 2014). A média das temperaturas mínimas do ar no mês mais frio (julho) é inferior a 18°C e máximas (janeiro) é superior a 22°C, sem estação seca, com verão quente e geadas menos frequentes (INMET, 2019).

**Figura 8** – Localização do local de estudo.



Fonte: Fernando Battisti (2019).

A área experimental está situada no Terceiro planalto, sobre rochas basálticas da formação Serra Geral, grupo São Bento. A erosividade média na região está entre 10.000 a 12.000 MJ mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> (WALTRICK et al., 2015). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo / Nitossolo (CABREIRA, 2015), com teores médios de areia, silte e argila 0,08,



0,45 e 0,47 kg kg<sup>-1</sup> respectivamente e densidade de partículas de 2,89 kg dm<sup>-3</sup> na camada de 0 a 15 cm (GUGEL et al., 2017).

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

O local escolhido para a definição da bacia hidrográfica levou em consideração o sistema produtivo da região, aliado com fatores determinantes de acesso, possibilidade de construção de estruturas, viabilidade de coleta de dados e amostras e controle da coleta de dados. Associado a isso, também buscou respeitar os limites de área abrangida proposto pelo edital da Rede de Agropesquisa do qual o projeto faz parte, disponível em [http://www.fappr.pr.gov.br/arquivos/File/chamadas2017/2017\\_CP01\\_Senar\\_v2.pdf](http://www.fappr.pr.gov.br/arquivos/File/chamadas2017/2017_CP01_Senar_v2.pdf).

Inicialmente foram feitas avaliações visuais em locais estratégicos para ter noção dos possíveis limites, divisores de água e ocupação do solo. Foi utilizado imagens de satélite e do *software Google Earth Pro* para estimar os percentuais de uso do solo, e declividade. Após diversas tentativas e avaliações de tamanho e localização, uma área foi pré-definida para realização do levantamento topográfico em campo para real determinação da bacia.

O levantamento topográfico da bacia iniciou com a realização do transporte de coordenadas e cotas geodésicas seguindo a metodologia de poligonal fechada com distribuição de erro em todos os pontos. Foi utilizado um marco do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e estatística), conforme a Figura 9, com coordenada ajustada (Anexo 01), como ponto de coordenada fixa de referência para dar início e realizar o fechamento da poligonal.

**Figura 9** – Chapa do RN 17.261 do IBGE (A) e Receptor GNSS (B) realizando leitura estática no RN 17.261 no centro da cidade de Dois Vizinhos PR.



Fonte: Fernando Battisti (2019).

Foram implantados 06 marcos dentro da área de estudos seguindo padrões como observados na Figura 10 sendo utilizados como referência de coordenadas para o levantamento topográfico inicial e futuros levantamentos complementares ou locações de estruturas. Na Tabela 1 é possível observar as coordenadas ajustadas.

**Figura 10** – Pontos de referência implantados e leitura de coordenadas com receptor GNSS no método estático.



Fonte: Fernando Battisti (2018).

O sistema de Coordenadas utilizado foi o SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). O *Datum* Altimétrico utilizado foi o de Imbituba SC, sistemas que são oficialmente do Sistema de Referência Geodésico Brasileiro (SGB) em vigor para atividades de cartografia e altimetria.

**Tabela 1** – Poligonal de coordenadas e cotas ajustadas.

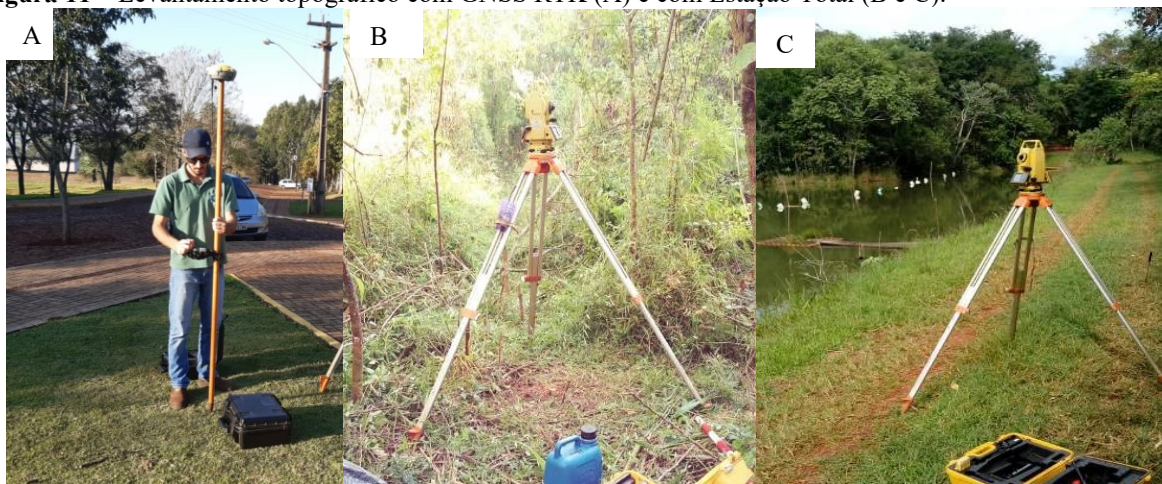
E	PV	N	E	h (geométrica)	H (Ortométrica)
RN SAT 1726 F		<b>7.150.414,742</b>	<b>294.021,657</b>	<b>514,300</b>	511,410
RN SAT 1726 F	<b>M 001</b>	7.155.985,184	289.692,622	553,921	551,141
M 001	<b>M 002</b>	7.156.343,275	289.356,661	518,430	515,660
M 002	<b>M 003</b>	7.156.378,589	289.176,917	497,423	494,653
M 003	<b>M 004</b>	7.155.830,936	289.265,883	522,782	519,992
M 004	<b>M 006</b>	7.155.498,351	289.527,782	554,628	551,838
M 006	<b>M 007</b>	7.155.400,158	289.451,309	557,941	555,151
M 007	<b>RN SAT 1726 F</b>	7.150.414,742	294.021,657	514,300	511,410
RN SAT 1726 F		<b>7.150.414,742</b>	<b>294.021,657</b>	<b>514,300</b>	-
ERRO		0,000	0,000	0,000	-
<b>Parâmetros de erros e precisões obtidos na poligonal geodésica</b>					
<b>Erro linear:</b>	0,040 m				
<b>Precisão Linear:</b>	1:394303,39426				
<b>Erro Altimétrico:</b>	0,039 m				

**Precisão Altimétrica:** 2,500213 mm/km  
**Perímetro:** 15.598,674 m

Fonte: Fernando Battisti (2018).

Com as coordenadas ajustadas, iniciou-se os levantamentos com receptores GNSS RTK em áreas mais abertas e com Estação Total em áreas com vegetação densa (Figura 11). Foram coletados um total de 7.637 pontos com observações de planialtimetria, conforme o relevo do terreno, delimitando a drenagem da bacia hidrográfica e identificado os usos do solo.

**Figura 11** – Levantamento topográfico com GNSS RTK (A) e com Estação Total (B e C).



Fonte: Fernando Battisti (2018).

Estes dados de campo foram processados e com ajuda de softwares específicos, então foi possível gerar mapas de declividades, curvas de nível, uso do solo que também serviram de base para geração de mapas propriedades físicas do solo.

Para complementar as informações de campo, ainda foi realizado um levantamento de imagem aéreo utilizando um *Drone*. Esta imagem foi utilizada para complementar o levantamento com RTK na delimitação do uso do solo, tornando também a área experimental mais visual para os pesquisadores e para o público que estaria conhecendo o trabalho.

Como já havia sido delimitado o divisor de águas com o levantamento de campo, o trabalho com o *Drone* foi mais específico. Antes de realizar o mapeamento foi definido o plano de voo em sua plataforma, e implantado os pontos de controle no campo (Figura 12), para ajustamento das coordenadas e cotas das imagens no pós-processamento. Neste caso foi distribuído 20 pontos na área de interesse e sua bordadura, e utilizando o GNSS RTK realizou-se a determinação das coordenadas e cotas em cada ponto.



**Figura 12** – Pontos de controle distribuídos na área de interesse e sua bordadura.



Fonte: Fernando Battisti (2018).

Em seguida foi executado o voo com o *Drone*, no dia 15/07/2018, entre as 10:00 e 14:00 horas para se obter a melhor luminosidade e o menor sombreamento da área. Na Figura 13 está representada a atuação do equipamento no dia do trabalho.

**Figura 13** – Drone DJI Phantom 4 no dia do levantamento.



Fonte: Fernando Battisti (2018).

A câmera do equipamento captura inúmeras imagens durante o voo. Depois de sobrevoar todo o plano, as imagens são exportadas para o *software* do equipamento para ser processada e ajustada para gerar uma imagem com diversas informações em cada pixel. O ajuste é feito através da lista de coordenadas obtidas com RTK nos pontos de controle, que foram fotografados durante o levantamento aéreo (Figura 14).

**Figura 14** – Pontos de controle inseridos (A) e (B), e ajustamento de posição dos pontos de controle nas imagens aéreas (C).



Fonte: Fernando Battisti (2018).

Após identificar todas as imagens, foram executados comandos no *software* para unir as imagens e obter o produto final, uma ortofoto (ou ortoimagem). Ou seja, uma imagem gerada a partir de uma série de imagens sobrepostas que contemplou toda a área da bacia hidrográfica e suas bordas, representada na Figura 15.



**Figura 15** – Ortofoto da área de estudo e suas bordas.



Fonte: Fernando Battisti (2018).

Ainda no *Software* de processamento foram geradas as curvas de nível sobre o terreno, com os mesmos critérios utilizados nos levantamentos com GNSS RTK e estação total, com equidistância entre curvas de 1,00 metro. Em comparação visual entre as duas metodologias observou-se que as curvas geradas através do levantamento com *Drone* foram semelhantes as curvas geradas através de levantamento com GNSS RTK.

Através da metodologia utilizando o georreferenciamento como base de trabalho, foi possível sobrepor o limite da bacia hidrográfica à ortofoto, possibilitando criar um recorte da área de interesse, conforme a Figura 16.

**Figura 16** – Recorte da área de abrangência da bacia hidrográfica.

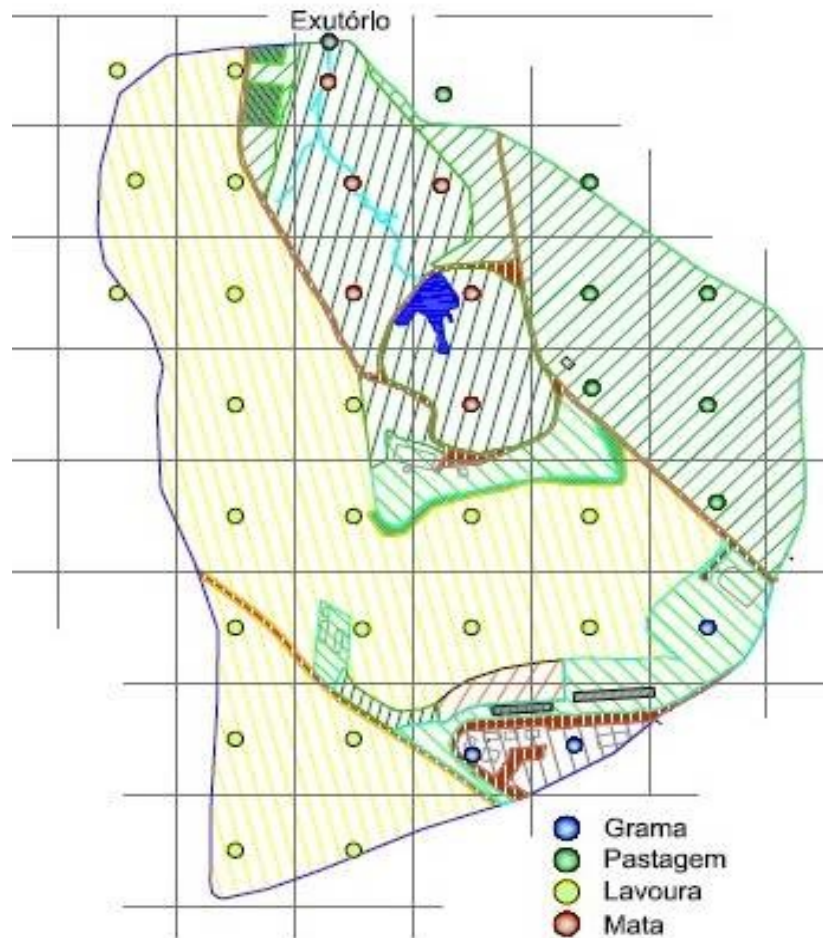


Fonte: Fernando Battisti (2018).

### 3.3 PARÂMETROS FÍSICOS AVALIADOS NA BACIA HIDROGRÁFICA

Foi quantificado a área referente a cada uso do solo. Para o levantamento das propriedades físicas do solo foi determinado um *grid* amostral (Figura 17), em que foi determinado em ponto de coleta a cada 1,7 ha aproximadamente, com o número de amostras coletadas próximas a proporção percentual de uso do solo.

**Figura 17** – Divisão dos usos do solo e representação do grid amostral utilizado.



Fonte: Fernando Battisti (2018).

As amostras foram extraídas nos dias 24 e 25 de outubro de 2018. As amostras de solo foram coletadas no centro de cada bloco do grid amostral, realizando a coleta central e 03 repetições em um raio de 06 metros, totalizando 04 repetições por amostragem. As coletas foram realizadas através da abertura de trincheiras (Figura 18), foram coletadas amostras de estrutura preservada nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, em cilindros metálicos de 60 mm de diâmetro e 30 mm de altura, e com o auxílio de um extrator foi possível coletar sem alterar a estrutura da amostra.



**Figura 18** – Coleta de amostras de solo com estrutura preservada com o uso de cilindros volumétricos.



Fonte: Fernando Battisti (2018).

Para determinar os parâmetros físicos de condutividade hidráulica saturada, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo, as amostras foram encaminhadas ao laboratório da UTFPR-DV. Estas foram saturadas, pesadas e submetidas a tensão de -6 kPa (0,60 m) em coluna de areia para determinar a microporosidade e assim diferenciar macro e microporosidade (REINERT; REICHERT, 2006), sendo realizado o procedimento de análise descrito no Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (TEIXEIRA et al., 2017).

Utilizou-se as coordenadas georreferenciadas do grid amostral, juntamente com os valores encontrados em cada análise para gerar mapas com distribuição de escala de cores para facilitar o entendimento da variação dos atributos nas 04 profundidades amostradas e seu comportamento na bacia hidrográfica, facilitando a identificação de pontos críticos.

Foi utilizado software de processamento geoespacial, utilizando os dados brutos das quatro profundidades de solo amostradas no grid para condutividade hidráulica saturada, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, e densidade do solo. A interligação dos pontos foi feita pelo método de krigagem simples.

### 3.3.1 Condutividade hidráulica saturada

A condutividade hidráulica saturada é a relação entre carga e a velocidade com que a água se movimenta através do solo, estimada a partir da percolação de água por uma amostra de solo indeformada, saturada em cilindro metálico em que é aplicado uma carga de água constante (TEIXEIRA et al., 2017) por no mínimo três horas, ou até estabilizar a condutividade da amostra. A determinação da condutividade hidráulica auxilia no entendimento da formação do escoamento superficial e na capacidade de o solo absorver e movimentar a água em seu

perfil de profundidade. A metodologia e o cálculo é descrita por (TEIXEIRA et al., 2017), sendo demonstrada na Equação 8:

$$k_{sat} = \left( \frac{Q \cdot L}{A \cdot H \cdot t} \right) \quad (8)$$

Em que  $k_{sat}$  é condutividade hidráulica ( $\text{cm h}^{-1}$ ),  $Q$  é o volume percolado (mL),  $L$  é a altura do bloco do solo (cm),  $H$  é a altura do bloco de solo e da coluna de água (cm) e  $A$  é a área do cilindro ( $\text{cm}^2$ ).

### 3.3.2 Porosidade total

A porosidade total (PT) define o percentual total de poros ocupado por água, conforme equação descrita por (TEIXEIRA et al., 2017), sendo demonstrada na Equação 9:

$$PT = \frac{(P_{sat} - P_{sec})}{V} \quad (9)$$

Em que  $PT$  é a porosidade total ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ),  $P_{sat}$  é a massa do solo saturado ( $\text{m}^3$ ),  $P_{sec}$  é a massa do solo seco ( $\text{m}^3$ ) e  $V$  é o volume da amostra de solo ( $\text{m}^3$ ). A densidade da água usada para conversão foi de  $1 \text{ kg dm}^{-3}$ .

### 3.3.3 Macroporosidade

A macroporosidade é obtida indiretamente, corresponde a umidade volumétrica quando a amostra se encontra entre a capacidade de campo e a microporosidade ( $-6 \text{ kPa}$  de tensão), calculada conforme equação descrita por (TEIXEIRA et al., 2017), demonstrada na Equação 10:

$$Ma = (pt - Mi) \quad (10)$$

Em que  $M_a$  é a macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ),  $P_t$  é a porosidade total ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), e  $M_i$  é a microporosidade ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ).

### 3.3.4 Microporosidade

A microporosidade é definida como volume de poros do solo que possuem diâmetro menor que  $50 \mu\text{m}$  ( $0,050 \text{ mm}$ ), correspondendo a água retida dos poros quando se aplica e equilibra uma coluna de água de  $0,60 \text{ m}$ , calculado conforme equação descrita por (TEIXEIRA et al., 2017), sendo demonstrada na Equação 11:

$$M_i = \frac{(a - b)}{c} \quad (11)$$

Em que  $M_i$  é microporosidade em  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ , “a” é a massa do solo seco + água retida, após equilíbrio com um potencial de  $-6 \text{ kPa}$  ( $0,60 \text{ m}$  de coluna de água) ( $\text{m}^3$ ), “b” é a massa de solo seco a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\text{m}^3$ ) e “c” é o volume total da amostra ( $\text{m}^3$ ).

### 3.3.5 Densidade do solo

A densidade do solo ( $D_s$ ) foi determinada após as amostras passarem pela mesa de tensão em coluna de areia, sendo elas secas em estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  até o peso constante, determinada através da aplicação da equação descrita por (TEIXEIRA et al., 2017), sendo demonstrada na Equação 12:

$$D_s = \frac{\text{Mass}}{v} \quad (12)$$

Em que  $D_s$  é a densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ),  $\text{Mass}$  é a massa da amostra de solo seco a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  até o peso constante em ( $\text{m}^3$ ) e  $v$  é o volume do cilindro ( $\text{m}^3$ ).

### 3.4 DIMENSIONAMENTO E CONSTRUÇÃO DAS ESTRUTURAS NA BACIA HIDROGRÁFICA

Com a finalidade de implantar um sistema de monitoramento contínuo de vazão no exutório da bacia hidrográfica, foi utilizado o método de cálculo racional para estimar a vazão máxima naquele ponto.

A aplicação do modelo apresentou valores muito altos de vazão de pico, diferentes da realidade encontrada em chuvas de grande intensidade na bacia. O monitoramento prévio da precipitação e vazão já era feito no exutório da bacia com o auxílio de um pluviógrafo e um vertedor triangular, que demonstraram não alcançar níveis tão extremos.

As razões para estas diferenças podem estar ligadas as características da bacia, tanto naturais, quanto artificiais, criadas pelo homem, como o uso de terraços agrícolas, açudes e bacias de captação e retenção de água nas margens das estradas de terra.

Analisando os dados do local optou-se por firmar a vazão máxima próxima a  $2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , e então utilizou-se um medidor de vazão do tipo Parshall, modelo w48, que comporta vazão mínima de  $0,0368 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  até  $1,9227 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Esta estrutura pode ser construída de diferentes formas, neste caso foi adquirida em PRFV (Poliéster Reforçado com Fibra de Vidro), pronta para ser instalada no exutório da bacia.

Para fixação da calha no rio foi necessário construir uma barragem de contenção a montante e canalizar o fluxo de água lateralmente e assim realizar a limpeza do fundo (Figura 19A). No local foi encontrado grande afloramento basáltico, facilitando a construção da estrutura.

**Figura 19** – Barramento e canalização do fluxo (A); retirada de vertedor triangular e construção de forma em madeira para concretagem (B).



Fonte: Fernando Battisti (2019).



É necessário seguir uma série de recomendações técnicas de instalação para que a estrutura funcione conforme sua calibração, principalmente em questão ao afogamento do ressalto e nivelamento da estrutura. A metodologia descrita em (PAIVA; PAIVA, 2001), possui todas as informações técnicas e dimensões necessárias para instalação.

Após enquadramento das dimensões do projeto, foi feita a parte civil com montagem das formas de madeira (Figura 19B), ferragem e concretagem, para a fixação da estrutura de fibra. Posterior foram feitas a construção das muretas laterais, aterramento lateral e construção das contenções laterais com pedra, no formato de gabião, etapas até a liberação do fluxo no leito normal (Figura 20).

**Figura 20** – Construção de muretas laterais a calha e construção de contenção de estabilização de margens.



Fonte: Fernando Battisti (2019).

Foi construído em alvenaria na lateral da calha, um abrigo de monitoramento, onde são guardados os equipamentos, armazenadas as amostras coletadas e serve como abrigo (Figura 21). Sobre a calha Parshall foi construído uma passarela coberta para facilitar a coleta de amostras de água e sedimentos durante os eventos, favorecendo que o operador não se molhe e consiga fazer a coleta da forma mais correta possível.

**Figura 21** – Estação de monitoramento logo após construção.



Fonte: Fernando Battisti 2019.

Foi possível instalar energia elétrica 110/220 V no abrigo, possibilitando a instalação de lâmpadas e refletores para monitoramento noturno e uso de demais equipamentos elétricos. A energia elétrica também viabiliza o uso de mais equipamentos de monitoramento maiores, como amostradores automáticos de sedimentos, que podem ser instalados posteriormente.

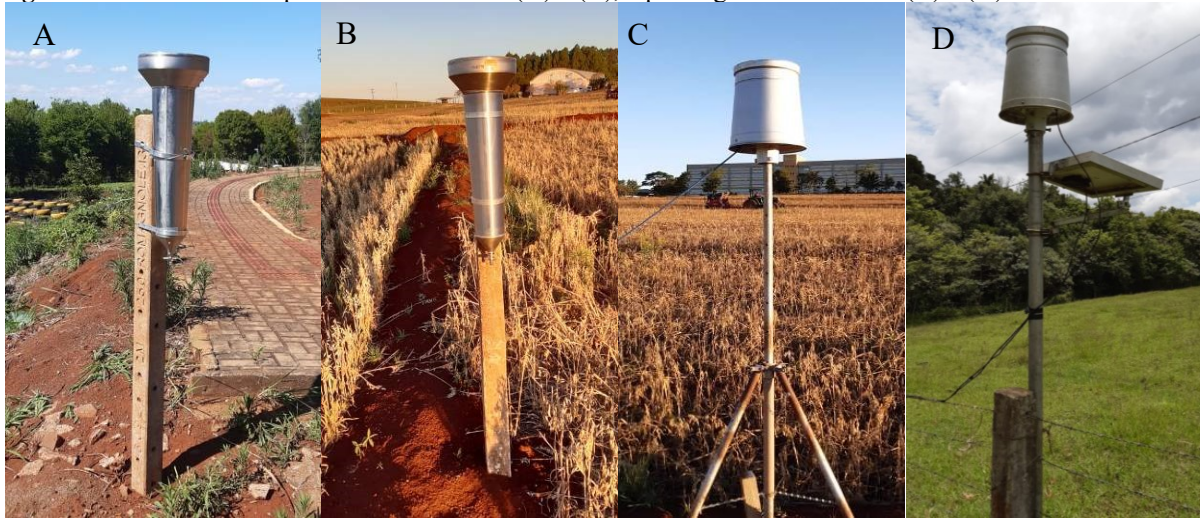
### 3.5 MONITORAMENTO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA

O monitoramento do comportamento hidrológico da bacia foi feito através das descargas líquidas e sólidas no exutório. O monitoramento iniciou logo após a conclusão da instalação do posto de monitoramento e seus equipamentos, coletando o primeiro evento pluviométrico de grande intensidade no dia 28/05/2019.

A precipitação é quantificada por meio da utilização de 02 pluviômetros padrão *Ville de Paris* instalados em locais estratégicos na área da bacia (Figura 22 A e B), para quantificar o volume acumulado de precipitação. E 02 pluviógrafos de báscula para registrar a variabilidade temporal da chuva (a cada 5 minutos). Um foi instalado próximo ao exutório da bacia e o outro próximo ao centro da dela (Figura 22 C e D).



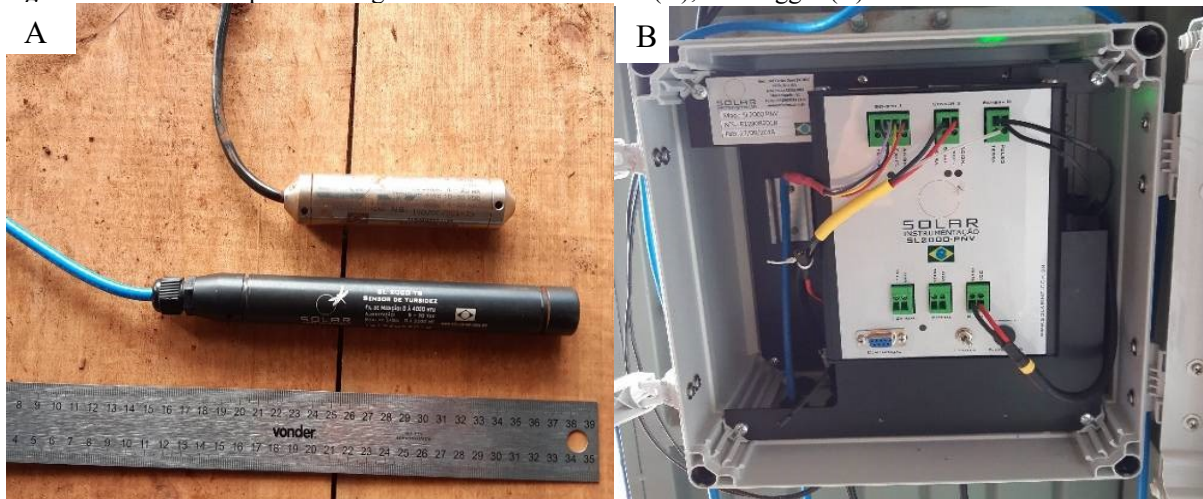
**Figura 22** – Pluviômetros padrão Ville de Paris (A) e (B); e pluviógrafos de báscula (C) e (D).



Fonte: Fernando Battisti 2019

Para monitorar o nível da água na calha Parshall foi instalado um linígrafo de pressão (Figura 23 A), posicionado no poço tranquilizador localizado na lateral da calha. O linígrafo de pressão está acoplado a um datalogger (Figura 23 B), que é um dispositivo que controla os sensores e armazena os dados, instalado dentro do abrigo de monitoramento, programado para coletar informações a cada 5 minutos. O datalogger é alimentado por uma bateria que   recarregada por um painel solar, ou por uma fonte que é ligada na rede elétrica.

**Figura 23** – Sensor de pressão linígrafo e sensor de turbidez (A); Datalogger (B).



Fonte: Fernando Battisti (2018).

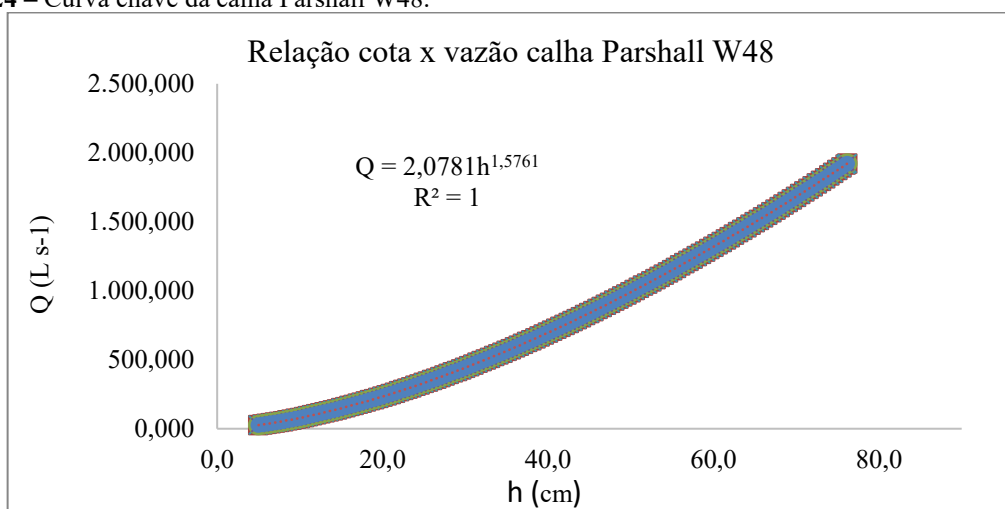
Durante os eventos pluviométricos, além do registro automático feito pelo datalogger, cada 5 minutos foram realizadas leituras visuais na régua linimétrica fixada no interior da calha para certificar a exatidão e repetitividade do equipamento eletr nico e aumentar a confiança dos dados. Para converter informações de nível de água na calha Parshall para vazão, foi

necessário criar uma equação para a calha sobre a lista de relação cota x vazão fornecida pelo fabricante e aplicar esta equação calibrada para esta estrutura (Equação 13), denominada como curva chave da calha Parshall (Figura 24).

$$Q = 2,0781h^{1,5761} \quad (13)$$

Em que Q é vazão (L s<sup>-1</sup>) e h é lamina de água (cm).

**Figura 24** – Curva chave da calha Parshall W48.



Fonte: Fernando Battisti (2019)

A separação do escoamento superficial para os dois eventos foi realizada a partir da metodologia descrita em (TUCCI, 2002). O objetivo desta separação é distinguir o que é escoamento de base, do que é proveniente da precipitação que está sendo monitorada. Existem diversas maneiras de separar o escoamento, sendo mais aplicado pela separação gráfica, em que é possível observar o comportamento da vazão ao longo do tempo.

Durante os eventos pluviométricos foi realizada a coleta de sedimentos em suspensão utilizando o amostrador de sedimentos modelo DH 48 (Figura 25). Esta versão do equipamento é construída para coletas de sedimento em suspensão em integração de profundidade, executada a vau.



**Figura 25** – Amostrador de sedimentos em suspensão modelo DH-48



Fonte: Fernando Battisti (2019).

O corpo do equipamento é construído em alumínio fundido, com encaixe para uma garrafa de vidro onde armazena a amostra, que é conduzida até a garrafa por um bocal, e o ar da garrafa sai por um respiro na parte superior. Este formato que o equipamento possui tem como finalidade conduzir a água para dentro da garrafa com a menor interferência possível em seu sentido de fluxo e velocidade até que chegue na garrafa, preservando a concentração de sedimentos que está sendo carregada em suspensão.

A coleta também segue uma metodologia para que a amostra seja válida, representando realmente o que passa no leito do rio. No momento da coleta é necessário manter uma velocidade de transito constante entre a superfície da água até o fundo do rio, e do fundo até retornar a superfície. Ainda é necessário que ao retirar o equipamento da água, este não tenha enchido a garrafa totalmente, sendo indicado aprovar amostras que atinjam 60 a 80% do volume total da garrafa do amostrador.

Durante os eventos pluviométricos o operador monitora a cota da régua, coletando amostras conforme ocorre a ascensão e recessão do nível de água na calha Parshall, anotando a data e hora, cota da régua e o número do frasco em que a amostra é armazenada.

Para manter um monitoramento contínuo de concentração de sedimentos, foi utilizado um sensor de turbidez, conhecido como turbidímetro (Figura 23 A), que está acoplado ao datalogger para armazenar seus dados (Figura 23 B). O equipamento é instalado no leito do rio e realiza leituras através de emissão de feixes de luz, que passam verticalmente no perfil do escoamento e a sua reflexão ao sensor gera uma corrente, ou pulso elétrico, dado em mV. Este é relacionado com a concentração de sedimentos obtida através de coletas manuais no mesmo momento da leitura do turbidímetro, conforme metodologia de (MERTEN et al., 2013). Esta é uma forma de obter informações de turbidez e concentração de sedimentos de forma indireta,

em períodos em que não há coletas, ou entre uma coleta e outra. Porém, este equipamento depende de uma calibração e correlação de dados reais com suas leituras, até que seus dados sejam considerados consistentes e precisos.

A determinação da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) foi feita através das coletas manuais realizadas na ascensão e recessão do nível da água na calha Parshall, armazenadas em recipientes de vidro e encaminhadas para o laboratório de análises físicas de solos da UTFPR sendo utilizado o método de evaporação. Todos os dados obtidos nos equipamentos e leituras manuais foram organizados em planilha Excel, gerando informações finais de precipitação (mm),  $Q$  ( $L s^{-1}$ ) e CSS ( $g L^{-1}$ ), possibilitando gerar gráficos para melhor compreensão dos eventos.

### 3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados de condutividade hidráulica saturada, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo foram submetidos ao teste de normalidade, através do teste de Shapiro-Wilk, constatando sua normalidade, os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F ( $P < 0,05$ ). E efeitos dos diferentes usos do solo sobre a caracterização da bacia hidrográfica foram comparados pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o Software Sisvar (FERREIRA, 2011).

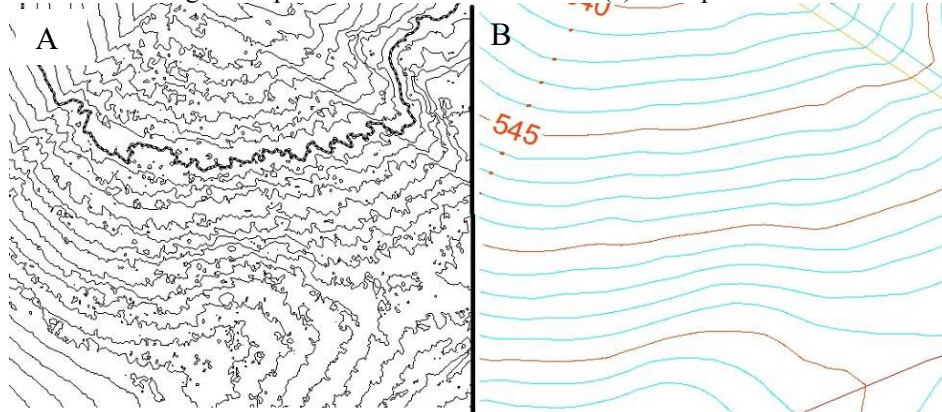
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO TOPOGRÁFICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

O levantamento aéreo detalhado com o uso de Drone, demonstrou ser uma técnica efetiva para representação da ondulação real do terreno, porém, esta representação se dá em áreas onde não há vegetação sobre o solo (árvores, arbustos, mata, etc.). Em locais com vegetação, a cota (elevação) ficou distorcida, representando a copa das árvores e não o solo, o que já era esperado. Em locais com vegetação, é necessário utilizar *softwares* e metodologias adicionais para realizar uma modelagem do local e limpar o ruído gerado pela vegetação (FELGUEIRAS, 1999). Neste caso, restringiu-se a imagem para uso do solo, não avançando no processamento.

Em áreas descampadas também foram observados ruídos nas curvas de nível, gerada pela densidade de pontos coletados pelo *Drone*, fazendo com que as linhas ficassem “tremidas” ou em zigue-zague conforme representado na Figura 26 A.

**Figura 26** – Curvas de nível geradas por levantamentos com Drone (a) e receptor GNSS RTK e estação total (b).



Fonte: Fernando Battisti (2018).

Pela altura do voo e quantidade de imagens coletadas, foram obtidos pixels de 5x5 cm, ou seja, cada 0,0025 m<sup>2</sup> de área possuía um ponto com cota. Sendo a área da bacia hidrográfica 618.117,00 m<sup>2</sup>, obteve-se uma quantidade total de 247.270.800 pontos, uma quantidade 32.378 vezes maior do que a obtida pelo levantamento de campo com receptor GNSS RTK e estação total, onde cada ponto é coletado pela observação da topografia do terreno e sua necessidade de representação.

Esta metodologia possibilitou uma imagem com um bom nível de detalhamento para desenho do uso do solo, porém a quantidade de pontos para trabalho com altimetria deveria ser

reduzida pois não há necessidade de um pixel tão pequeno para representar o terreno, mas sim uma limpeza e filtragem de ruídos e vegetações (FELGUEIRAS, 1999).

Para que isso não ocorra, é necessário aumentar o tamanho do pixel, diminuindo a quantidade de pontos, ou utilizar *softwares* que façam a interpolação das curvas sem utilizar todos os pontos (BORGES et al., 2016). Mesmo com estes problemas de ruído pela vegetação, em áreas de lavoura, pastagem e estrada, as curvas de nível representaram bem a realidade do local. Assim, esta ferramenta aérea pode ser uma opção a ser estudada mais a fundo para levantamentos iniciais em bacias hidrográficas, principalmente em locais onde há risco para as pessoas ou dificuldade de realização de levantamentos mais apurados (CAMARGO, 2018).

Para representação da elevação do terreno da bacia hidrográfica, foram utilizados os dados obtidos a partir dos levantamentos com GNSS RTK e Estação Total, sendo gerado um mapa com curvas de nível com equidistância de 1,00 m uma da outra (Apêndice A). Para a realização dos levantamentos topográficos, processamentos e edição de mapas, foi contabilizado o tempo de trabalho em cada atividade (Tabela 2).

**Tabela 2** – Tempo de trabalho.

<b>Equipamento</b>	<b>Horas de trabalho a campo</b>	<b>Horas de trabalho em processamento</b>	<b>Pessoas envolvidas</b>
<b>GNSS RTK</b>	50	10	3
<b><i>Drone</i></b>	8	30	2

Fonte: Fernando Battisti, 2018

No levantamento com *Drone*, o trabalho de campo foi mais leve e rápido. Já com o receptor GNSS RTK e estação total, como é necessário percorrer por toda a área, nomear o ponto e realizar a observação foi demandado mais tempo.

Para o processamento de dados, o arquivo gerado pela coletora do receptor GNSS RTK e estação total se mostrou mais simples para processamento. Já as imagens do *Drone* tiveram que ser processadas e ajustadas pelo *software* através dos pontos de controle, e cada processo executado demora muitas vezes horas do início ao fim.

Sobre as duas metodologias de levantamento topográfico, foi realizado uma comparação entre as quantificações de áreas nos mapas (Apêndice B e C) em cada uso do solo, para certificação de que as duas metodologias estavam se repetindo (Tabela 3) passando maior confiabilidade na imagem aérea.

**Tabela 3** – Uso do solo através de GNSS RTK e Drone.

Uso do solo	GNSS RTK (m <sup>2</sup> )	Drone (m <sup>2</sup> )	Diferença (%)
Estrada	19.955,00	20.360,00	> 2,0296%
Pastagem	120.515,00	119.376,00	< 0,9451%
Lavoura	302.979,00	300.315,00	< 0,8793%
Mata	102.419,00	104.721,00	> 2,2476%
Vegetação arbustiva	50.336,00	51.728,00	> 2,7654%
Açude	2.852,00	2.953,00	> 3,5414%
Pomar	6.400,00	6.118,00	< 4,4063%
Construções	12.661,00	12.546,00	< 0,9083%

Fonte: Fernando Battisti, (2018).

As diferenças apresentadas foram baixas, na média 2,21%, mostrando que foi possível definir com elevada precisão o uso do solo da bacia hidrográfica dentro dos parâmetros levados em consideração (BORGES et al., 2016; VITTI et al., 2017). Com a confirmação de que as duas metodologias estavam com alto grau de semelhança, foi possível melhorar os mapas de uso do solo, ajustando melhor o detalhamento de cada uso.

Sobre os mapas ajustados realizou-se a divisão da área total em percentuais de usos, utilizado para definir o grid amostral (Figura 17), para o levantamento das propriedades físicas do solo, em que foi definido coletar um ponto a cada 1,7 ha aproximadamente, com o número de amostras coletadas próximas a proporção percentual de uso do solo, ficando dividido conforme apresentado na Tabela 4.

**Tabela 4** – Divisão de pontos amostrais para coletas na bacia hidrográfica.

Uso do solo	Área ocupada (m <sup>2</sup> )	Área (%)	Nº pontos por uso
Estrada	19.955,00	3,23	-
Pastagem	120.515,00	19,50	10
Lavoura	302.979,00	49,01	17
Mata	102.419,00	16,57	6
Vegetação arbustiva	50.336,00	8,14	3
Açude	2.852,00	0,46	-
Pomar	6.400,00	1,04	-
Construções	12.661,00	2,05	-
<b>Total</b>	<b>618.177,00</b>	<b>100%</b>	<b>36</b>

Fonte: Fernando Battisti (2018).

A bacia hidrográfica possui uma diversidade de usos do solo, e ainda um manejo diferenciado por possuir mais de um proprietário. Do total da bacia (61,81 ha), a área de 21,55 ha é de proprietários externos à Universidade, e 40,26 ha são do *Campus*. Essa divisão representa uma percentagem de 65,15% para a Universidade e 34,85% para o proprietário externo.

A área externa é composta de uma via pavimentada, parte asfaltada e parte com calçamento de pedra basalto e por duas áreas de lavoura de cultivo anual, com uso de terraços

rebaixados, pouco volume de palha na superfície e sucessão de culturas, alternando entre soja e milho, com cultivo de feijão, trigo ou aveia basicamente.

Nos 65,15% restantes, de domínio da universidade, a diversidade de usos é maior. Possui a área onde ficam os prédios, construções e ruas calçadas, que possui boa drenagem pluvial, não sendo observado pontos fortes de erosão por escoamento superficial causado pelo volume de água dos telhados. No entorno dos prédios há uma quantidade considerável de árvores e as áreas de paisagismo são mantidas gramadas, onde retém de forma eficiente parte da chuva.

Nas áreas experimentais do *Campus*, que são utilizadas para cultivo e pastoreio, todas possuem terraços em nível para contenção de água de enxurrada e posterior infiltração. Esses terraços foram construídos ainda antes da ocupação da área pela Universidade, e foram mantidos até nos dias de hoje, e que na maioria das áreas não houve reformas da estrutura, e em alguns pontos rebaixamento. Desta área existem glebas piqueteadas de pastagem anual e perene, com períodos de alta lotação de animais e baixo volume de massa disponível para alimentação.

A área de lavoura é destinada a cultivos anuais, com rotação de culturas, alternando entre milho, soja, feijão, aveia, trigo, e uso de plantas de cobertura com objetivo de maior incremento de palhada. O tráfego de máquinas tende a ser reduzido. Em outra área, há um pequeno pomar com cultivo de citros, manejada com pastagem nas entre linhas, que são roçadas periodicamente com roçadeira acoplada em trator.

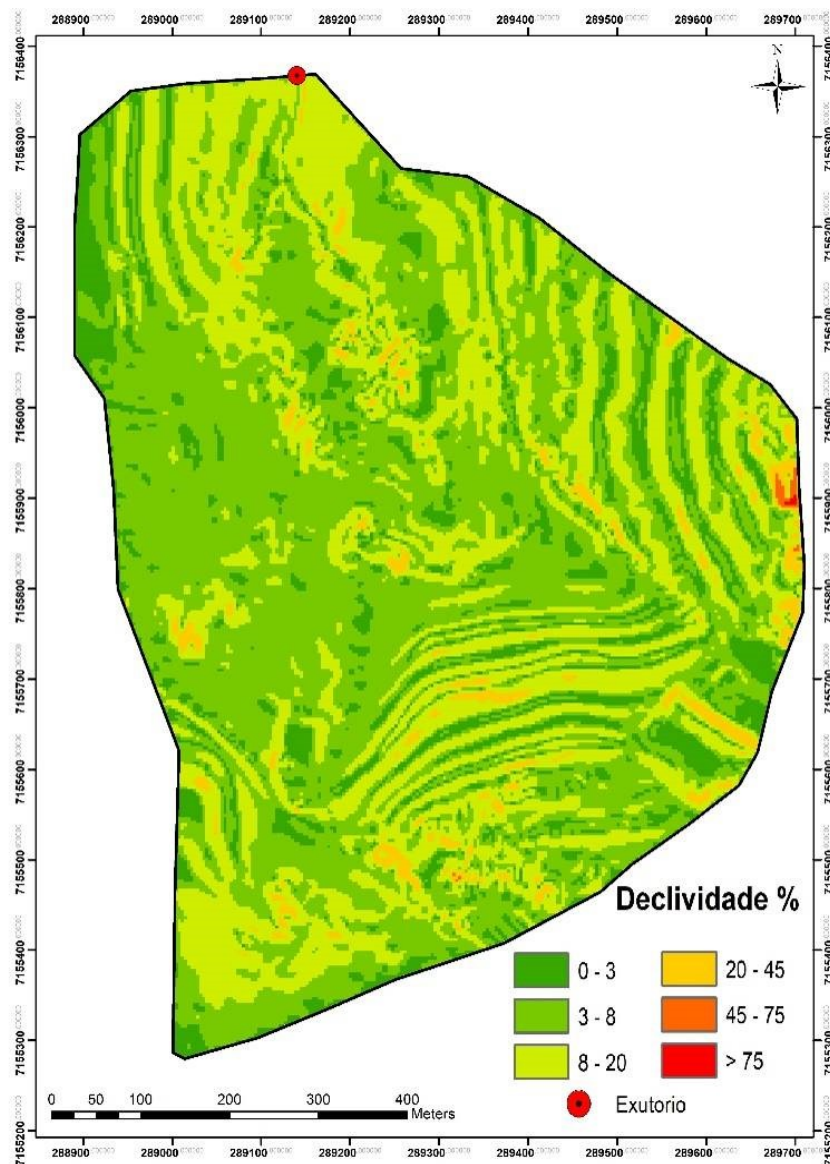
A área de mata nativa é preservada, não sofrendo modificações ou corte da vegetação. Sob esta mata observa-se a presença de áreas propensas a encharcamento, conhecidas como áreas de amortização ou banhados. Estas áreas são muito importantes para absorver parte da precipitação, frear o transporte de sedimentos e manter por mais tempo o escoamento de base no rio.

As estradas de terra possuem pequenos tanques de captação de água, que coletam o escoamento vindo da sarjeta. Isso aumenta o potencial de infiltração da água e reduzindo a velocidade e volume de escoamento, auxiliando na redução da formação de sulcos de escoamento e reduzindo o índice de necessidade de reparos nas estradas. Os reparos com moto niveladora geralmente são feitos em meados do mês de maio, no início do período letivo.

A bacia possui um açude, localizado próximo ao centro da bacia, circundado por mata. Este açude recebe uma fração do escoamento superficial e também é abastecido pelo fluxo de base. O controle de nível é feito por um vertedor, e dali se inicia o fluxo de água que dá origem ao canal de drenagem da bacia hidrográfica.

Sobre os dados altimétricos coletados com GNSS RTK e estação total, foi possível elaborar um mapa da bacia hidrográfica representando a distribuição das classes de declividade, quantificando o percentual de área que cada classe ocupa, conforme classificação descrita em (EMBRAPA, 1979), representado na Figura 27.

**Figura 27** – Mapa de declividade em percentual.



Fonte: Fernando Battisti (2019).

Fazendo uma observação visual conforme a distribuição das cores no mapa, é possível identificar o delineamento dos terraços na área da lavoura e da pastagem que estão nas dependências da UTFPR.

Com a quantificação numérica dos pixels da imagem e seu atributo de declividade, foi possível elaborar a Tabela 5, que expressa o percentual do relevo para cada classe de

declividade na bacia hidrográfica. A maior parte da distribuição ficou ligada entre suave-ondulado (50,50%) e ondulado (33,96%), sendo a característica predominante das áreas com relevos naturais, como lavoura e pastagem. Na sequência se destaca o relevo plano (12,91%), representando áreas com terraplenagem, construções e pontos específicos com pouca declividade.

**Tabela 5** – Distribuição das classes de declividade para a bacia hidrográfica.

Declividade (%)	Relevo	Área (m <sup>2</sup> )	%
0-3	Plano	79.807,08	12,91
3-8	Suave-ondulado	312.165,76	50,50
8-20	Ondulado	209.960,23	33,96
20-45	Forte-ondulado	15.537,66	2,51
45-75	Montanhoso	605,36	0,10
>75	Forte-montanhoso	100,89	0,02
TOTAL		618.177,00	100

Fonte: Fernando Battisti (2019).

As áreas com classificação montanhosa (0,10%) e forte-montanhosa (0,02%) estão ligadas a pontos específicos, como escadas, muro de contenção de terras e locais onde foi feito terraplenagem para construções. Estas duas classificações possuem muito baixa contribuição na área, levando a conclusão que estão mais ligadas a pequenos locais onde foi feito mobilização do solo do que por ser parte do relevo original da bacia hidrográfica. Para melhorar ainda mais a compreensão da conformação da bacia, sobre os dados do levantamento topográfico, foram geradas informações morfométricas da bacia hidrográfica (Tabela 6).

**Tabela 6** – Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica.

Parâmetros	Valores e unidades
Área	618.177,00 m <sup>2</sup> - 0,618177 km <sup>2</sup>
Perímetro	3.158,34 m
Ordem do córrego	2 <sup>a</sup>
Comprimento do canal principal	376,40 m
Amplitude altimétrica	116,33 m
Altitude máxima	565,00 m
Altitude mínima	448,67 m
Coefficiente de compacidade	1,08
Índice de circularidade	0,78
Densidade de drenagem	0,00077 m/m <sup>2</sup>
Densidade Hidrográfica	1,62 canal/km <sup>2</sup>

Fonte: Fernando Battisti (2019).

A área da bacia, geralmente é apresentada em km<sup>2</sup>, já remete que usualmente são monitoradas bacias grandes, neste caso a bacia possui uma área bem reduzida, obtendo um perímetro curto e seu córrego classificado em 2<sup>a</sup> ordem, por possuir um canal principal e mais um pequeno contribuinte.



As suas altitudes mínimas e máximas estão semelhantes com a topografia da região, apresentando que a bacia não possui nenhum grande declive ou formação geológica fora do padrão natural da região. O formato da bacia gerou um coeficiente de compacidade um pouco superior a um, remetendo sua forma mais circular do que alongada. Tal informação é comprovada pelo índice de circularidade. A densidade de drenagem remete a uma bacia mais mal drenada, isso ocorre pela sua alta permeabilidade e capacidade de reter água.

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DA BACIA

A condutividade hidráulica saturada do solo da bacia na camada de 0-10 cm a mata se destaca (Tabela 7), juntamente com a pastagem, apresentando os maiores índices, seguidos da grama e lavoura. Na profundidade 10-20 cm a pastagem se destaca, seguida da mata e grama, que não tiveram diferença e com menor índice a lavoura.

**Tabela 7** – Parâmetros físicos e hídricos do solo em diferentes usos do solo ao longo do perfil.

Causas da Variação		Ksat (cm h <sup>-1</sup> )	PT	Ma (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Mi	DS (Mg <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )
Camada de 0-10 cm						
Usos do solo	Mata	55,52 a	0,69 a	0,29 a	0,41	0,85 a
	Lavoura	9,92 c	0,63 ab	0,18 b	0,45	1,23 c
	Pastagem	33,31 b	0,63 ab	0,16 b	0,46	1,21 bc
	Grama	23,22 bc	0,60 b	0,19 b	0,41	1,07 b
<b>valor de F</b>		27,45 **	3,41 *	11,51 **	3,37 *	30,13 **
<b>Média geral</b>		<b>24,38</b>	<b>0,63</b>	<b>0,19</b>	<b>0,44</b>	<b>1,14</b>
<b>CV (%)</b>		<b>45,04</b>	<b>7,28</b>	<b>21,94</b>	<b>9,08</b>	<b>7,71</b>
Camada de 10-20 cm						
Usos do solo	Mata	4,57 ab	0,65	0,22 a	0,42	1,06 a
	Lavoura	2,66 b	0,60	0,16 ab	0,44	1,28 b
	Pastagem	4,99 a	0,61	0,15 b	0,46	1,21 ab
	Grama	3,63 ab	0,61	0,16 ab	0,45	1,18 ab
<b>valor de F</b>		7,79 **	2,18 *	4,42 *	1,98 ns	2,05**
<b>Média geral</b>		<b>3,59</b>	<b>0,61</b>	<b>0,17</b>	<b>0,44</b>	<b>0,66</b>
<b>CV (%)</b>		<b>33,68</b>	<b>5,98</b>	<b>23,53</b>	<b>6,37</b>	<b>3,23</b>
Camada de 20-30 cm						
Usos do solo	Mata	12,54 b	0,65	0,22 a	0,43 b	1,07
	Lavoura	5,72 b	0,62	0,16 b	0,46 ab	1,24
	Pastagem	31,15 a	0,62	0,13 b	0,49 a	1,24
	Grama	6,27 b	0,60	0,14 b	0,45 a	1,25
<b>valor de F</b>		9,32**	1,14 ns	6,24**	7,55**	3,30 ns
<b>Média geral</b>		<b>12,41</b>	<b>0,62</b>	<b>0,16</b>	<b>0,46</b>	<b>1,2</b>
<b>CV (%)</b>		<b>88,02</b>	<b>7,47</b>	<b>23,24</b>	<b>4,74</b>	<b>9,92</b>
Camada de 30-40 cm						
Usos do solo	Mata	12,91 ab	0,65	0,23 a	0,42 b	1,08
	Lavoura	5,86 b	0,63	0,17 ab	0,46 a	1,16
	Pastagem	22,05 a	0,63	0,13 b	0,49 b	1,16
	Grama	13,32 ab	0,62	0,15 b	0,47 a	1,21
<b>valor de F</b>		9,43 **	0,32 ns	4,67 **	11,44 **	0,93 ns
<b>Média geral</b>		<b>11,26</b>	<b>0,64</b>	<b>0,17</b>	<b>0,46</b>	<b>1,15</b>

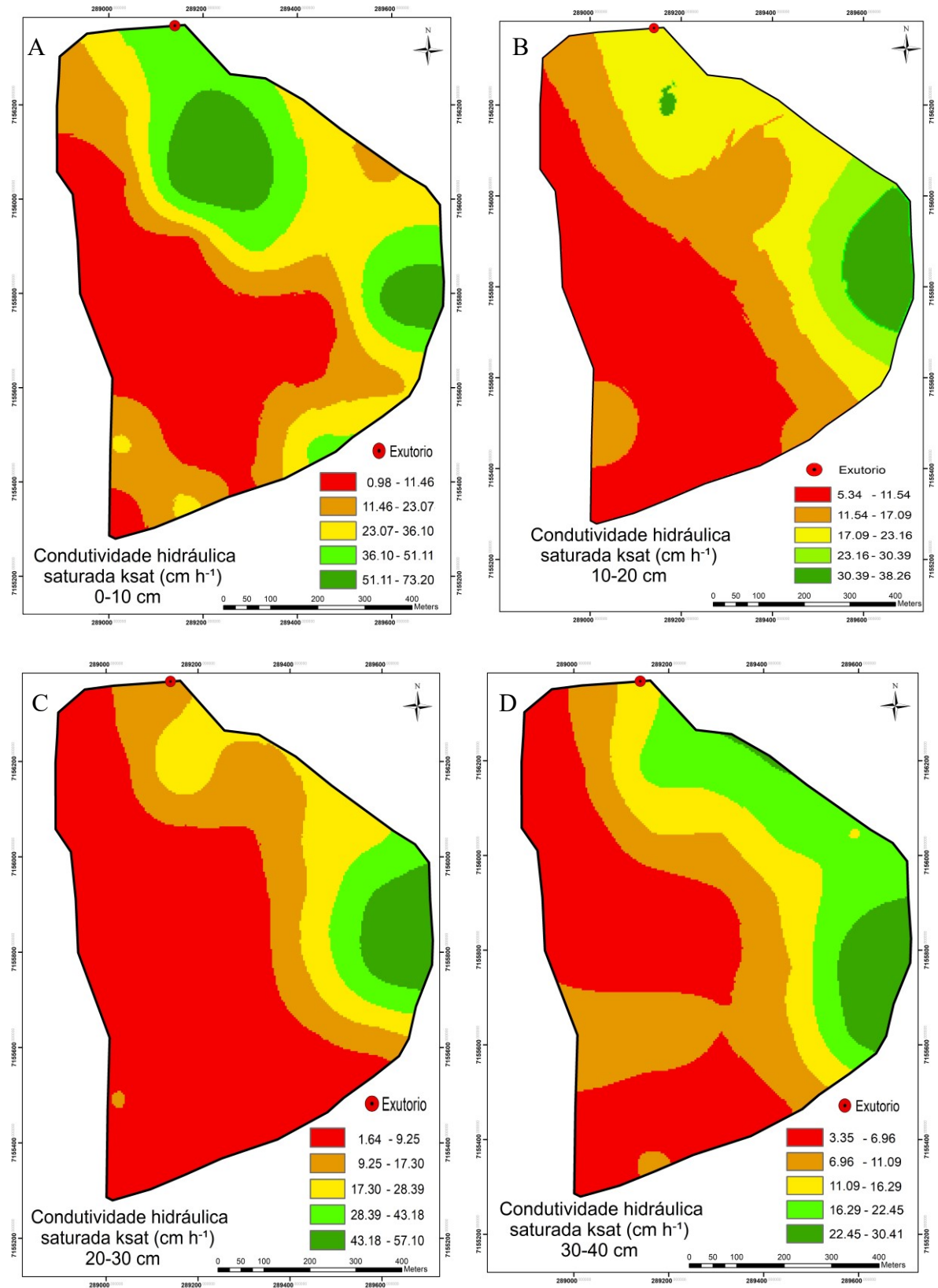
CV (%)	61,08	7,91	26,64	4,88	11,41
--------	-------	------	-------	------	-------

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não difere pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ); ns: não significativo; \*\* Significativo ( $P < 0,01$ ); \* Significativo ( $P < 0,05$ ).

Fonte: Fernando Battisti (2019).

Na profundidade 20-30 cm a pastagem se destaca com melhor índice, seguida da mata, lavoura e grama, que não tiveram diferença significativa. Por fim, na profundidade 30-40 cm a pastagem se destaca novamente, com melhor índice, seguida da mata e grama, que não se diferenciaram e com menor índice a lavoura. Na Figura 28 é possível observar esta distribuição da condutividade hidráulica saturada, e identificar valores mínimos e máximos entre 1,38 e 74,76  $\text{cm h}^{-1}$ .

**Figura 28** – Condutividade hidráulica saturada nas camadas de 0-10 (a), 10-20 (b), 20-30 (c) e 30-40 cm (d).



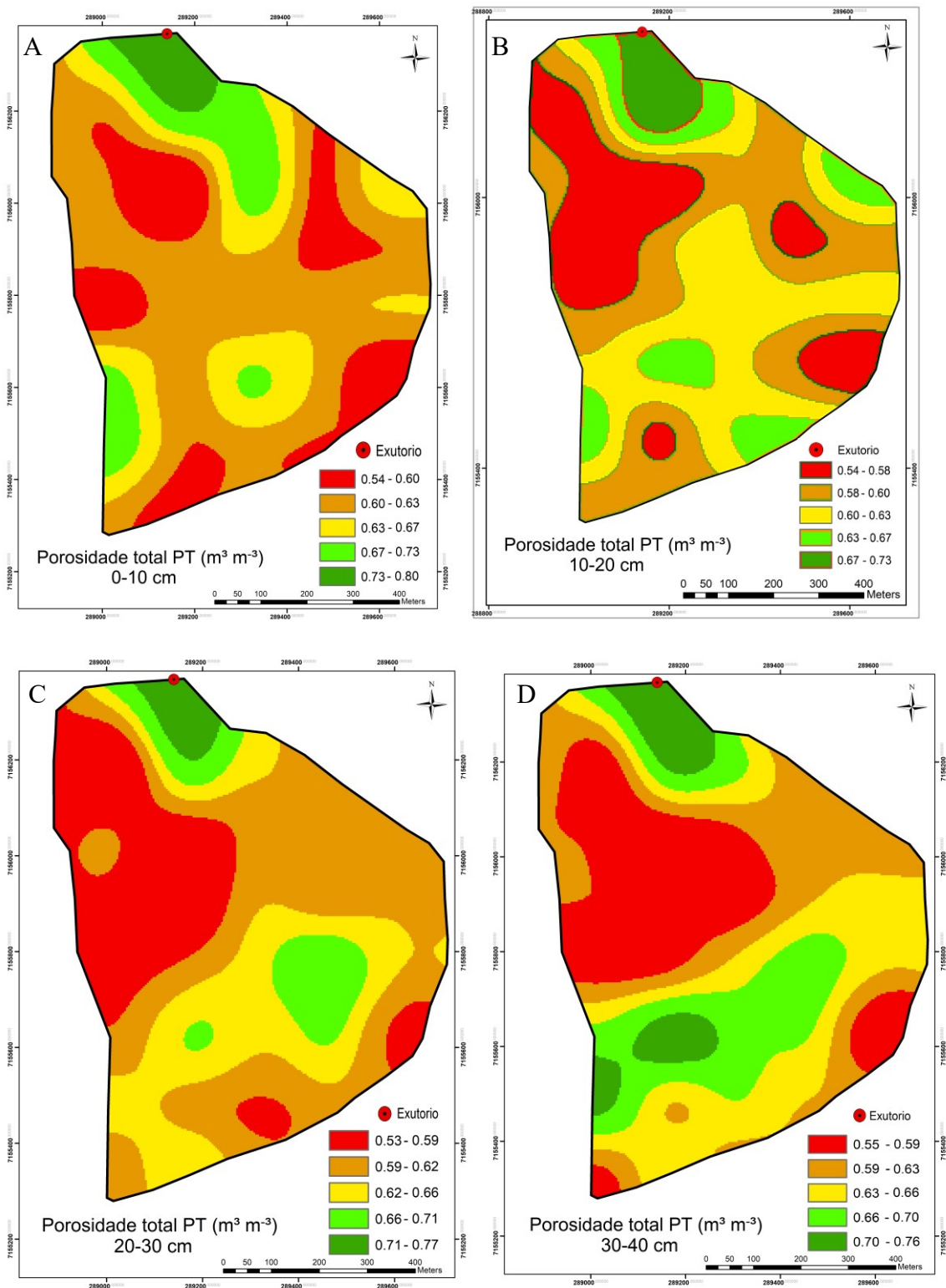
Fonte: Fernando Battisti (2019)

A mata, para todas as análises será tida como referência de melhor uso, ou mais natural, por não haver ação antrópica. Ela se destaca em condutividade hidráulica saturada por não haver pressão de carga de maquinário agrícola ou animais, e possuir uma ação biológica e orgânica maior do que nos demais usos. As baixas taxas de infiltração verificadas na grama e lavoura pode estar relacionada a redução da conectividade dos poros, ligada a compactação pelo uso de máquinas, possivelmente em faixas de umidade do solo não recomendadas e baixa quantidade de palhada sobre o solo para dissipar a pressão dos rodados (SILVA et al., 2003). De modo geral, a condutividade hidráulica saturada apresenta uma grande variabilidade em seus índices, sendo normal apresentar altas taxas de variação em diferentes usos do solo (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007).

Para complementar a avaliação da porosidade, foi feita a separação dos poros em macroporos ( $Ma > 50 \mu m$ ) e microporos ( $Mi < 50 \mu m$ ). Esta divisão é importante pois diz respeito a capacidade de retenção e infiltração de água no solo e sua aeração. A porosidade total (PT), que expressa a quantidade de espaços vazios que a estrutura do solo apresenta, podendo ser ocupados por ar e água, e está relacionada com a compactação no que diz respeito a alteração do volume de solo (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007). Quando ocorre a redução da porosidade, esta está ligada a macroporosidade, e são os primeiros espaços vazios a serem comprimidos, aumentando o nível de compactação.

Referente aos dados avaliados, sobre a porosidade total, é possível observar na Tabela 7 que apenas no perfil de 0-10 cm a mata se destacou com melhor índice, seguido da lavoura, pastagem, e da grama. Nas demais profundidades amostradas, não houveram diferenças significativas, mostrando que a porosidade total apresenta maior variação, ou pressão de compactação próximo a superfície, e que nas demais profundidades essa variação não é tão expressiva nas áreas avaliadas. As pequenas variações nas quatro profundidades podem ser observadas na Figura 29.

Figura 29 – Porosidade total do solo nas camadas de 0-10 (a), 10-20 (b), 20-30 (c) e 30-40 cm (d).



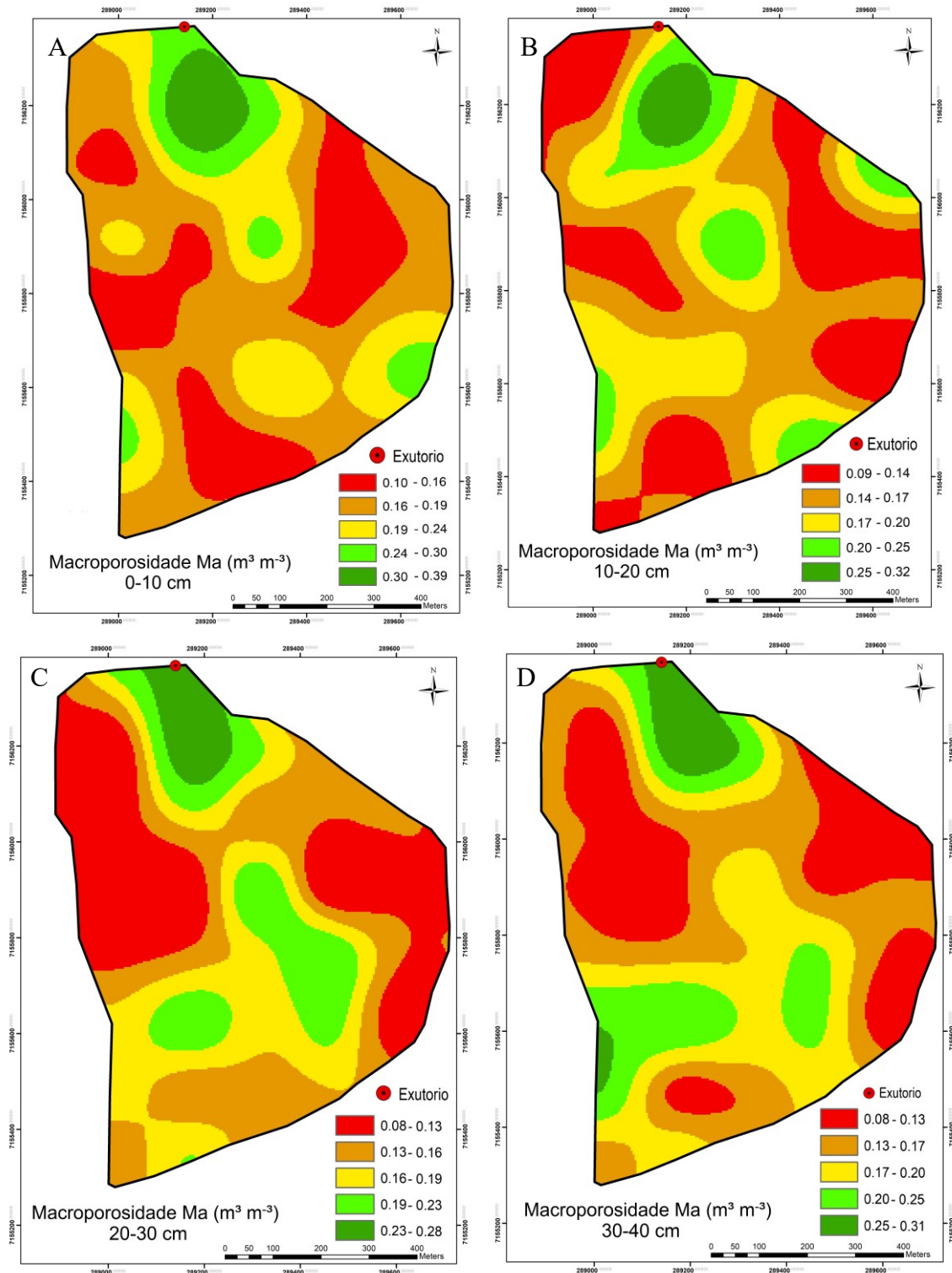
Fonte: Fernando Battisti (2019).

A Macroporosidade da mata se destacou em todas as profundidades, (Tabela 7), como já era esperado, pela sua boa estrutura proporcionada pela matéria orgânica. Os demais tratamentos não se diferenciaram significativamente entre si nas quatro profundidades

amostradas, sendo possível observar que neste caso o grau de compactação da lavoura, pastagem e grama tende a estar semelhante (Figura 30). O decréscimo da macroporosidade está linearmente ligado ao aumento da compactação (SUZUKI et al., 2007), mostrando que a ação antrópica e o manejo do solo está alterando uma característica natural do solo.

Para fins de comparação, o limite crítico da macroporosidade para o crescimento das plantas é estabelecido e aceito por diversos autores em um valor de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007). Este limite pode variar, estando ligado a porosidade total do solo, profundidade necessária a ser aerada e ao nível de consumo de oxigênio exigido pelo sistema radicular da planta. Para plantas com sistema radicular superficial, em torno de 10 cm, os valores de aeração podem chegar a  $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Para sistemas radiculares que acessam maiores profundidades no perfil do solo, aliado ao maior consumo de oxigênio, a necessidade de porosidade de aeração mínima pode chegar a  $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (SUZUKI et al., 2007).

Figura 30 – Macroporosidade do solo nas camadas de 0-10 (a), 10-20 (b), 20-30 (c) e 30-40 cm (d).



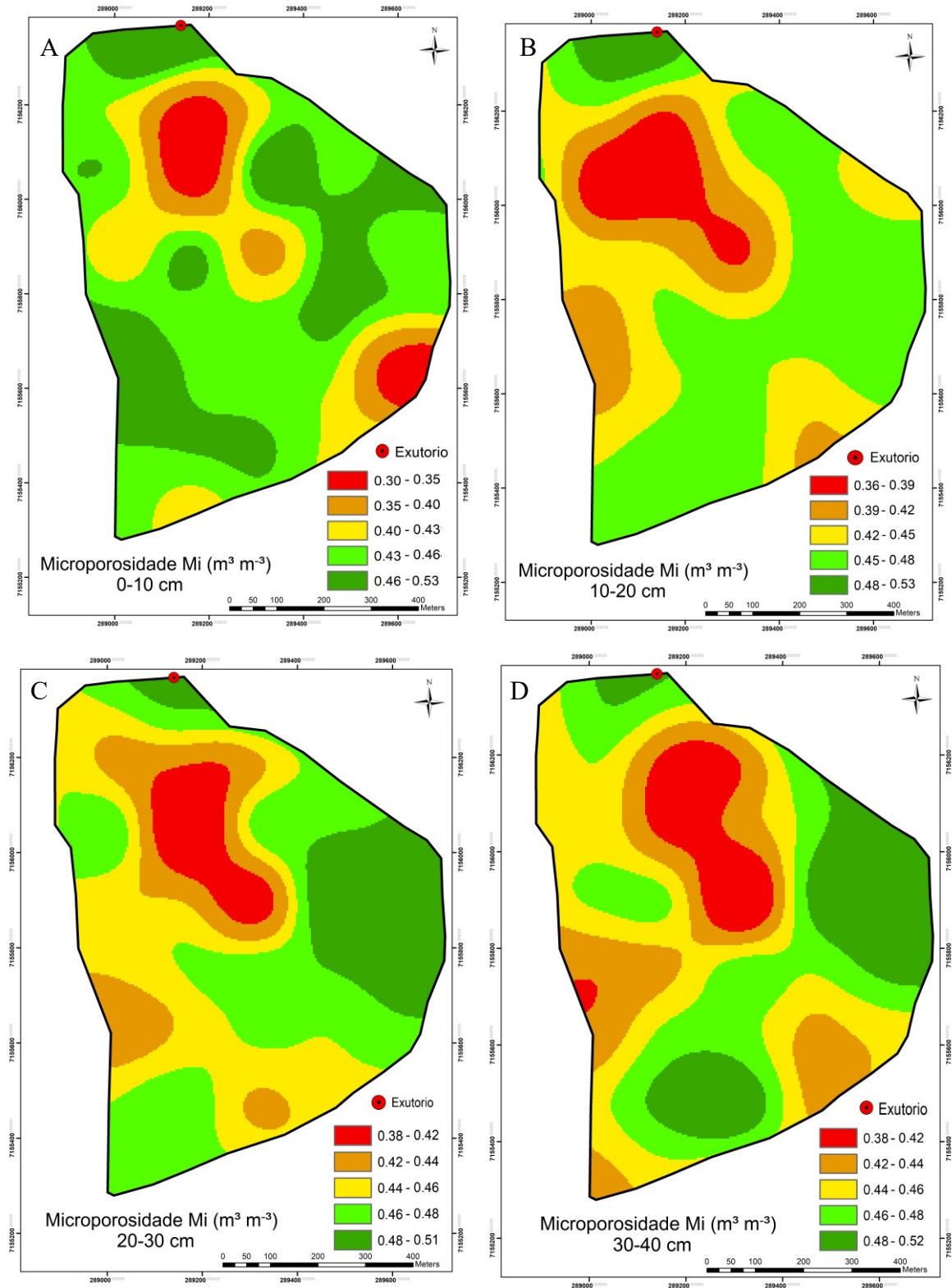
Fonte: Fernando Battisti 2019.

Analisando a Microporosidade, observa-se que nas profundidades 0-10 e 10-20 (Tabela 7), os valores não obtiveram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. Nas profundidades de 20-30 e 30-40 (Figura 31), a variação foi maior, atribuída a

graus de compactação mais severos, em que a pressão rearranja os agregados do solo, transformando uma parte dos poros maiores ( $>50 \mu\text{m}$ ) em microporos, devido ao uso intensivo e operações de alta intervenção, como gradagens (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007; TIECHER, 2015).



**Figura 31** – Microporosidade do solo nas camadas de 0-10 (a), 10-20 (b), 20-30 (c) e 30-40 cm (d).



Fonte: Fernando Battisti (2019).

Analisando os resultados de densidade do solo, apresentados na Tabela 7, observou-se que nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, o melhor resultado foi obtido na mata, estando

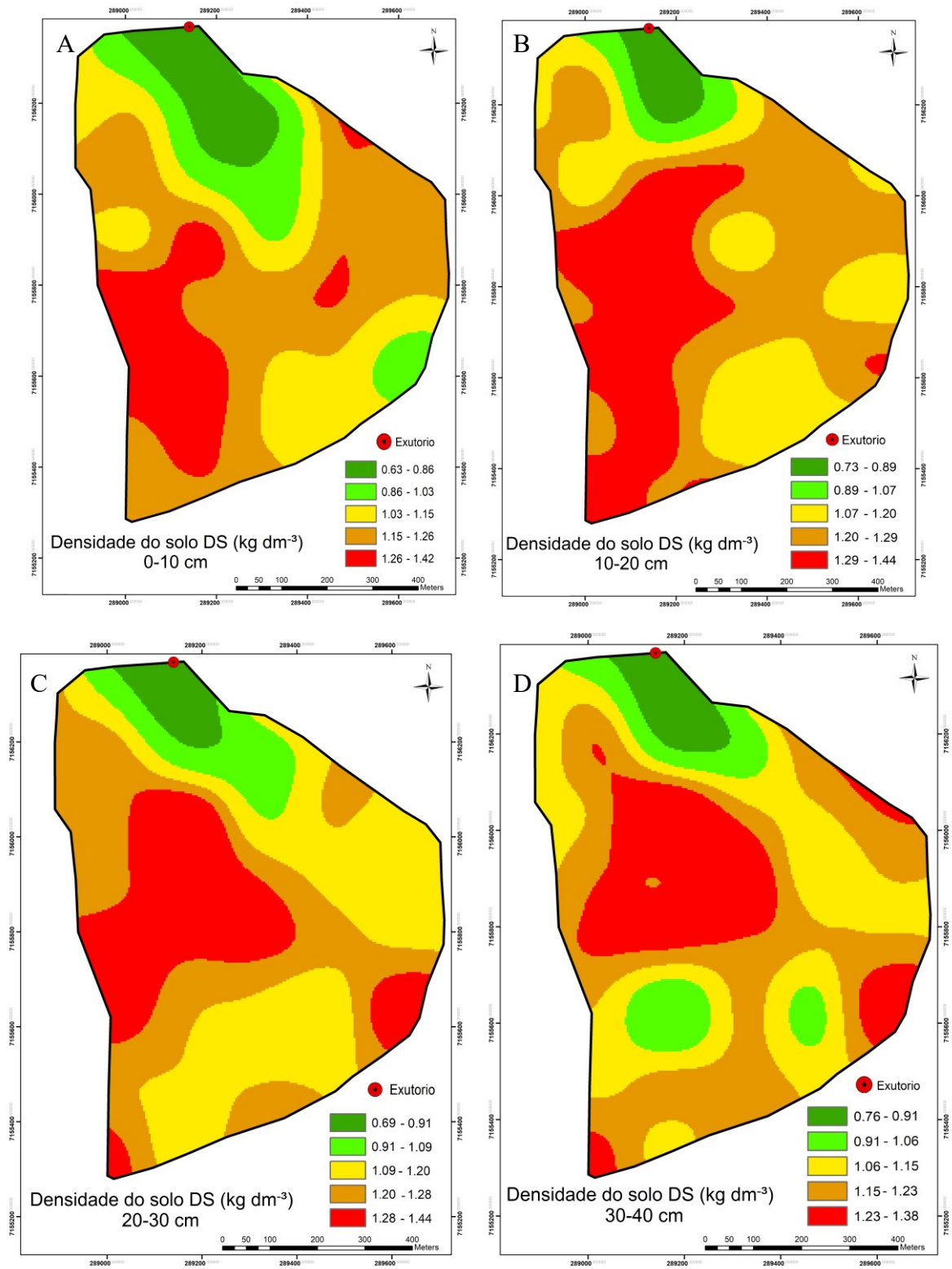
relacionado com a atividade biológica, teor de matéria orgânica e em não haver ação antrópica ou pressão de uso. Nos demais usos (0-10), superficialmente se destaca a grama, pastagem e por fim lavoura. Esta sequência pode estar relacionada com a pressão de uso, sendo menor nos locais de gramado, intermediário na pastagem e mais severo na lavoura, causado pelo uso de máquinas e implementos com pesos mal distribuídos e tráfego em faixas de umidade não recomendadas (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007; TOIGO, 2010).

Na faixa de 10-20 cm, a variação já se apresentou menor, tendo como sequência a grama, pastagem e por fim lavoura, semelhante com a camada mais superficial. Nas camadas de 20-30 e 30-40, não houve diferença estatística significativa, mostrando que nesta condição a densidade do solo nos diferentes usos não está sendo atingida tão fortemente pela ação antrópica, aliada à sua resiliência natural devido a ciclos de umedecimento e secagem e via atividade biológica.

Em todos os tratamentos podem ocorrer variações no perfil e na mesma profundidade, apresentando a grande variabilidade espacial dos atributos, mesmo dentro de um mesmo uso do solo. Estas variações podem ser melhor observadas nos mapas, nele é representado em diferentes cores (Figuras 29, 30, 31 e 32). Muitos podem ser os fatores que levam a estes valores, como o potencial de dissipação da pressão de carga do pneu de uma máquina agrícola, pisoteio animal, escarificação e o potencial das raízes em explorar verticalmente ou horizontalmente o solo. Os níveis de matéria orgânica e atividade biológica do solo, também compõem esta complexidade de fatores que influenciam os atributos do solo (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007; SILVA et al., 2003; TIECHER, 2015).

A visualização dos valores pontuais dos atributos físico-hídricos torna a compreensão mais complexa. Para facilitar o entendimento e a visualização da dinâmica espacial dos atributos, foram elaborados mapas com distribuição de escala de cores, criando um ambiente mais visual.

Figura 32 – Densidade do solo nas camadas de 0-10 (a), 10-20 (b), 20-30 (c) e 30-40 cm (d).



Fonte: Fernando Battisti (2019).

### 4.3 MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOLOGICO NA BACIA HIDROGRÁFICA

O período de monitoramento da precipitação na bacia e da vazão e concentração de sedimentos em suspensão no exutório da bacia ocorreu de maio de 2019 a fevereiro de 2020. Neste período foram monitorados dois eventos de grande magnitude na bacia. Na Tabela 8 é apresentada a precipitação diária no período de monitoramento, estando destacado em negrito os eventos monitorados.

**Tabela 8** – Precipitação diária no período de monitoramento.

Dia	2019						2020			
	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
1	1,60	0	8,94	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	29,30	0	0	4,60	16,30
3	0	0	0	0	0	0	18,08	15,90	0	0
4	0	0	0	0	0	0	22,31	36,00	0	0
5	0	0	0	0	0	15,50	11,90	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1,40	0
7	4,40	0	0	0	0	0	8,10	0	0	0
8	14,00	0	0	0	0	0	0	13,10	0	0
9	16,80	0	0	0	0	0	18,30	0	0	1,60
10	7,40	0	0	0	0	0	0	0	50,30	9,80
11	18,20	0	0	0	6,1	0	0	0	0	-
12	10,00	0	0	0	0	0	0	0	0	-
13	2,60	0	0	0	0	0	52,78	0	0	-
14	0	0	13,70	0	0	0,10	5,320	0	3,30	-
15	0,20	0	0	0	0	0	0	49,50	0	-
16	0	0	0	0	0	0	0	0	23,90	-
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
18	0	0	0	16,80	1	3,50	0	0	0	-
19	0	0	0	0	25,87	0	0	0,05	0	-
20	0	0	0	0	10,92	24,60	0	6,11	0	-
21	0	0	0	0	0	0	0	2,13	4,00	-
22	0,80	0	0	0	0	0	0	0	0	-
23	1,80	0	0	0	0	0	0	0	1,6	-
24	27,40	0	0	0	0	0	0	0	0	-
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
26	0	0,20	0	0	0	0	0	0	0	-
27	<b>28,23</b>	0	0	0	0	25,90	7,40	0	0	-
28	<b>25,57</b>	0	0	0	0	0	0	0	2,2	-
29	0	0	3,40	0	0	0	0	0	0	-
30	<b>58,72</b>	7,95	0	0	0	0	0	0	31,40	-
31	<b>10,08</b>	-	0	21,60	-	18,80	-	0	-	-
Total	237,80	8,15	26,01	38,40	42,89	117,70	139,19	122,79	122,70	

Fonte: Grupo de pesquisa em manejo e conservação do solo e água 2020.

Negrito – precipitação monitorada; itálico – deslocamento de equipe; valores de precipitação expresso em mm.

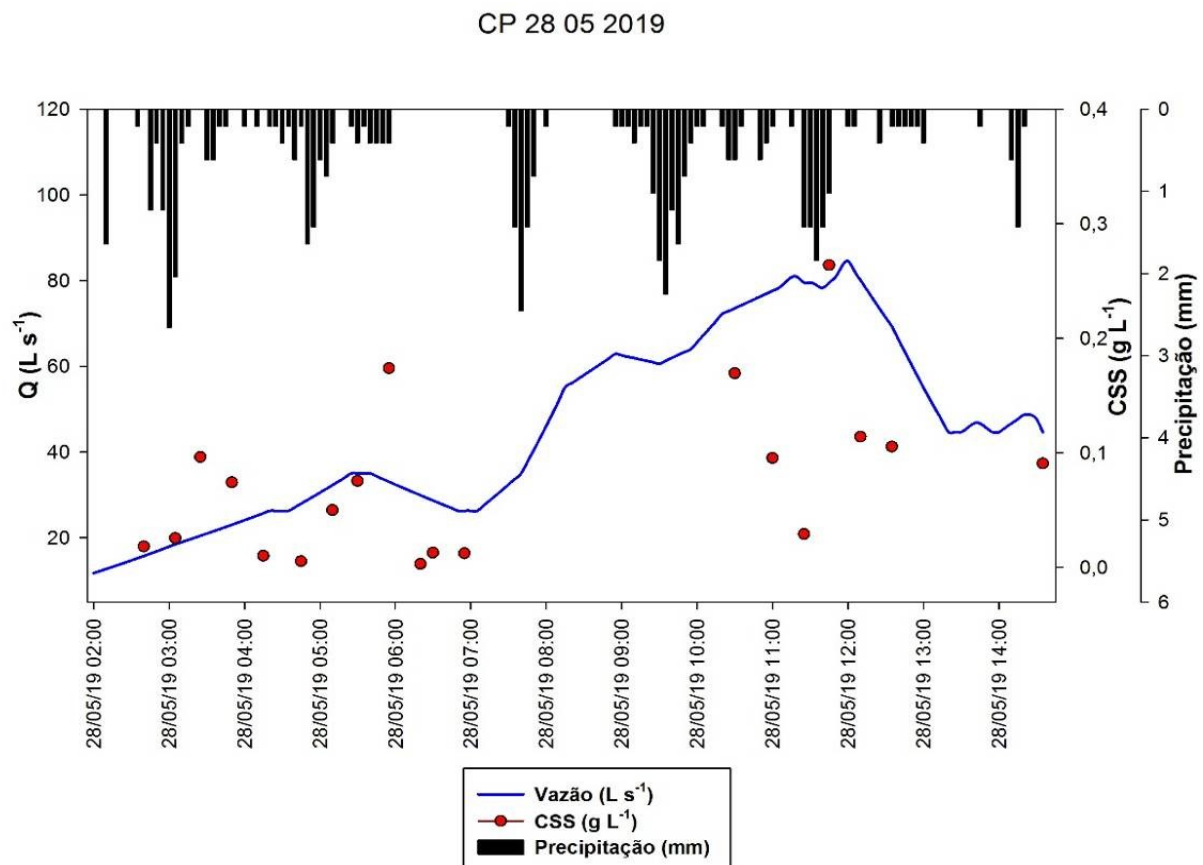
Alguns dos eventos apresentaram alto volume precipitado (Tabela 8), porém não geraram escoamento superficial e não alteraram significativamente a vazão mínima monitorada na calha Parshall. Esta situação ocorre devido a condição antecedente na bacia, com baixa

umidade do solo, longa duração do evento (baixa intensidade de precipitação), estes casos favorecem a infiltração da água no solo.

Por mais que diversos eventos pluviométricos não tenham sido significativos para coleta de dados, a equipe realiza o acompanhamento da previsão do tempo constantemente, avaliando algumas previsões como potenciais eventos de coleta, neste caso a equipe de campo se deslocou para a estação de monitoramento no exutório do rio, acompanhou o decorrer da chuva, porém sem aumento do escoamento significativo. Estes eventos estão destacados em itálico na Tabela 8.

O evento do dia 28/05/2019 (Figura 33), foi o primeiro monitorado após a instalação das estruturas. A chuva foi bem distribuída nas 12 horas de precipitação, apresentando quatro picos de intensidade mais elevados, que contribuíram significativamente para a elevação da vazão na calha. Nesta chuva foi acumulado um total de 53,8 mm na bacia, que possui uma área de 618.177,00 m<sup>2</sup>, totalizando um volume de 33.258,00 m<sup>3</sup> precipitado dentro dos limites da bacia.

**Figura 33** – Hietograma, hidrograma e sedimentograma de 28/05/2019 na calha Parshall. CSS: Concentração de sedimentos em suspensão.



Fonte: Fernando Battisti (2019).

A vazão apresentou um comportamento de pequena ascensão inicial, relacionado a baixa umidade do solo da bacia no início da chuva, devido ao processo de infiltração. Após o primeiro pico houve um período de ressecção da vazão, ocasionado pelo intervalo da precipitação. Após o retorno da chuva, o aumento da vazão foi mais significativo e obteve uma resposta mais rápida à precipitação, estando ligado a maior nível de umidade e saturação do solo da bacia. A vazão chegou ao seu pico próximo as 12:00 horas. Nas últimas três horas de chuva a intensidade foi menor, com períodos de estiagem, promovendo a estabilização e recessão da vazão.

O monitoramento contínuo da vazão possibilitou determinar que volume escoado durante o evento foi de 968,39 m<sup>3</sup> representando 2,91% da precipitação. Os 97,09% restante da precipitação ficou retido na bacia, infiltrando no solo, retido na vegetação e em áreas de amortização (banhados), represado em tanques e sendo absorvido pelas plantas.

A concentração de sedimentos foi monitorada pontualmente, pois neste evento o turbidímetro não estava em operação. As CSS estão bem dispersas, mostrando que sua variação é grande. No período deste evento boa parte da lavoura estava em situação de pousio, após a dessecação da cultura da aveia, e o solo estava com baixa quantidade de palha, favorecendo um maior impacto das gotas de água no solo e promovendo o selamento superficial e erosão.

Deve ser levado em consideração toda a faixa de vegetação nativa ao entorno do curso d'água, que compõe a uso mata. Esta faixa considerável de vegetação, composta de mata nativa do bioma mata atlântica, contribui na amortização do aporte de sedimentos no leito fluvial, pela camada orgânica na superfície, maior taxa de infiltração e por neste local haver áreas de amortização (banhados) que retém uma parte do escoamento.

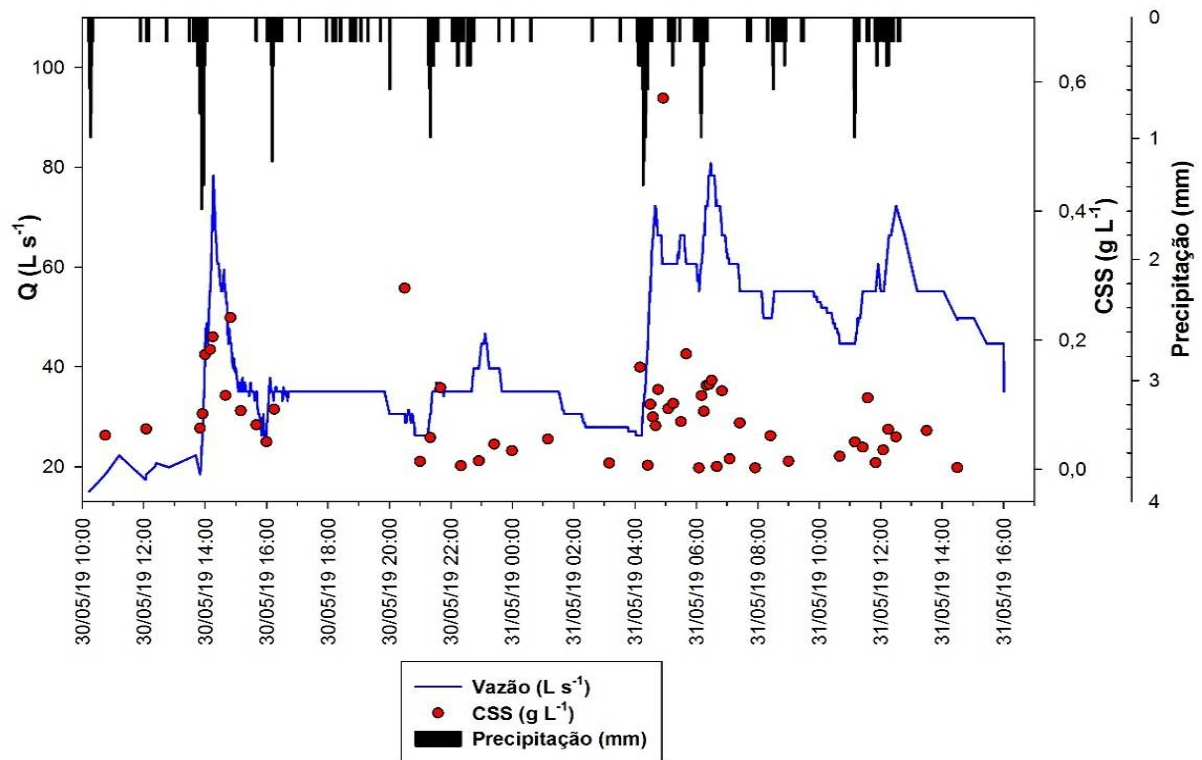
Mesmo após haver uma saturação destas áreas de amortização, apenas a redução da velocidade do fluxo de escoamento superficial ao se chocar com a camada de deposição orgânica da mata, faz com que uma parte do sedimento que está sendo carregado se deposite, reduzindo momentaneamente o aporte deste sedimento no canal fluvial.

A determinação da CSS em diversos momentos durante o evento, relacionando com a vazão, possibilitou integrar toda essa produção de sedimentos e gerar uma produção total no evento, totalizando uma perda de sedimentos de 220,46 kg em todo o evento.

Na sequência do primeiro evento, ocorreu novo volume de chuva, no dia 30/05/2019 (Figura 34), apenas 44 horas após o término do evento anterior. A precipitação total nesse evento, foi de 68,80 mm distribuídos em 26 horas. Estes 68,80 mm renderam um volume total precipitado de 42.530,58 m<sup>3</sup>, destes, o volume de 40.407,52 m<sup>3</sup> (95,01%) ficou retido na bacia, e 2.123,06 m<sup>3</sup> (4,99%) foi perdido por escoamento.

Neste segundo evento, o comportamento se apresentou diferente do primeiro, por haver umidade do solo inicial muito mais elevada. Por não contar com o sensor de nível, todas as leituras foram feitas visualmente na régua linimétrica da calha Parshall, tornando a linha representativa da vazão menos suavizada em seus movimentos, porém não alterando sua precisão.

**Figura 34** – Hietograma, hidrograma e sedimentograma de 30/05/2019 na calha Parshall.  
CP 30-05-2019



Fonte: Fernando Battisti (2019).

O primeiro pico de vazão ocorreu mais rápido, em relação ao primeiro evento coletado, isso se deu pela alta umidade do solo, proveniente da primeira chuva. Este evento apresentou um comportamento de maior tempo de duração e menor intensidade, apresentando quatro picos de precipitação que influenciaram consideravelmente a vazão e na CSS.

A resposta da vazão à precipitação no segundo e terceiro pico foi bem acentuada, mostrando que a partir deste momento a velocidade de infiltração na bacia já havia reduzido bastante. A CSS também mostrou elevação conforme ascensão da vazão, mostrando a capacidade transporte de sedimentos quando elevado a velocidade do fluxo. Neste evento houve uma produção de sedimentos de 370,27 kg.

## 5 CONCLUSÃO

Os eventos pluviométricos que geraram aumento do escoamento no exutório da bacia mostraram que menos de 5% do volume precipitado se transformou em vazão.

Os eventos pluviométricos do dia 28 e 30 de maio de 2019 geraram respectiva perda de 220,46 kg e 370,27 kg de sedimento carregados em suspensão junto a vazão do rio.

A bacia em estudo foi localizada 65% dentro da Universidade e 35% em propriedades particulares. Da área total, os principais manejos presentes correspondem a 49% de lavoura, 19% de pastagem e 16% de mata.

A distribuição das classes de declividade do solo da bacia hidrográfica, que apresenta 50,50% da área é classificada como suave-ondulado e 33,96% da área classificada como ondulado são características que favorecem a infiltração de água no solo, e juntamente com o coeficiente de compactidade que remete a uma bacia mais circular do que alongada, justifica a alta retenção de água na bacia em eventos de grande magnitude, gerando baixo índice de perda de água na forma de vazão no exutório.

A mata apresentou maior índice de condutividade hidráulica saturada dentre os usos avaliados, para a camada de 0-10 cm. Para as demais camadas houveram variações sendo que o menor valor numérico obtido foi sempre para as áreas de lavoura em todas as profundidades.

Para porosidade total as diferenças apenas ocorreram na camada de 0-10 cm com a área de grama se diferenciando da mata. Para a macroporosidade a área de mata se destacou em todas as profundidades enquanto para microporosidade as diferenças ocorreram apenas abaixo de 20 cm de profundidade.

A densidade do solo não se diferenciou entre tratamentos abaixo de 20 cm de profundidade, sendo que na superfície os valores da mata foram próximos de  $1 \text{ kg dm}^{-3}$  enquanto nos sistemas antropizados com lavoura e pastagem foram superiores a  $1,20 \text{ kg dm}^{-3}$ .



## 6 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Este projeto, com fins de levantamento de dados e estudo das variáveis físicas do solo e hidrológicas da bacia hidrográfica, trazendo uma ideia de caracterização da bacia, foi desenvolvido dentro do período disponível para realização de um mestrado. Porém, este estudo está interligado a um projeto em rede, desenvolvido em 06 regiões, abrangendo todo o estado do Paraná. Esta rede de projetos é intitulada “Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada – Redeagroparaná”.

Uma série de outros estudos e experimentos a campo estão sendo desenvolvidos dentro da bacia hidrográfica, juntamente com o que foi descrito nesta dissertação. O objetivo é acompanhar e monitorar todos estes experimentos a longo prazo, para que se tenha uma longa série de dados, criando uma maior robustez nos resultados apresentados, mostrando as variações em escala de tempo.

O levantamento topográfico de campo é uma ferramenta que proporciona o maior conhecimento do pesquisador na bacia hidrográfica, sendo possível identificar pontos críticos e observar a formação das áreas. Este conhecimento auxilia na compreensão da resposta hidrológica ao monitorar a vazão e CSS no exutório. A topografia, elaborada e representada graficamente em mapas proporciona maior precisão na retirada de informações do local onde se está estudando, possibilitando realizar cálculos e apontamentos sobre valores reais.

Em questão as características físicas do solo da bacia, as práticas conservacionistas devem ser mantidas, buscando aumentar sua eficiência e eficácia para aumento da infiltração e retenção de água no solo. Mesmo não abordando diretamente a fatores biológicos do solo, é de grande importância a manutenção e enriquecimento do agroecossistema com incremento de matéria orgânica e aumento de atividade biológica no solo, com fins de maior absorção de água.

O monitoramento hidrológico, para trazer dados relevantes, necessita de um acompanhamento a longo prazo, criando a robustez nos dados e possibilitando apontar causas para as variações do comportamento da vazão e CSS em diferentes situações.

Finalizando, pode-se afirmar que a continuidade deste estudo, juntamente com as outras 05 regiões do estado do Paraná é de grande importância para a melhor compreensão da hidrologia e dos processos associados, como erosão e redução de fertilidade dos solos, possibilitando levar informações confiáveis aos agricultores do estado do Paraná, e incentivando outros estados do Brasil a investir neste tipo de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Koppen 's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- AMADO, T. J. C.; ELTZ, F. L. Plantio direto na palha – rumo à sustentabilidade agrícola nos trópicos. **Revista Ciência e Ambiente**, v. 27, p. 49–66, 2003.
- BARROS, R. S. DE et al. Avaliação do modelo digital de elevação do SRTM na ortorretificação de imagens Landsat 7 – Área de aplicação: Angra dos Reis – RJ. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -SBSR**, p. 3997–4004, 2005.
- BERTOL, O. J. et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulco em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, n. 31, p. 781–792, 2007.
- BORGES, R. O. et al. Utilização De Drones De Pequeno Porte Como Alternativa De Baixo Custo Para Caracterização Topográfica Da Infraestrutura De Transportes No Brasil. p. 1–5, 2016.
- BORRELLI, P. et al. A step towards a holistic assessment of soil degradation in Europe: Coupling on-site erosion with sediment transfer and carbon fluxes. **Environmental Research**, v. 161, n. September 2017, p. 291–298, 2017.
- CABREIRA, M. A. F. **Levantamento de solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Dois Vizinhos**. [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.
- CAMARGO, D. C. S. DE. **Aplicabilidade do uso de veículos aéreo não tripulados no monitoramento e gestão de unidades de conservação: estudo de caso da estação ecológica do Taim – RS**. Porto Alegre - RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.
- CARVALHO, D. F. DE et al. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo , RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n. 1, p. 7–14, 2005.
- CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. DE; LLANILLO, R. F. **Plantio direto no Sul do Brasil : Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista**. 1. ed. Londrina: a, 2012.
- CAVIGLIONE, J. H. et al. **Espaçamento entre terraços em plantio direto**. Londrina: Cambridge University Press, 2010. v. 1
- COELHO, L. A. N. **Acurácia na determinação das coordenadas dos vértices de imóveis urbanos**. Presidente Prudente - SP: Universidade Estadual Paulista, 2013.
- DENARDIN, J. E. et al. **Manejo de enxurrada em sistema plantio direto**. 1. ed. Porto Alegre: a, 2005.
- EMBRAPA. **Reunião técnica de levantamento de solos**. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro-SNLCS, 1979.

FAO. **Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura**. Disponível em: <<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/901168/>>. Acesso em: 6 jul. 2019.

FEBRAPDP. **FEBRAPDP**. Disponível em: <<https://febrapdp.org.br/area-de-pd>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

FELGUEIRAS, C. A. Análises sobre modelos digitais de terreno em ambiente de sistemas de informações geográficas. **Dpi/Inpe**, p. 1–12, 1999.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores Físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. v. 1

GUGEL, R. F. et al. **Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de usos na bacia hidrográfica escola da UTFPR-DV**. XXII Sicit. **Anais...2017**

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basin: Hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 3, n. 63, p. 79–105, 1945.

IFSC. **Apostila Cartografia**. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/apostila-cartografia-4/4891662/>>. Acesso em: 21 jan. 2020.

INCRA. **Incra vai usar veículos aéreos não tripulados em ações de reforma agrária e regularização fundiária**. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/noticias/incra-vai-usar-veiculos-aereos-nao-tripulados-em-acoes-de-reforma-agraria-e-regularizacao>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

INMET. **INMET Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/page&page=anomaliaTempMediaAnual>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

ISAM/PUC, I. DE S. A. **Instituto das Águas do Paraná**. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/mp12.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2020.

LOMBARDI, N. F. **Terraceamento Agrícola**. Campinas: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Estado de São Paulo – Coordenadoria de Assistência técnica Integral, 1994.

LONDERO, A. L. **Perdas de água e sedimento de bacias pareadas de ordem zero sob plantio direto com e sem terraço**. Santa Maria - RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

LONDERO, A. L. et al. Impact of broad-based terraces on water and sediment losses in no-till (paired zero-order) catchments in southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 18, n. 3, p. 1159–1175, 2017.

MENDIONDO, E. M.; TUCCI, C. E. M. Escalas hidrológicas I: Conceitos. **Revista**

**Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 59–79, 1997a.

MENDIONDO, E. M.; TUCCI, C. E. M. Escalas hidrológicas II: Diversidade de Processos na Bacia Vertente. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 2, p. 21–44, 1997b.

MERTEN, G. H. et al. Implicações do uso e manejo do solo e das variações climáticas sobre os recursos hídricos. In: FILHO, O. K.; MAFRA, Á. L.; GATIBONI, L. C. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. 1. ed. Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2011. p. 308–365.

MERTEN, G. H. et al. **Determinação da concentração de sedimentos em suspensão em rios com o uso de turbidímetro**. 1. ed. Porto Alegre: CPRM E IPH - UFRGS, 2013.

MINELLA, J. P. G. et al. IDENTIFICAÇÃO E IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO DO SOLO DAS FONTES DE SEDIMENTOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, n. 1, p. 1637–1646, 2007.

MINELLA, J. P. G. et al. Processos e modelagem da erosão: da parcela à bacia hidrográfica. In: **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. p. 105–135.

MORAIS, L. F. B. et al. Índice EI30 e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, n. 3, p. 339–344, 1991.

OTAKE, V. S. **Produtos cartográficos gerados a partir de DRONES e aplicações na agricultura**. Maringá - PR: UNICESUMAR - Centro Universitario de Maringá, 2017.

PAIVA, J. B. D. DE; PAIVA, E. M. C. D. DE. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação Do Solo Em Sistemas Agropecuários E Florestais: Identificação, Efeitos, Limites Críticos E Mitigação. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 5, n. 5, p. 49–134, 2007.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo – protótipos e teste. **Ciencia Rural**, v. 36, n. 6, p. 1931–1935, 2006.

RUFINO, R. L. Terraceamento. In: **Manual Técnico do Programa de Manejo e Conservação do Solo**. 1. ed. Curitiba: IAPAR/Secretaria da Agricultura e do Abastecimento Paraná, 1994.

SEEBER, G. **Seeber Satellite Geodesy**. 01. ed. Berlin: Walter de Gruyter, 2003.

SILVA, A. M. DA et al. Erosividade da chuva e erodibilidade de cambissolo e latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1811–1820, 2009.

SILVA, M. L. N. et al. Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro em Goiânia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 1, p. 131–137, 1997.

SILVA, R. B. et al. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 973–983, 2003.

SUAREZ, A. F.; FILHO, B. S. S. Estudo da mudança de uso e cobertura do solo na bacia do Rio Formiga – MG. **Revista Brasileira de Cartografia**, p. 417–429, 2013.

SUZUKI, L. E. A. S. et al. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, n. 8, p. 1159–1167, 2007.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de Análise de solo**. 3. ed. Brasília - DF: Embrapa, 2017.

TEODORO, V. L. I. et al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, v. 20, p. 137–156, 2007.

TIECHER, T. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: contextualizando as atividades agropecuárias e os problemas erosivos**. Porto Alegre - RS: UFRGS, 2015.

TIECHER, T. et al. Phosphorus forms in sediments as indicators of anthropic pressures in an agricultural catchment in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1–17, 2017a.

TIECHER, T. et al. Soil fertility and nutrient budget after 23-years of different soil tillage systems and winter cover crops in a subtropical Oxisol. **Geoderma**, v. 308, n. August, p. 78–85, 2017b.

TIECHER, T. et al. Fingerprinting sediment sources in a large agricultural catchment under no-tillage in Southern Brazil (Conceição River). **Land Degradation and Development**, v. 29, n. 4, p. 939–951, 2018.

TOIGO, S. **Remediação mecânica e biológica da compactação inicial de um nitossolo vermelho cultivado com trigo**. Pato Branco - PR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, 2010.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e aplicação**. Terceira ed. Porto Alegre: ABRH, 2002.

VENTE, J. DE et al. Predicting soil erosion and sediment yield at regional scales: Where do we stand? **Earth-Science Reviews**, v. 127, p. 16–29, 2013.

VITTI, D. M. DE C. et al. Acurácia horizontal do mapeamento de um trecho da área de concessão da UHE de Bariri, SP com imagens de alta resolução coletadas com RPAS. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -SBSR**, p. 8, 2017.

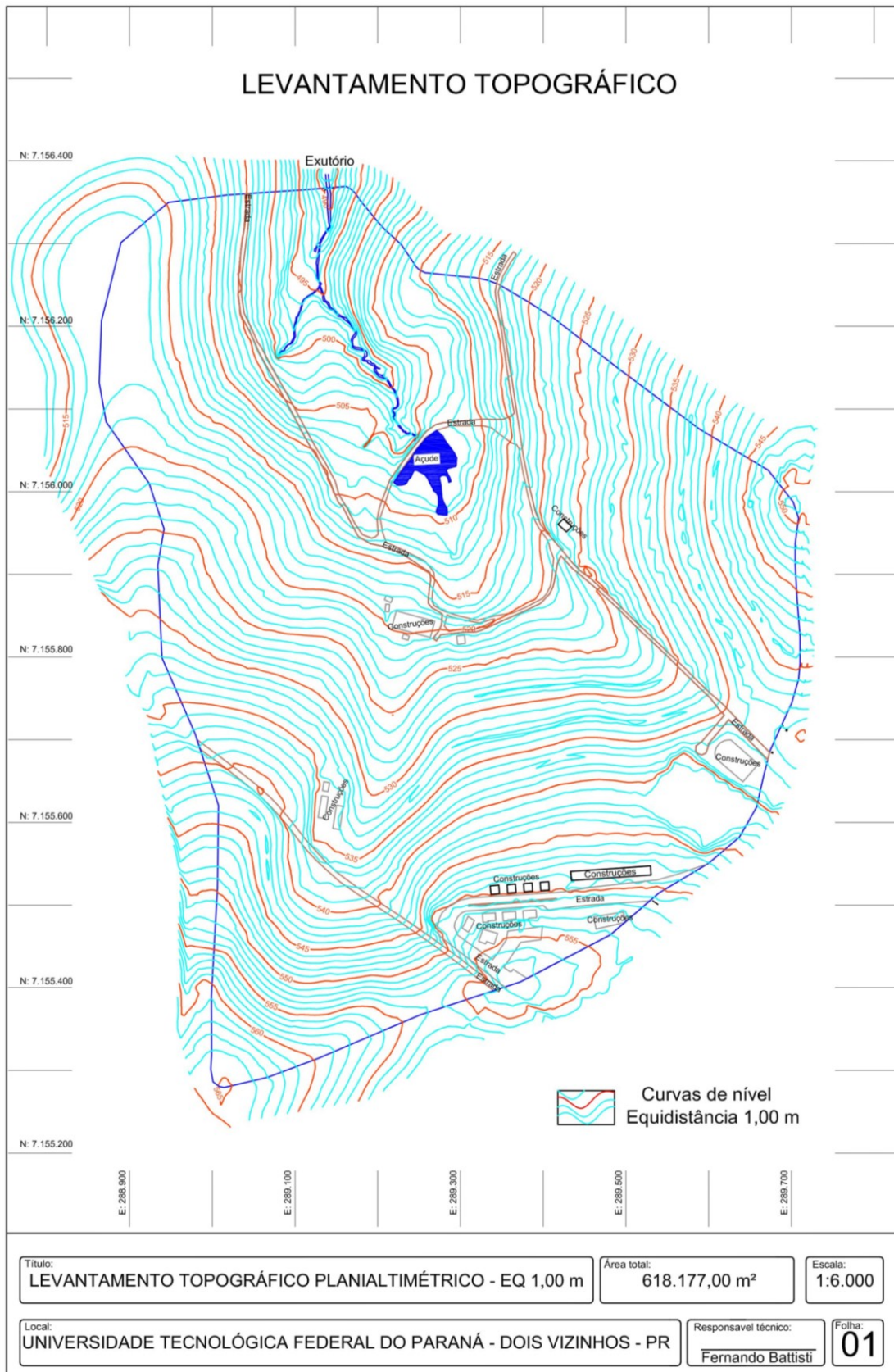
WALTRICK, P. C. et al. **Erosividade de Chuvas no Estado do Paraná: Atualização e Influência dos Eventos “El Niño” e “La Niña”**. 1. ed. Curitiba: SBCS-NEP, 2011.

WALTRICK, P. C. et al. Estimativa Da Erosividade De Chuvas No Estado Do Paraná Pelo Método Da Pluviometria: Atualização Com Dados De 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 1, p. 256–267, 2015.

WISCHMEIER, H. W.; SMITH, D. D. **Predicting Rainfall Erosion Losses: a guide to conservation**. Washington USA: United States Department of Agriculture, 1978.

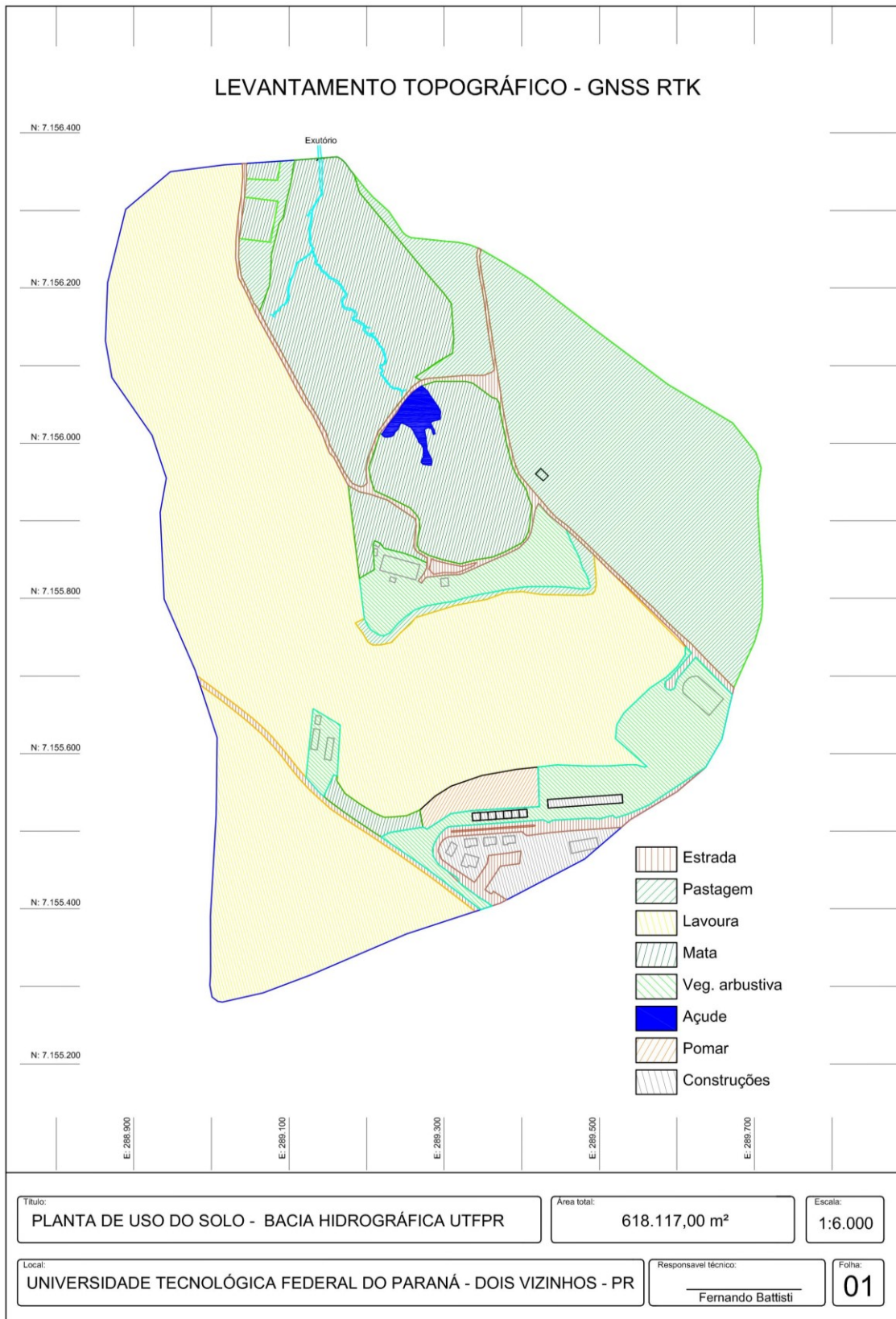
## APÊNDICES

APÊNDICE A – Levantamento topográfico planialtimétrico.

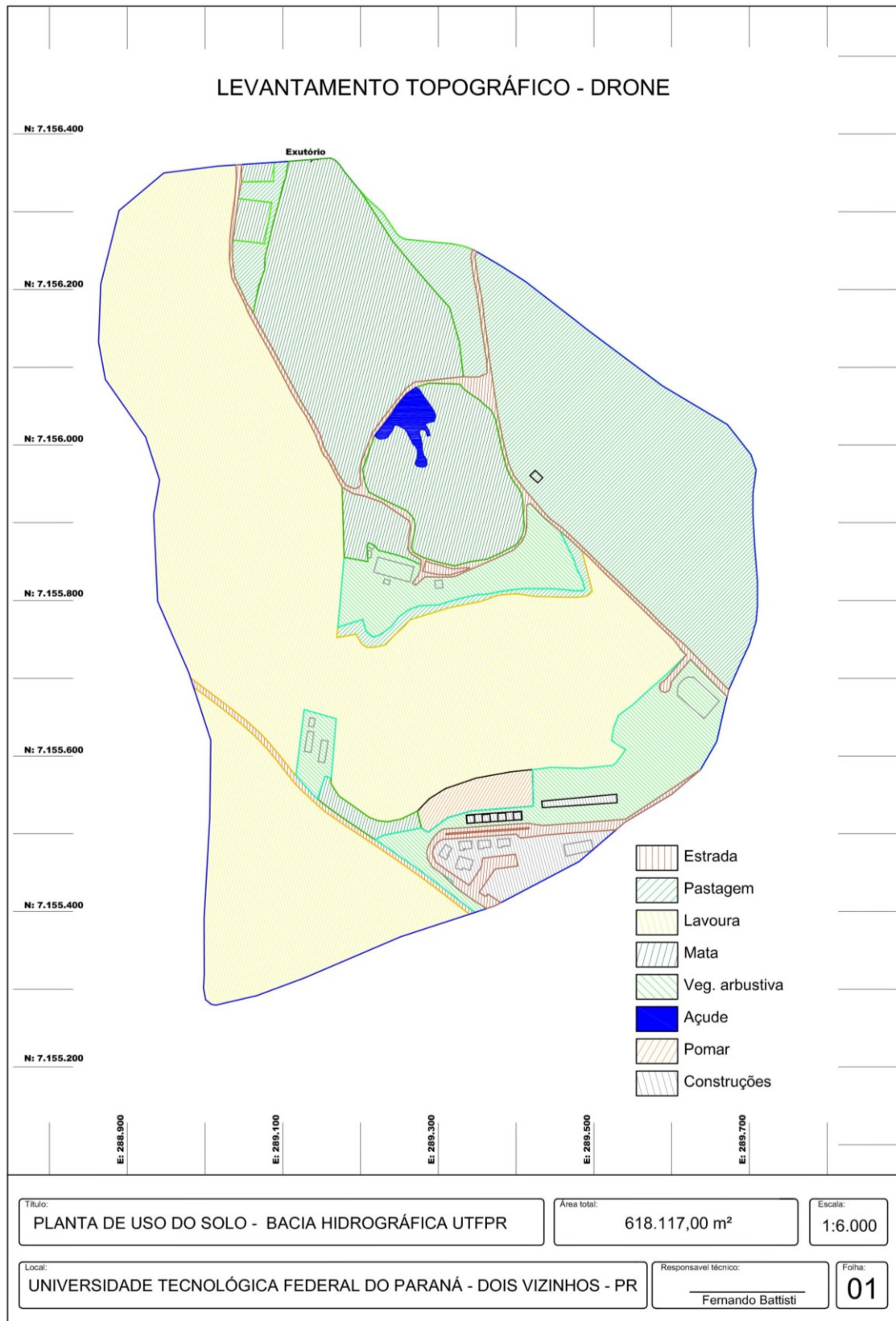




APÊNDICE B – Planta de uso do solo da bacia hidrográfica da UTFPR – GNSS RTK.



APÊNDICE C – Planta de uso do solo da bacia hidrográfica da UTFPR – Drone.



## APÊNDICE D – Condutividade hidráulica saturada.

Profundidade (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40
	cm h <sup>-1</sup>			
Ponto				
L 1	11,044	8,527	7,115	8,533
L 2	3,918	8,361	18,624	6,127
L 3	7,030	8,567	4,314	6,445
L 4	7,371	6,480	4,499	6,586
L 5	4,026	7,583	11,010	13,080
L 6	3,851	4,628	3,334	3,982
L 7	3,754	6,015	5,272	3,310
L 8	8,255	13,494	1,900	1,389
L 9	20,019	6,785	2,884	4,929
L 10	16,913	9,171	3,388	3,409
L 11	7,225	3,301	3,009	2,101
L 12	2,824	4,701	3,577	4,456
L 13	6,968	9,462	7,045	10,599
L 14	2,508	1,538	4,136	1,675
L 15	30,783	1,719	3,241	12,121
L 16	5,552	2,263	1,896	5,008
L 17	26,659	38,631	12,003	6,019
M 1	43,549	23,794	4,236	4,383
M 2	59,700	8,170	6,831	7,337
M 3	74,764	24,211	5,469	13,487
M 4	55,345	10,034	6,079	14,525
M 5	52,693	44,928	39,598	27,078
M 6	47,056	24,105	13,047	10,647
P 1	31,916	22,251	22,424	28,607
P 3	23,632	15,287	19,380	25,939
P 5	30,243	11,220	21,761	22,980
P 6	22,000	23,617	20,652	11,330
P 8	38,622	38,691	53,061	20,547
P 9	23,188	19,664	16,413	10,558
P 10	63,591	55,940	64,372	34,399
G1	18,873	12,838	8,469	29,736
G2	11,131	11,675	5,270	4,420
G3	39,667	15,152	5,068	5,814

L: Lavoura; M: mata; P: Pastagem e G: Grama.

Fonte: Grupo de pesquisa em manejo e conservação do solo (2018).

## APÊNDICE E – Porosidade total (PT).

Profundidade (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40
	m m <sup>-3</sup>			
Ponto				
L 1	0,638	0,593	0,670	0,664
L 2	0,629	0,618	0,706	0,686
L 3	0,609	0,620	0,648	0,645
L 4	0,681	0,629	0,638	0,681
L 5	0,619	0,640	0,666	0,725
L 6	0,628	0,596	0,606	0,597
L 7	0,611	0,591	0,547	0,595
L 8	0,602	0,571	0,591	0,585
L 9	0,616	0,588	0,545	0,575
L 10	0,622	0,578	0,585	0,617
L 11	0,622	0,562	0,576	0,597
L 12	0,583	0,581	0,573	0,583
L 13	0,687	0,616	0,603	0,678
L 14	0,613	0,577	0,615	0,631
L 15	0,591	0,605	0,659	0,658
L 16	0,628	0,599	0,578	0,602
L 17	0,714	0,653	0,639	0,712
M 1	0,645	0,627	0,622	0,580
M 2	0,700	0,594	0,610	0,594
M 3	0,553	0,558	0,562	0,569
M 4	0,706	0,666	0,648	0,685
M 5	0,722	0,722	0,701	0,707
M 6	0,797	0,704	0,760	0,756
P 1	0,690	0,643	0,659	0,649
P 3	0,609	0,587	0,610	0,604
P 5	0,603	0,593	0,613	0,621
P 6	0,654	0,650	0,626	0,613
P 8	0,604	0,591	0,622	0,642
P 9	0,591	0,573	0,600	0,622
P 10	0,638	0,617	0,634	0,641
G1	0,577	0,560	0,588	0,572
G2	0,612	0,623	0,588	0,655
G3	0,605	0,645	0,607	0,631

L: Lavoura; M: mata; P: Pastagem e G: Grama.

Fonte: Grupo de pesquisa em manejo e conservação do solo (2018).

## APÊNDICE F – Macroporosidade (Ma).

Profundidade (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40
	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			
Ponto				
L 1	0,195	0,152	0,208	0,222
L 2	0,148	0,154	0,224	0,216
L 3	0,162	0,171	0,178	0,170
L 4	0,234	0,174	0,173	0,205
L 5	0,160	0,191	0,215	0,248
L 6	0,175	0,139	0,143	0,155
L 7	0,149	0,165	0,109	0,129
L 8	0,158	0,202	0,122	0,127
L 9	0,191	0,154	0,111	0,108
L 10	0,178	0,135	0,127	0,163
L 11	0,205	0,127	0,129	0,124
L 12	0,117	0,167	0,125	0,154
L 13	0,198	0,202	0,175	0,247
L 14	0,144	0,115	0,142	0,130
L 15	0,166	0,148	0,193	0,199
L 16	0,164	0,138	0,119	0,151
L 17	0,249	0,206	0,178	0,250
M 1	0,255	0,237	0,220	0,198
M 2	0,211	0,164	0,144	0,161
M 3	0,235	0,185	0,177	0,157
M 4	0,307	0,222	0,221	0,274
M 5	0,396	0,329	0,279	0,296
M 6	0,296	0,200	0,273	0,276
P 1	0,209	0,212	0,161	0,167
P 3	0,155	0,116	0,146	0,117
P 5	0,144	0,132	0,135	0,145
P 6	0,178	0,213	0,139	0,099
P 8	0,155	0,122	0,124	0,141
P 9	0,120	0,109	0,096	0,130
P 10	0,183	0,152	0,140	0,141
G1	0,250	0,102	0,113	0,121
G2	0,141	0,156	0,148	0,144
G3	0,166	0,218	0,157	0,180

L: Lavoura; M: mata; P: Pastagem e G: Grama.

Fonte: Grupo de pesquisa em manejo e conservação do solo (2018).

## APÊNDICE G – Microporosidade (Mi).

Profundidade (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40
Ponto	$m^3 m^{-3}$			
L 1	0,443	0,441	0,462	0,441
L 2	0,481	0,464	0,482	0,470
L 3	0,447	0,449	0,471	0,475
L 4	0,447	0,455	0,465	0,476
L 5	0,458	0,449	0,451	0,477
L 6	0,453	0,457	0,463	0,442
L 7	0,462	0,426	0,438	0,466
L 8	0,444	0,369	0,469	0,459
L 9	0,425	0,434	0,434	0,466
L 10	0,443	0,443	0,457	0,454
L 11	0,417	0,435	0,447	0,473
L 12	0,465	0,414	0,449	0,428
L 13	0,489	0,414	0,428	0,432
L 14	0,469	0,462	0,473	0,501
L 15	0,425	0,456	0,466	0,459
L 16	0,463	0,460	0,459	0,451
L 17	0,465	0,447	0,462	0,462
M 1	0,390	0,391	0,402	0,381
M 2	0,488	0,430	0,466	0,432
M 3	0,318	0,373	0,385	0,412
M 4	0,399	0,445	0,427	0,411
M 5	0,325	0,392	0,422	0,411
M 6	0,502	0,504	0,486	0,480
P 1	0,481	0,431	0,497	0,482
P 3	0,454	0,471	0,465	0,488
P 5	0,459	0,461	0,478	0,476
P 6	0,476	0,437	0,487	0,513
P 8	0,449	0,469	0,499	0,501
P 9	0,471	0,464	0,504	0,492
P 10	0,456	0,465	0,494	0,500
G1	0,327	0,458	0,475	0,452
G2	0,471	0,467	0,440	0,511
G3	0,439	0,427	0,450	0,451

L: Lavoura; M: mata; P: Pastagem e G: Grama.

Fonte: Grupo de pesquisa em manejo e conservação do solo (2018).

## APÊNDICE H – Densidade do solo (DS),

Profundidade (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40
	kg dm <sup>-3</sup>			
Ponto				
L 1	1,141	1,157	1,099	1,017
L 2	1,270	1,245	1,236	1,174
L 3	1,243	1,303	1,312	1,225
L 4	1,165	1,193	1,169	1,171
L 5	1,311	1,297	1,213	0,934
L 6	1,223	1,368	1,303	1,260
L 7	1,325	1,418	1,373	1,249
L 8	1,216	1,124	1,258	1,199
L 9	1,129	1,269	1,234	1,228
L 10	1,091	1,179	1,231	1,105
L 11	1,129	1,359	1,271	1,235
L 12	1,389	1,303	1,328	1,259
L 13	1,350	1,325	1,331	1,144
L 14	1,302	1,337	1,186	1,188
L 15	1,245	1,279	1,141	1,122
L 16	1,185	1,290	1,245	1,123
L 17	1,249	1,262	1,216	1,128
M 1	1,024	1,140	1,304	1,364
M 2	0,900	1,315	1,102	1,191
M 3	0,961	1,324	1,408	1,367
M 4	0,758	0,961	0,961	0,889
M 5	0,785	0,816	0,935	0,870
M 6	0,667	0,780	0,731	0,784
P 1	1,181	1,105	1,208	1,131
P 3	1,257	1,279	1,190	1,228
P 5	1,203	1,269	1,201	1,140
P 6	1,218	1,201	1,184	1,242
P 8	1,202	1,231	1,176	1,152
P 9	1,232	1,243	1,180	1,096
P 10	1,165	1,150	1,189	1,163
G1	0,978	1,276	1,351	1,297
G2	1,147	1,134	1,206	1,195
G3	1,085	1,119	1,198	1,149

L: Lavoura; M: mata; P: Pastagem e G: Grama.

Fonte: Grupo de pesquisa em manejo e conservação do solo (2018).



APÊNDICE I – Fotografias: a) Início dos trabalhos de campo – b) remoção do vertedouro, limpeza do leito do rio e posicionamento de gabarito da calha Parshall – c) concretagem da calha Parshall no exutório da bacia – d) aula prática para alunos do curso de agronomia durante evento pluviométrico.





APÊNDICE J – Fotografias: a) Construção de gabiões para estabilização das margens do rio – b) liberação do fluxo de água no leito normal após instalação da calha Parshall e gabiões – c) finalização do aterro das laterais da calha e limpeza do canteiro de obras – d) instalação de equipamentos de monitoramento automático.



APÊNDICE K – IX Simpósio Brasileiro de educação em Solos – UTFPR Dois Vizinhos PR.

A) Demonstração de perda de solo com uso de simulador de chuva – b) atuação como comissão organizadora do evento – C) palestra para agricultores e técnicos sobre perda de solo e compactação. Maio de 2018,



APÊNDICE L – Fotografias: a) Curso de Hidrologia e monitoramento de pequenas bacias rurais – Modulo II –no IAPAR de Londrina PR. B) Foto com o coordenador estadual da rede de Agropesquisa Professor André Pellegrini e com o consultor internacional da rede, Professor Gustavo Henrique Merten. Maio de 2018.





APÊNDICE M – IV Seminar on Catchment Monitoring and Assessment of Southern Cone –  
III Forum of Geo-Bio-Hidrology em Santa Maria RS. Novembro de 2018.



APÊNDICE N – Visita técnica dos membros da Rede de Agropesquisa a bacia hidrográfica monitorada pelo grupo de pesquisas em Ciência do Solo da UFSM de Santa Maria na cidade de Arvorezinha RS em novembro de 2018.



APÊNDICE O – Curso de monitoramento hidrológico de pequenas bacias rurais ministrado pelo consultor da rede, professor Jean Paolo Gomes Minella, – IAPAR Londrina PR – dezembro de 2018.



APÊNDICE P – Curso de monitoramento de pequenas bacias rurais – Módulo III, UTFPR de Dois Vizinhos PR. Junho de 2019.



**ANEXOS**



## ANEXO A – Relatório de estação geodésica do IBGE.



## Relatório de Estação Geodésica

Estação :	96153	Nome da Estação :	96153	Tipo :	Estação GPS
Município :	DOIS VIZINHOS			UF :	PR
Última Visita:	11/08/2010	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	RN : 1726F				

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	25 ° 44 ' 59,43901 " S	Altitude Ortométrica(m)	511,4725	Gravidade(mGal)	
Longitude	53 ° 03 ' 12,88386 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	
Altitude Geométrica(m)	514,300	Sigma Altitude(m)	0,06	Data Medição	
Fonte	GPS Geodésico	Datum	Imbituba	Data Cálculo	
Origem	Ajustada	Data Medição	18/02/1981		
Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Medição	11/08/2010				
Data Cálculo	22/09/2010				
Sigma Latitude(m)	0,003				
Sigma Longitude(m)	0,003				
Sigma Altitude Geométrica(m)	0,019				
UTM(N)	7.150.414,742				
UTM(E)	294.021,657				
MC	-51				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em [ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel\\_sirgas2000.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf)
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo\\_geoidal.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm)
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

## Localização

Na base de um pequeno monumento que sustenta uma placa memorial, ao lado da entrada principal do prédio da Prefeitura Municipal, Avenida Rio Grande do Sul, com a Travessa cinco, Dois Vizinhos, PR.

## Descrição

Chapa padrão IBGE.

Foto(s)



## ANEXO B – Norma de execução INCRA.

PUBLICAÇÃO EM BOLETIM DE SERVIÇO  
 BS Nº 08 DE 19 / 02 / 2018  
 Christiane Amorim  
 ASSINATURA

**NORMA DE EXECUÇÃO INCRA/DF/ Nº 02 DE 19, DE FEVEREIRO DE 2018.**

(Publicada no Boletim de Serviço nº 08, de 19 de fevereiro de 2018).

Estabelece critérios para aplicação e avaliação de produtos gerados a partir de aerofotogrametria para determinação de coordenadas de vértices definidores de limites de imóveis rurais em atendimento ao parágrafo 3º do artigo 176 da Lei Nº 6.015

**O DIRETOR DE ORDENAMENTO DA ESTRUTURA FUNDIÁRIA - DF**, no uso das atribuições que lhe são conferidas pelo inciso VII do art. 21, da Estrutura Regimental aprovada pelo Decreto nº 6.812, de 3 de abril de 2009, e inciso VII, do art. 122, do Regimento Interno, aprovado pela Portaria/MDA/Nº 20, de 8 de abril de 2009, e

**CONSIDERANDO** o parágrafo 3º do artigo 176 da Lei Nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, que estabelece ao INCRA a competência para definir a precisão posicional das coordenadas dos vértices definidores dos limites dos imóveis rurais;

**CONSIDERANDO** o parágrafo 5º do artigo 176 da Lei Nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, incluído pela Lei Nº 11.952, 25 de junho de 2009, que atribui ao INCRA a responsabilidade de certificar que a poligonal objeto do memorial descritivo não se sobrepõe a nenhuma outra constante de seu cadastro georreferenciado e que o memorial atende às exigências técnicas, conforme ato normativo próprio;

**CONSIDERANDO** a necessidade de sistematizar os procedimentos técnicos a serem adotados pelos profissionais credenciados junto ao Inbra para certificação de imóveis rurais;

**CONSIDERANDO** o relatório técnico elaborado pelo grupo de trabalho, instituído pela Ordem de Serviço INCRA/DF/Nº16/2016, que atestou a qualidade posicional dos produtos cartográficos elaborados a partir de aerofotogrametria por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) e apresentou proposta de alteração dos normativos de georreferenciamento e certificação de imóveis rurais;

**CONSIDERANDO** a instituição do grupo de trabalho criado pela Ordem de Serviço/INCRA/DF/Nº 01/2018;

**CONSIDERANDO** que foi aprovada pelos membros do Comitê Nacional de Certificação – CNC.

**RESOLVE:**

Art. 1º Estabelecer que deverá recolher Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) específica, quando utilizar aerofotogrametria nos serviços de georreferenciamento.

✓

Art. 2º Estabelecer que os produtos obtidos por aerofotogrametria somente poderão ser utilizados nos serviços de georreferenciamento de imóveis rurais quando as feições definidoras dos limites forem foto identificáveis.

Art. 3º Estabelecer que o Ground Sample Distance (GSD) deverá ser compatível com a feição a ser identificada.

Art. 4º Estabelecer que devem ser respeitadas a precisão do tipo de limite e as exigências definidas no item 7.2 do Manual Técnico de Posicionamento.

Art. 5º Estabelecer que ao se utilizar aerofotogrametria, para fins de georreferenciamento de imóveis rurais, deverá ser realizada a avaliação da acurácia posicional absoluta, obedecendo aos seguintes critérios:

I – Utilização de no mínimo vinte pontos de checagem/verificação, os quais deverão ser devidamente sinalizados/identificados em campo;

II – Teste estatístico que comprove a normalidade das discrepâncias posicionais planimétricas ao nível de confiança de 95%, utilizando o método de Shapiro-Wilk;

III – Teste de tendência ao nível de 90%, utilizando-se o teste t-student, que comprove a não tendenciosidade;

IV – 100% das discrepâncias posicionais serem menores ou iguais à precisão posicional correspondente a cada tipo de limite (vide item 7.2 do Manual de Técnico Posicionamento);

Art. 6º Determinar que ao utilizar aerofotogrametria, para fins de georreferenciamento de imóveis rurais, deverão ser arquivados e mantidos, pelo responsável técnico, os seguintes materiais:

I – Relatório de processamento do levantamento aéreo bem como, os relatórios de processamento e ajustamento dos pontos de controle utilizados;

II – Relatório de controle de qualidade posicional (avaliação da acurácia posicional absoluta);


III – Imagens aéreas ortorretificadas;

IV – Licença, habilitação e homologação, o que couber, das agências e órgãos reguladores.

Art. 7º Definir que para os vértices cujas coordenadas foram determinadas por aerofotogrametria, os valores de precisão posicional devem ser preenchidos com os valores de root mean square (RMS) obtidos no processo de avaliação da acurácia posicional.

Art. 8º Manter a restrição de aplicação de aerofotogrametria para determinação de vértices tipo “M” e permitir que seja utilizada para determinação de vértices em limites por cerca e vértices referentes a mudanças de confrontação.

Art. 9º Esta Norma de Execução entrará em vigor na data de sua publicação.

  
**Rogério Papalardo Arantes**  
**Diretor de Ordenamento da Estrutura Fundiária**  
**Decreto CCPR, de 29/06/2016**