Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Caracterização hidrossedimentológica e sua relação com o índice de qualidade participativo do plantio direto, na bacia do Alto Paranapanema-SP

Alexandre Ortega Gonçalves

Tese apresentada para obtenção do título Doutor em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2019

Alexandre Ortega Gonçalves
Engenheiro Agrônomo

Caracterização hidrossedimentológica e sua relação com o índice de qualidade participativo do plantio direto, na bacia do Alto Paranapanema

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **FÁBIO RICARDO MARIN**

Tese apresentada para obtenção do título Doutor em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Gonçalves, Alexandre Ortega

Caracterização hidrossedimentológica e sua relação com o índice de qualidade participativo do plantio direto, na bacia do Alto Paranapanema / Alexandre Ortega Gonçalves. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

129 p.

Tese (Doutorado)- - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Vazão 2. Erosão 3. Sedimento 4. Monitoramento I. Título

DEDICATÓRIA

À minha esposa guerreira, amiga e companheira Maria Carolina Garavazo Andrade Ortega Gonçalves que tanto apoiou para este dia acontecer.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e oportunidades; pelas portas abertas e fechadas; pelos erros e acertos.

À Universidade de São Paulo e à gloriosa Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” por darem as boas-vindas de volta.

Ao Prof. Fábio Ricardo Marin, exemplo de determinação e estrito censo científico, pelo aceite na orientação e confiança.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Biossistemas, em especial Felipe Pilau, Sergio Nascimento Duarte, Jarbas Honório, Paulo Leonel Libardi, pelos ensinamentos, mostrando que o que mais cresce ao ser dividido é o conhecimento!

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Centro Nacional de Pesquisas de Solos (CNPS), pela liberação integral para desenvolvimento das atividades e pelo aporte de recurso material e financeiro.

Aos(as) amigos(as) Wenceslau Teixeira (É nois Queiroz!), Raquel Bardy Prado, Elaine Cristina Fidalgo pelo incentivo, apoio: Chegou a sua (minha) vez!

À Itaipu Binacional pelo aporte de recursos financeiros e ao líder do projeto na Embrapa Solos, Dr. Luis Carlos Hernani, pelos aconselhamentos durante o curso.

Aos meus nobres amigos e companheiros de campo da Embrapa Solos, Adoildo da Silva Melo, e da Embrapa Meio Ambiente, Paulo Rossi, pelo apoio na logísta, montagem dos equipamentos, condução dos trabalhos de campo e pelas infindáveis conversas ao longo das campanhas.

À Associação do Sudoeste Paulista de Irrigação e Plantio na Palha (ASPIPP), em nome de sua diretora executiva Priscila Silvério Sleutjes e equipe, pelo apoio na logística e instalação dos equipamentos de campo.

Aos proprietários e gerentes das fazendas pela parceria e abertura de suas porteiras aos nossos estudos e aos funcionários envolvidos no monitoramento.

À PREANET (Valeu, Marcinho!) pela viabilização e fornecimento de sinal de internet nas estações de monitoramento.

Aos colegas do GEPEMA/AGRIMET, pela convivência e troca de experiências durante o curso e aos técnicos e assistentes do Depto de Engª de Biossistemas, em especial ao Áureo Santana de Oliveira (O cara manja!), que sempre que preciso estiveram prontos a ajudar.

E por último, mas não menos importante, ao Jorge, meu mascote, pela companhia.

EPÍGRAFE

"Desculpe estou um pouco atrasado

Mas espero que ainda dê tempo

De dizer que andei errado

E eu entendo..."

Nando Reis – "Por onde andei"

"Toda sabedoria vem do Senhor Deus. Ela esteve e está sempre com Ele.

Quem pode contar a areia do mar, as gotas de chuva, os dias do tempo?" (Eclo 1,1-2)

SUMÁRIO

RESUMO....8
ABSTRACT....9
LISTA DE FIGURAS....10
LISTA DE TABELAS....13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS....14
LISTA DE SÍMBOLOS....15
1. INTRODUÇÃO....17
2. HIPÓTESES E OBJETIVOS....19
3. REVISÃO DE LITERATURA....21
3.1. Aumento populacional versus degradação das terras....21
3.2. Serviços do ecossistema....22
3.3. Indicador de desempenho ambiental....23
3.4. Hidrossedimentologia....30
3.5. Condutividade elétrica da água....33
3.6. Uso do solo e a erosão hídrica....34
3.7. Índices de vegetação....36
3.8. Hidrologia....37
3.9. Sistema plantio direto na palha....38
3.10. Indicadores de qualidade de manejo de solo....40
4. MATERIAL E MÉTODOS....43
4.1. Caracterização da área de estudo....43
4.1.1. Localização da área experimental....43
4.1.2. Critérios de seleção das microbacias....44
4.1.3. Padrão geométrico das microbacias....44
4.1.4. Clima....45
4.1.5. Hidrografia....46
4.1.6. Uso e cobertura vegetal....48
4.1.7. Caracterização agrícola....49
4.1.8. Determinação do IQP nas microbacias....51
4.1.9. Variáveis monitoradas nas microbacias....52
4.2. Estações de monitoramento (EHS)....52
4.2.1. Monitoramento da vazão nos cursos d'água....53
4.2.2. Monitoramento da turbidez e concentração de sólidos em suspensão....57
4.2.3. Monitoramento da precipitação pluvial....60

4.2.4. Monitoramento do conteúdo de água no solo 60
4.2.5. Monitoramento da condutividade elétrica da água 61
4.2.6. Manutenção dos sensores 61
4.3. Cálculo dos Índices β e IDE 61
4.4. Índice de vegetação 62
5. RESULTADOS 63
5.1. Precipitação pluvial 63
5.2. Nível e vazão de água 67
5.3. Condutividade elétrica do solo e da água 71
5.4. Conteúdo de água no solo 73
5.5. Índice de dissipação de erosividade (IDE) 75
5.6. Eventos selecionados de precipitação pluvial 80
5.7. Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto (IQP) 84
6. DISCUSSÃO 87
6.1. Precipitação pluvial 87
6.2. Conteúdo de água no solo 88
6.3. Nível e vazão 88
6.4. Turbidez e sedimentos e condutividade elétrica 90
6.5. IDE e NDVI 92
6.6. IDE e IQP 94
7. CONCLUSÕES 97
REFERÊNCIAS 99
ANEXOS 117

RESUMO

Caracterização hidrossedimentológica e sua relação com o índice de qualidade participativo do plantio direto, na bacia do Alto Paranapanema-SP

Em 2017, lavouras de cereais, fibras e oleaginosas no Brasil ocuparam 61 milhões de hectares, destes 90% correspondeu a arroz, milho e soja. Ao considerar que cerca de 90% da soja cultiva-se sob Sistema Plantio Direto (SPD) e sendo o milho safrinha a cultura sequencial, verifica-se que aproximadamente 65% da área no dito SPD não recebe cobertura vegetal por até oito meses/ano ocorrendo perdas continuadas de solo e água. Diante desta problemática, desenvolveu-se metodologia participativa, denominada "Índice de Qualidade Participativa do Sistema Plantio Direto" (IQP) para qualificar o SPD adotado pelo produtor rural. Contudo, o IQP parte de autoavaliação, a fim de verificar-se a qualidade ambiental do processo da produção agrícola da propriedade: Este aspecto pode representar uma fragilidade visto que pode induzir a vieses no processo, e distorção da realidade ambiental. Contudo, se o IQP for válido, seria um excelente instrumento pois não necessita de grande instrumental de medição para se obter resultados condizentes com o controle da produção de sedimentos. Partindo da hipótese de que, índices de qualidade do manejo agrícola em SPD são capazes de indicar o nível de qualidade e conservação ambiental, especialmente, do solo e da água, o objetivo desta pesquisa foi caracterizar, com base em indicadores hidrossedimentológicos, o ambiente de duas microbacias pareadas de primeira ordem com predominância de agricultura irrigada, e na sequência, com base nos indicadores gerados, analisá-los em comparação com o IQP obtido na literatura, para confrontar com a percepção que os proprietários possuem sobre suas terras e plantios. Selecionou-se duas microbacias em Itaí (SP), ITA-1 (74 ha) e ITA2 (47 ha) cujo solo predominante é classificado como latossolo vermelho Distrófico típico de textura argilosa a muito argilosa. Nelas prevalecem cultivos de milho, soja, trigo, feijão e algodão, em sua maioria, sob irrigação por pivô central. Estações automáticas para monitorar chuva e vazão, e estimar a concentração de solidos em suspensão no curso d'água das microbacias e calcular a dissipação da erosividade das chuvas (IDE), coletaram dados entre outubro/2017 a janeiro/2019. Foram contabilizados 139 eventos de chuva em ITA-1, e 167 em ITA-2, contudo considerou-se apenas eventos com intensidade superior a 10 mm h^{-1} (61 – ITA-1, e 49 em ITA-2). A vazão média nas microbacias foi 5,8 e 8,7 L s^{-1}, respectivamente em ITA-1 e ITA-2. O índice hidrossedimentológico IDE resultou em 0,787 (ITA-1) e 0,884 (ITA-2). O índice participativo IQP com base em dados da literatura resultou em 5,62 (ITA-1) e 6,89 (ITA-2). Com base nos indicadores hidrossedimentológicos, o ambiente agrícola presente em ITA-2 foi mais eficiente no controle das perdas de solo e água e manutenção da vazão de água nos pontos monitorados do que em ITA-1. Os índices IDE e IQP se relacionaram diretamente no presente estudo de caso, mostrando que quanto maior o IQP maior foi o IDE e vice-versa e representam o desempenho ambiental do padrão de manejo agrícola no âmbito de microbacias hidrográficas.

Palavras-chave: Vazão, Erosão, Sedimento, Monitoramento

ABSTRACT

Hydro-sedimentological characterization related to a participatory quality index (IQP) at Alto Paranapanema basin, São Paulo state, Brazil

In 2017, cereal, fibre and oleaginous crops in Brazil occupied 61 million hectares, of which 90% corresponded to rice, maize and soybeans crops. Because about 90% of the soybean is cultivated under no tillage (SPD) and maize is the off-season crop, approximately 65% of the SPD area remains uncovered by vegetation for up to eight months a year, leading to continuous losses of soil and water. In the face of this problem, a participatory methodology was developed (participatory quality index - IQP) to qualify the SPD deployment by farmer. However, IQP is a self-assessment-based method to check the environmental quality of agricultural way of production on the farm. This aspect can represent a fragility because it can induce biases in the process and distortion out of environmental reality. However, if the IQP is valid, it would be an excellent tool because it does not require big amount of measuring instruments to obtain results related to sediment production control. Based on the hypothesis that the quality indices of agricultural management on SPD are capable to indicate both the level of quality and environmental conservation, especially of soil and water, the objective of this research was to characterise, based on the hydrosedimentological variables, the environment of two first-order drainage basin where they predominate the irrigated agriculture, and then, based on the indicators generated, to relate to IQP values obtained from the literature to crosscheck with the farmers' perceptions about their lands and plantations. A pair of catchment areas in Itaí-SP was chosen, identified as ITA-1 (74 ha) and ITA2 (47 ha), which presents the predominant soil classified as typical red clay latosol clayey to very clayey texture. On them, crops of maize, soybean, wheat, common beans and cotton predominate were under central pivot irrigation. The automatic environmental stations (EHS) to monitor rainfall and water flow (by "H" flume), and to estimate the suspended solid concentration of the watershed stream to calculate the dissipation of rainfall erosivity index (IDE), collected data from October, 2017 to January, 2019. A total of 139 rainfall events were recorded in ITA-1 and 167 were recorded in ITA-2, but those only higher than 10 mm h^{-1} (61 in ITA-1, and 49 in ITA-2) were considered. The average water flow was 5.8 and 8.7 L s^{-1} in ITA-1 and ITA-2, respectively. The hydrosedimentological index (IDE) resulted in 0.787 (ITA-1) and 0.884 (ITA-2). The participatory index (IQP) based on the literature primary data resulted in 5.62 (ITA-1) and 6.89 (ITA-2). Based on the hydrosedimentological indicators, it was observed that the agricultural environment present in ITA-2 was more efficient to control soil and water losses and maintain water flow than in ITA-1. The IDE and IQP indexes showed positive correlation in the present case study, indicating that the higher the IQP, the greater the IDE and vice versa, and that can represent the standard of agricultural management in the scope of hydrographic basins.

Keywords: No tillage, Cotton, Soybean, Maize, Fiberglass "H" flume, Erosion, Turbidity

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (Micro)bacia hidrográfica como sistema aberto, e sedimentos na foz como trabalho que o sistema realiza sobre o meio. 24
Figura 2: Relação entre coeficientes de efetividade energética (β) e desempenho ambiental no controle da produção de sedimentos. 29
Figura 3: Localização das estações de monitoramento. 43
Figura 4: Delimitação das microbacias. 45
Figura 5: Extrato do balanço hídrico climatológico para o município de Itaí (SP). 46
Figura 6: Hidrografia do município de Itaí (SP). 47
Figura 7: Distribuição temporal das culturas implantadas em ITA-1 e ITA-2 50
Figura 8: Ponto de monitoramento de vazão em ITA-1 e ITA-2 54
Figura 9: Montagem da calha “H” no ponto de monitoramento ITA-1 55
Figura 10: Montagem da calha “H” no ponto de monitoramento ITA-2 55
Figura 11: Posicionamento de sensores em ITA-1 56
Figura 12: Posicionamento de sensores em ITA-2. 56
Figura 13: Sensor de turbidez OBS 3+ utilizado nas EHS 57
Figura 14: Instrumental utilizado na construção de curva turbidez (NTU) x Concentração de sólidos em suspensão (CSS) 58
Figura 15: Curvas de calibração de turbidez (NTU) x [CSS] em ITA-1 e ITA-2 59
Figura 16: Precipitação pluvial registrada nas áreas monitoradas e no entorno. 63
Figura 17: Correlação entre a precipitação pluvial mensal total, diária (b), horária concomitante (c) e (d) diária não concomitante nas MBHs ITA-1 e ITA-2. 64
Figura 18: Correlação entre chuvas com intensidade horária superior a 10 mm nas MBHs ITA-1 e ITA-2 durante o monitoramento. 65
Figura 19: Correlação entre a máxima precipitação pluvial mensal registrada em 5 minutos em ambas microbacias durante o período de monitoramento. 66
Figura 20: Histograma de eventos de precipitação pluvial em ITA-1 e ITA-2 67
Figura 21: Altura média da lâmina de água (NIVEL_AVG) e precipitação pluvial (CHUVA) em ITA-1 ao longo do período de monitoramento. 69
Figura 22: Altura média da lâmina de água (NIVEL_AVG) e precipitação pluvial (CHUVA) em ITA-2 ao longo do período de monitoramento. 69
Figura 23: Diagrama de caixa da lâmina de água em ITA-1 ao longo do período de monitoramento. 70

Figura 24: Diagrama de caixa da lâmina de água em ITA-2 ao longo do período de monitoramento. 70
Figura 25: Diagrama de caixa da condutividade elétrica aparente do solo (CE_SOLO) e da água (CE_T_AGUA) em ITA-1 ao longo do período de monitoramento. 72
Figura 26: Diagrama de caixa da condutividade elétrica do solo (CE_SOLO) e da água (CE_T_AGUA) em ITA-2 ao longo do período de monitoramento. 72
Figura 27: Variação mensal da média do conteúdo de água no solo e do total de precipitação pluvial em ITA-1 e ITA-2 73
Figura 28: Diagrama de caixa do conteúdo de água no solo em ITA-1 ao longo do período de monitoramento. 75
Figura 29: Diagrama de caixa do conteúdo de água no solo em ITA-2 ao longo do período de monitoramento. 75
Figura 30: Diagrama de caixa do índice de dissipação de erosividade (IDE) em ITA-1 ao longo do período de monitoramento. 76
Figura 31: Diagrama de caixa do índice de dissipação de energia (IDE) em ITA-2 ao longo do período de monitoramento. 76
Figura 32: Variação do índice de dissipação de erosividade (IDE_AVG) em relação ao índice de vegetação (NDVI_AVG) em ITA-1 78
Figura 33: Variação do índice de dissipação de erosividade (IDE_AVG) em relação ao índice de vegetação (NDVI_AVG) em ITA-2. 78
Figura 34: Diagrama de caixa da [CSS] máxima na água nas MBHs ITA-1 e ITA-2 ao longo do período de monitoramento. 79
Figura 35: Precipitação pluvial (CHUVA), nível de água (NIVEL_AVG), condutividade elétrica da água (CE_T_AGUA), concentração de sólidos em suspensão ([CSS]) e conteúdo de água no solo (VWC_SOLO), durante o evento “1” na EHS ITA-1 82
Figura 36: Precipitação pluvial (CHUVA), nível de água (NIVEL_AVG), condutividade elétrica da água (CE_T_AGUA), concentração de sólidos em suspensão ([CSS]) e conteúdo de água no solo (VWC_SOLO), durante o evento “2” na EHS ITA-1 82
Figura 37: Precipitação pluvial (CHUVA), nível de água (NIVEL_AVG), condutividade elétrica da água (CE_T_AGUA), concentração de sólidos em suspensão ([CSS]) e conteúdo de água no solo (VWC_SOLO), durante o evento “1” na EHS ITA-2 83
Figura 38: Precipitação pluvial (CHUVA), nível de água (NIVEL_AVG), condutividade elétrica da água (CE_T_AGUA), concentração de sólidos em suspensão ([CSS]) e conteúdo de água no solo (VWC_SOLO), durante o evento “2” na EHS ITA-2 83
Figura 39: Cobertura vegetal do município de Itaí (SP). 118
Figura 40: Leitura das réguas de vazão (L s^{-1}) nas calhas “H” em ITA-1 e em ITA-2. 119

Figura 41: Sensor de conteúdo de água no solo em ITA-1. Em (A) se tem condição em que o sensor fora soterrado por solo proveniente da parte superior da topossequência; em (B) e (C – detalhe) se tem solo removido de sobre o sensor. 119
Figura 42: Presença de escoamento superficial na EHS ITA-2 (A) - em área cultivada com algodão; e em (A) “palhada” da cultura anterior (trigo) carreada da lavoura. 120
Figura 43: Área cultivada com algodão em ITA-1: Em (A) panorama da área e em (B) detalhe da cobertura do solo com “palhada” da cultura anterior – trigo. 121
Figura 44: Entrada de água oriunda do escoamento da estrada de acesso em ITA-1. Em (A) e (B) detalhe da entrada da água na lavoura, em (C), (D) e (E) material transportado que atingiu o ponto de monitoramento. 122
Figura 45: Exemplo de distúrbio causado nas medidas de turbidez da água, sem que houvesse condições de carreamento de sedimentos, devido à obstrução do sensor de turbidez da água. 126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição morfométrica das microbacias ITA-1 e ITA-2.....45
Tabela 2: Código e afluente das MBH monitoradas. 48
Tabela 3: Coeficientes da calibração de fábrica dos sensores utilizados nas EHS, para medição da turbidez (NTU) da água. 57
Tabela 4: Coeficientes da calibração de fábrica do sensor utilizado na construção da curva de concentração de sólidos em suspensão x turbidez. 58
Tabela 5: Equações de estimativa da concentração de sólidos em suspensão nas MBHs...59
Tabela 6: Valores máximos absolutos nas frequências de 5 minutos, 1 hora e 24 horas durante o período do monitoramento nas microbacias ITA-1 e ITA-2. 66
Tabela 7: Valores máximos, mínimos e médios com desvio padrão da lâmina de água nas MBHs ITA-1 e ITA-2 durante o período do monitoramento nas MBHs ITA-1 e ITA-2. 68
Tabela 8: Valores máximos, mínimos e médios com desvio padrão da condutividade elétrica (CE) da água e do solo nas MBH ITA-1 e ITA-2 durante o período do monitoramento. 71
Tabela 9: Parâmetros hidrossedimentológicos e agrícolas em ITA-1 e ITA-2 nos eventos de máxima [CSS].....79
Tabela 10: Características do ambiente durante eventos de precipitação pluvial de alta intensidade selecionados nas microbacias ITA-1 e ITA-2.....80
Tabela 11: Indicadores e valor final do IQP nas microbacias ITA-2 e ITA-1 em Itaí-SP 85
Tabela 12: Análise física e química de perfil de solo na área da MBH ITA-1.....123
Tabela 13: Análise física e química de perfil de solo na área da MBH ITA-2.....124
Tabela 14: Culturas implantadas na microbacia ITA-1, durante o monitoramento. 125
Tabela 15: Culturas implantadas na microbacia ITA-2, durante o monitoramento. 125
Tabela 16: Estimativa da produção mensal de sedimentos nas microbacias ITA-1 e ITA-2 ao longo período de monitoramento. 126
Tabela 17: Composição e cálculo do efeito da rotação de culturas, para um período de 3 anos, no cômputo do IQP.....127
Tabela 18: Composição e cálculo do efeito da ocorrência do preparo do solo no cômputo do IQP.....127
Tabela 19: Composição e cálculo do efeito de práticas conservac. no cômputo do IQP.....128
Tabela 20: Composição e cálculo do efeito da Fertilização Equilibrada (sem uso de adubação orgânica) no cômputo do IQP. 129
Tabela 21: Composição e cálculo do efeito do tempo de adoção do SPD para o IQP. 129
Tabela 22: Indicadores do IQP e respectivos fatores de ponderação no cômputo do IQP..129

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MBH	Microbacia
EHS	Estação Hidrossedimentológica
CE	Condutividade elétrica
$CE_{água}$	Condutividade elétrica da água
CEa_{solo}	Condutividade elétrica aparente do solo
TURB	Turbidez
SPD	Sistema Plantio Direto
IDE	Índice de Dissipação de Erosividade
[CSS]	Concentração de sólidos em suspensão
IDE	Índice de Dissipação da Erosividade
IQP	Índice de Qualidade Participativa do Sistema Plantio Direto
PPA	Programa Produtor de Águas
ANA	Agência Nacional de Águas
$T_{inicial}$	Tempo inicial do evento de chuva
T_{final}	Tempo final do evento de chuva
i_{max}	Intensidade máxima da precipitação pluvial
i_{total}	Total da precipitação pluvial
Q_{max}	Vazão máxima de água
$Q_{medinst}$	Vazão média de água instantânea
Q_{med}	Vazão média de água
Ms	Massa de sedimentos na água durante o evento de precipitação pluvial

LISTA DE SÍMBOLOS

V	volts
mV	milivolts
NTU	unidades nefelométricas de turbidez
mm	milímetro
µm	micrômetro
µS	micro Siemens

1. INTRODUÇÃO

Em 2017, conforme dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018), as lavouras de cereais, fibras e oleaginosas no Brasil totalizaram 61 milhões de ha, sendo que cerca de 90% dessa área foram cultivados com: arroz (2 milhões de hectares), milho (18 milhões de hectares) e soja (33 milhões de hectares). Considerando-se que cerca de 90% do cultivo da soja é realizado em Sistema Plantio Direto (SPD) e que, nesse sistema de manejo, o milho safrinha (cerca de 5,6 milhões de ha) é normalmente uma cultura sequencial, estima-se que mais de 50% da área em manejo do chamado plantio direto não recebe cobertura vegetal por período de até oito meses ao ano.

Porém, mesmo em áreas sob SPD, tem sido verificado perdas continuadas de solo e água por erosão hídrica em várias regiões do país, agravadas naquelas áreas produtoras de grãos. Diante desta problemática, desenvolveu-se uma metodologia participativa, denominada "Índice de Qualidade Participativa do Sistema Plantio Direto" (IQP) (Roloff; Lutz; Mello, 2011a), com o objetivo de se qualificar o Sistema Plantio Direto adotado por um produtor rural. Tal índice está embasado tecnicamente na literatura já existente e em trabalhos concretos de validação[1] de tecnologias para o sistema plantio direto que foram realizados em áreas de produtores rurais localizadas no entorno do reservatório de Itaipu (Roloff et al.,2013). Em 2014 o IQP passou por uma revisão técnica visando adequá-lo para a aplicação em diferentes condições de clima, solos e sistemas de produção (Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação, 2018)

Contudo, o IQP parte de uma autoavaliação por parte do produtor rural com a ajuda de seus técnicos, a fim de verificar-se a qualidade ambiental do processo da produção agropecuária em nível de propriedade (Martins et al., 2018). Este aspecto pode representar uma fragilidade do IQP, uma vez que a autoavaliação pode induzir a vieses no processo e distorção da realidade ambiental. Contudo, se o IQP for válido, ele seria um excelente instrumento pois não necessita de grande instrumental de medição para se obter resultados condizentes com o controle da produção de sedimentos. Além disso, representa um método barato e relativamente simples de avaliação ambiental, que poderia ser adaptado para diferentes regiões brasileiras.

Assim, a análise da efetividade do IQP no processo de avaliação ambiental é importante para validação da ferramenta em sistemas de produção brasileiros. Neste sentido,

---

[1] O IQP foi validado em microbacias do Paraná 3 (Toledo, Pacuri, Buriti, Facão Torto, Ajuricaba e Sanga Mineira) utilizando para isso parâmetros químicos (fósforo, matéria orgânica e potássio), sendo a validação realizada pela diferença entre a seção ideal e a seção transversal real dos terraços e o número médio de minhocas (Roloff; Lutz; Mello, 2011b).

tendo em vista que Martins et al. (2018) fizeram uma análise *ex ante* baseada no IQP em duas microbacias no município de Itaí (SP), haveria uma possibilidade de comparação de tais valores com métodos objetivos de medidas hidrossedimentológicas, tal qual fizeram Gorte et al. (2016) ao correlacioná-lo com atributos de qualidade do solo (físico, químico e biológicos), para então obter-se uma validação do IQP frente ao controle da produção de sedimentos.

Ademais, a proposta do IQP não é qualificar nem tampouco quantificar a geração e o aporte de sedimentos aos mananciais, parâmetros estes de interesse adicional por se relacionarem com o assoreamento de corpos hídricos, o tempo de vida médio e a capacidade de armazenamento das represas e a produção de energia hidrelétrica. O que faz é qualificar os processos de utilização das terras agrícolas presentes na microbacia hidrográfica que contribuem para reduzir o carreamento de sólidos e solutos aos mananciais de superfície.

2. HIPÓTESES E OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa foi caracterizar, com base em indicadores hidrossedimentológicos, o ambiente de duas microbacias pareadas de primeira ordem com predominância de agricultura irrigada, na Bacia do Alto Paranapanema. Na sequência, com base nos indicadores gerados, buscou-se analisá-los em comparação com os dados de IQP levantados por Martins et al. (2018) nas mesmas bacias para confrontar com a percepção que os proprietários das fazendas, nas quais estão inseridas as microbacias monitoradas, possuem sobre suas terras e plantios representada pelo IQP.

Assim, a pesquisa se baseia nas seguintes hipóteses:

- Índices de qualidade do manejo agrícola em sistemas de produção conduzidos em SPD na propriedade rural são capazes de indicar o nível de qualidade e conservação ambiental, especialmente, do solo e da água.

- Há relações entre indicadores da qualidade ambiental, oriundos de autoavaliação por parte de proprietários rurais acerca de seu sistema produtivo, e índices hidrossedimentológicos (chuva, vazão e turbidez/sedimentos) obtidos em microbacias hidrográficas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Aumento populacional versus degradação das terras

O crescimento da população mundial e a contínua degradação de extensas áreas de terra ameaçam os processos fundamentais dos ecossistemas naturais e agrícolas do planeta, bem como a qualidade da vida humana. Embora possa haver argumentos contrários, a capacidade da Terra é finita, como também é finita sua capacidade de fornecer alimentos e fibras para o consumo ao longo de cadeias alimentares nos ecossistemas e para os seres humanos. A destruição do habitat acarreta em perda de biodiversidade e de resiliência dos ecossistemas naturais; além disso, baixos padrões de manejo agrícola podem levar à degradação da terra agricultável, a qual pode ser agravada por poluentes industriais (Blum, 2001).

Na região tropical, os solos em geral apresentam baixa fertilidade, caracterizada pela acidez, baixos teores de matéria orgânica, deficiência de nutrientes, estresse hídrico frequente e alta suscetibilidade à erosão (Sánchez, 1976; Resende et al., 2002). Além disso, o manejo inadequado tem acentuado essa baixa fertilidade, colocando em risco a segurança alimentar em zonas rurais da América Latina, devido ao incremento de processos de degradação do solo.

A degradação resulta de uma série de fatores inter-relacionados que podem gerar diferentes níveis de deterioração, até terras impróprias para uso produtivo ou para gerar serviços ecossistêmicos. Pode ocorrer também que essa degradação seja expressa de forma mais sutil, porém não menos danosa, como a queda gradativa da produtividade e da rentabilidade agrícola.

Em 1999, a Agência Ambiental Europeia (European Environment Agency, 1999) apresentou uma estrutura para entender a degradação, aplicada ao solo, a DPSIR[2]. Essa estrutura fornece uma visão abrangente para a análise dos problemas e oferece uma metodologia em que as respostas à degradação da terra podem ser desenvolvidas. A abordagem DPSIR baseia-se na utilização de indicadores, que podem ser direta ou indiretamente relacionados a aspectos ecológicos, técnicos, socioeconômicos ou culturais.

A primeira questão chave levantada é: qual é a força motriz (D) por trás do problema? O problema é, em seguida, subdividido em três etapas: a pressão (P), derivando a força motriz, o estado (S) que a partir do qual se cria a pressão, e o impacto (I) que resulta o estado. A segunda questão chave é como responder (R) de modo a alterar as forças geradoras para aliviar ou reverter o problema. As forças motrizes que levam à degradação da terra podem ser

---

[2] Do inglês "**D**riving forces, **P**ressures, **S**tates, **I**mpacts, **R**esponses"

resultantes de aumento da população humana, expansão urbana, guerra, turismo, demandas da produção agrícola, transporte, infraestrutura, atividade industrial ou extrativa e eventos naturais, tais como os climáticos ou o simples estresse hídrico. Essas forças introduzem pressões no ambiente por meio de emissões nocivas para a atmosfera, a água e o solo; são exemplos também: extração/mineração de nutrientes; desmatamento; incêndios de floresta e pastagens; e sobre pastoreio. O estado dos recursos da terra pode ser caracterizado como deterioração biológica ou física, eutrofização ou empobrecimento em nutrientes, salinização, acidificação ou contaminação química, perda de solo por erosão e movimentos de terra em larga escala, como os deslizamentos. Os impactos podem ser: destruição do habitat, perda de biodiversidade, declínio na produção agrícola, queda na renda agrícola e da riqueza, deterioração da qualidade da água, dano econômico à jusante de corpos hídricos devido à sedimentação, e outros.

As respostas (R), ainda segundo European Environment Agency (1999) seriam: melhorar o monitoramento e a avaliação da qualidade do solo e as estratégias para conservação/recuperação de terras; desenvolver inovações técnicas para conservação/recuperação de terras; Inovações institucionais para apoiar os agricultores na conservação/recuperação de terras; estabelecer leis nacionais e políticas para apoiar os agricultores na conservação/recuperação de terras; fomentar convenções e investimentos internacionais para incentivar a conservação/recuperação de terras.

3.2. Serviços do ecossistema

Serviços do ecossistema, segundo Douglas (2015), são todos aqueles benefícios que a sociedade recebe dos ecossistemas, nos quais a diversidade biológica exerce papel fundamental. Entre eles estão os associados à ***provisão*** de bens (alimentos, fibras, biocombustíveis); os que envolvem a ***regulação*** de processos do ecossistema, vitais para a humanidade (regulação do clima, controle de erosão, de inundações, entre outros); os relativos a aspectos ***culturais***, não associados a benefícios materiais (recreação, beleza cênica, usos culturais)(Reid et al., 2005). Os solos contribuem com todas as categorias de serviços; maiores detalhes podem ser obtidos em Barrios (2007) e Kibblewhite; Ritz; Swift (2008).

No Brasil a natureza social da questão ambiental foi, a partir de 2003, associada ao manejo do meio, em especial da água, mediante o “Programa Produtor de Água” (PPA), proposto pela Agência Nacional de Águas – ANA (Agência Nacional de Águas, 2012). O objetivo central do PPA é premiar/compensar agricultores que adotem práticas de controle da poluição, em especial o controle da produção de sedimentos em corpos hídricos. Pressupõem-se, portanto, haver elevada correlação entre qualidade do manejo do solo, níveis

de produção de sedimentos e implicações sobre a poluição e disponibilidade de água à jusante.

Embora a bacia hidrográfica seja a unidade de território para a política de recursos hídricos (Lei 9433/97), estudos realizados, até então, para identificar formas de premiação/compensação (Lanna; Martini, 2003; Domingues et al., 2004a, 2004b) assumiam a propriedade rural como unidade espacial no âmbito do PPA.

Domingues et al. (2004b, 2004a), visando a operacionalizar o PPA, propuseram, a partir de relações entre valores atribuíveis a fatores da Equação Universal de Perdas de Solo – USLE (Wischmeier; Smith, 1978), procedimentos para quantificar o potencial de abatimento de erosão. Para tal operacionalização é necessário um procedimento que quantifique as evidentes relações entre a qualidade do manejo do solo e os níveis de erosão. Ocorre, todavia, que a USLE e seus fatores são empiricamente derivados. Logo, a proposição de Domingues et al. (2004b, 2004a) se aplica quando e onde for possível a derivação daqueles fatores. Além disso, o uso de fatores empíricos em condições diversas daquelas de sua derivação resulta em perda de confiabilidade na inferência - condição fundamental em relações de compensação entre interessados.

3.3. Indicador de desempenho ambiental

D'Agostini (2012) propôs uma alternativa para a operacionalização do PPA ou mesmo de outros programas voltados a melhorar o desempenho ambiental[3] no uso de extensões de terra. Sugeriu considerar a (micro) bacia hidrográfica como a unidade territorial de fato; mediante os procedimentos que sistematizam relações que fundamentem e possibilitem avaliar o desempenho ambiental do componente consciente da unidade territorial, em qualquer contexto em que a avaliação ocorra. Essa proposição baseia-se em D'Agostini (1999) e é expressa da seguinte forma:

> "Bacia hidrográfica caracteriza um sistema aberto. Em relação à água e para os propósitos desta abordagem, as entradas no sistema ocorrem como precipitação. As saídas são na forma de evaporação, transpiração e vazão na foz. Provenientes do processo erosivo, nesta última saída se encontram sedimentos: trabalho que o

[3] Conceito oriundo de D'Agostini; Cunha (2007) onde os autores mostram como avaliar o desempenho ambiental, particularmente em relação ao uso da água. Em nada mantém relação com a Norma ABNT NBR ISO 14031:2004 (Gestão Ambiental – Avaliação de desempenho ambiental – Diretrizes).

> sistema bacia realiza sobre o meio. A única causa fundamental da erosão e consequente produção de sedimentos é a gravidade. Macroscopicamente essa causa se manifesta como energia contida na água da chuva e do escoamento: energia cinética em águas aceleradas pela gravidade. De outro lado, diversos são os fatores que afetam a efetividade da gravidade acelerar a água e assim produzir sedimentos. Os efeitos de alguns desses fatores não dependem da vontade ou do desempenho humano – é o caso do relevo e do regime de chuvas. Outrossim, é o caso das condições de superfície decorrentes da qualidade das relações intencionais mantidas com aquele meio."

Fatores não controláveis, como chuva, área e relevo podem ser associados à capacidade do sistema de produzir resultado. Já os fatores manejáveis como vegetação e permeabilidade do solo são associáveis à potencialidade do sistema dissipar capacidade produtora de resultado (Figura 1).

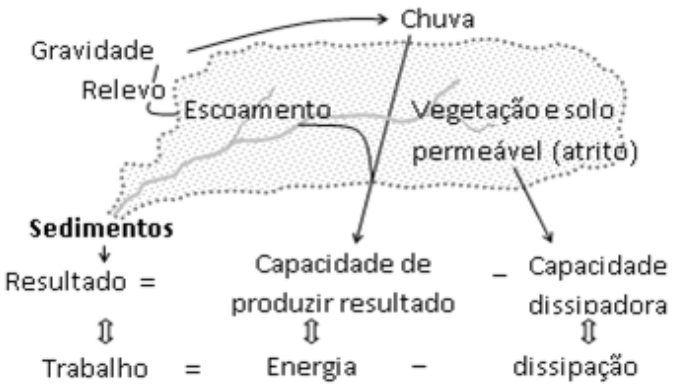


Figura 1: (Micro)bacia hidrográfica como sistema aberto, e sedimentos na foz como trabalho que o sistema realiza sobre o meio.
Fonte: Adaptado de D'Agostini et al., (2017)

Essa figura ilustra importante implicação do Segundo Princípio da Termodinâmica: uma quantidade de energia não pode ser integralmente convertida em trabalho útil. Ou seja,

$$\mathbf{Ws = E - d} \tag{1}$$

em que **d** é a fração do potencial erosivo **E** que não é convertida em produção de sedimentos Ws.

Como **Ws** e **d** são frações do potencial **E**,

$$\frac{Ws}{E} = 1 - \frac{d}{E} \text{ ou } \frac{Ws}{E} = \beta \quad (2)$$

em que ß é coeficiente de efetividade da conversão de energia em trabalho, erosividade da chuva em transporte de sedimentos."

O termo Ws corresponde ao trabalho (J) realizado exclusivamente às expensas de potencial E (J). Esse trabalho consiste no transporte de sedimentos até cursos d'água. O transporte ocorre sobre plano de comprimento médio L (m) com inclinação média θ. Assim,

$$\mathrm{Ws} = \mathrm{Ms.L.g.}\cos\theta \quad (3)$$

em que Ms é massa (kg) de sedimentos e **g** é aceleração gravitacional (m s^{-2}).

De acordo com Villela; Mattos (1975), o comprimento médio L pode ser obtido como

$$L = \frac{A}{4.lw} \quad (4)$$

em que A é área (m^2) e lw é comprimento (m) da rede de drenagem na bacia.

O potencial energético **E** é a quantidade de energia cinética idealmente possível de fluir, ou seja, energia cinética de água que incidisse e fluísse em meio com comportamento equivalente ao de conjunto de planos molháveis, mas perfeitamente lisos. O termo **E** é, assim, o somatório da energia cinética da chuva e da energia cinética máxima e idealmente possível no escoamento superficial. Nos dois casos, a energia cinética emerge da conversão de coordenadas de posição em coordenadas de movimento por ação gravitacional. Tem-se então que:

$$\mathrm{E} = \mathrm{EcC} + \mathrm{EcE} \quad (5)$$

em que E é quantidade de energia adequada à realização de trabalho mecânico, EcC é energia cinética da chuva e EcE é energia cinética do escoamento: energia máxima possível no processo de conversão de coordenadas mecânicas sobre o plano inclinado perfeitamente liso.

Wischmeier (1959) mostrou que as características das chuvas explicam de 70% a 95% da variação anual de perdas de terra em condições idênticas de solo, declive e cobertura. O mesmo autor, estudando perdas de terra para 23 estados dos Estados Unidos, concluiu que a capacidade das chuvas para causar erosão não é necessariamente proporcional apenas a quantidade de chuva nem a qualquer frequência de intensidade específica, mas sim é função das características individuais de cada uma. (Wischmeier, 1962)

As fortes relações entre a intensidade da chuva e o tamanho médio de gotas, e entre o tamanho e velocidade de sua queda (Kowal; Kassam, 1976), possibilitaram a derivação de uma equação empírica (Wischmeier; Smith, 1978) que, exclusivamente a partir da intensidade, estima a energia cinética da chuva com boa precisão e exatidão (D'Agostini, 1999). Significa que, independentemente da quantidade de energia de posição não convertida em energia cinética por força de atrito com o ar, a energia cinética da chuva (EcC) disponível à produção de trabalho erosivo pode ser estimada diretamente a partir da intensidade da chuva.

Enquanto que o componente EcC, estimado pela equação constante de Wischmeier; Smith (1978) já é energia na forma adequada à realização de trabalho mecânico, o componente EcE resulta do produto entre a energia de posição idealmente possível de converter-se em energia cinética no escoamento superficial (EpE) e um coeficiente de propensão do fluido viscoso em converter coordenadas de posição em coordenadas de movimento sobre o plano. Assim, tem-se que:

$$\mathrm{EpE} = \mathrm{Ma.g.h} \tag{6}$$

em que **EpE** é energia potencial ou de posição (J), **Ma** é massa de água (kg), **g** é aceleração gravitacional (m s^{-2}) e **h** é altura média (m) em relação ao curso d'água para onde flui o escoamento.

Logo,

$$\mathrm{EcE} = \mathrm{Ma.g.h.}\mu \tag{7}$$

em que $0<\mu<1$ é o referido coeficiente de propensão em converter coordenadas.

Substituindo a altura **h** pela correspondente relação entre comprimento e inclinação, como segue:

$$\mathrm{E} = \mathrm{EcC} + \mathrm{Ma.g.L.sen}\ \theta.\mu \tag{8}$$

A propensão de uma massa em converter suas coordenadas de posição em coordenadas de movimento por ação de gravidade é, evidentemente, inversamente proporcional ao tempo necessário para a conversão. Em trajetória vertical o tempo é mínimo e, portanto, a propensão é máxima. Na medida em que o plano se aproxima da posição horizontal, o tempo tende a infinito e, assim, a propensão tende a um mínimo. Em outras palavras, há um tempo específico de conversão de coordenadas **h** correspondente a cada medida de propensão, e ambos variam segundo a inclinação θ do plano, tal que $0^0 < \theta < 90^0$.

Das equações fundamentais do movimento, em condições ideais e exclusivamente por ação da gravidade, o tempo t_h (s) para deslocamento vertical ao longo de uma altura **h** (m) e o tempo t_L (s) de deslocamento ao longo de plano com comprimento L (m) e inclinação θ (^{0}) são, respectivamente:

$$t_h = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad \text{e} \quad t_L = \sqrt{\frac{2.L}{g.sen\theta}} \tag{9}$$

Dado que a propensão à conversão de coordenadas de posição em movimento é inversamente proporcional ao tempo dessa conversão, e que t_h é tempo referencial, ou seja, o menor tempo possível, a razão entre esse tempo e qualquer tempo t_L define coeficiente de propensão específica de conversão sobre plano de comprimento médio L e inclinação média θ. Então:

$$\mu = \frac{t_h}{t_L} = sen\ \theta \tag{10}$$

em que μ é o coeficiente de propensão em converter coordenadas.

Substituindo (10) em (8), tem-se que:

$$\mathrm{E} = \mathrm{EcC} + \mathrm{Ma.g.L.sen}^2\theta \tag{11}$$

A Equação (11) define a quantidade de energia idealmente disponível. Porém, uma quantidade de energia não define, por si só, a capacidade efetiva do sistema produzir trabalho a partir dela. Na realização de um trabalho real, a forma que a energia flui pode ser mais determinante do que a quantidade.

Uma determinada quantidade de energia pode fluir intensamente, mas apenas por curto período de tempo. Neste caso, apesar de agir por pouco tempo, haveria condição para a realização de trabalho mecânico intenso. Ao contrário, no caso de ela fluir ao longo de um maior período de tempo, sua intensidade pode ser insuficiente para realizar trabalho útil.

Na produção de trabalho em processo muito afastado do equilíbrio termodinâmico, como na produção de sedimento, o regime de fluxo de energia pode ser tão ou mais importante do que sua quantidade. Isso porque quanto mais aproximado do estado

estacionário puder operar o sistema, maior será sua efetividade na conversão de energia em trabalho útil.

Pelas mesmas razões, a energia encerrada na água se revela tanto mais efetiva em produzir erosão, quanto mais essa água fluir de forma a manter elevado o produto entre intensidade e regularidade de fluxo. Por isso, D'Agostini; Denardin; Lemainski (2017) propuseram um coeficiente de efetividade do regime do fluxo de energia a partir da água de uma chuva como expressão do produto de dois quocientes: a soma de tempos de precipitação real ($t_{eventos}$) dividida por todo o tempo ao longo do qual ocorrem eventos considerados de uma mesma chuva (t_{total}), e a intensidade média ponderada i_{mp} de precipitação em cada evento, dividida pela intensidade máxima $i_{máx}$ de precipitação no evento correspondente. Este último quociente é ponderado em relação às durações dos eventos, de modo que:

$$R = \frac{t_{eventos}}{t_{total}} \cdot \left(\frac{i_{mp}}{i_{max}}\right)_p \tag{12}$$

em que o índice **p** é de ponderação e R é coeficiente de efetividade mecânica no regime de fluxo de energia encerrada na água que incide e pode escoar sobre o solo.

Incorporando o termo R como fator multiplicador (Equação 12) à Equação (11), e substituindo em (2), tem-se que:

$$\beta = \frac{Ws}{(EcC + Ma.g.L.sen^2\theta).R} \qquad ((13)$$

Com base na equação (13) é possível estabelecer que: "Quanto maior o valor de ß, menor é a dissipação de energia erosiva em determinada extensão de terra com determinado padrão geométrico e sob determinado regime pluviométrico."

Ainda de acordo com D'Agostini; Denardin; Lemainski (2017), em processos muito afastados do equilíbrio termodinâmico, tal como a produção de sedimentos de solo erodido, a fração de energia convertida em trabalho é sempre muito pequena, ou mesmo nula, ou seja, 0≤ ß<<1. Por outro lado, garantir produção de sedimentos igual a zero em terras sob uso é quase uma impossibilidade. Assume-se, assim, que a dificuldade de melhorar o desempenho ambiental na redução dos valores de ß é maior quando os valores de ß já forem mais baixos. Por isso, e como sugere a Figura 2, o reconhecimento na avaliação de desempenho ambiental também deve crescer na medida em que ß diminui.

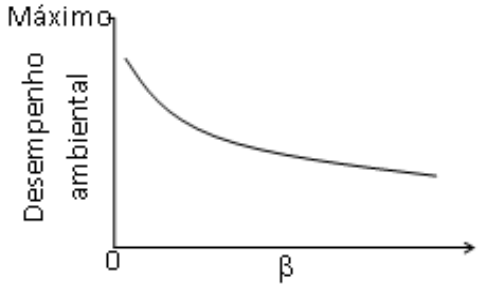


Figura 2: Relação entre coeficientes de efetividade energética (β) e desempenho ambiental no controle da produção de sedimentos.
Fonte: Adaptado de D'Agostini; Denardin; Lemainski (2017)

Então, considerados ainda os sempre baixos valores absolutos de ß e a conveniência de se expressar o desempenho ambiental como índice objetivamente comparável, um Índice de Dissipação de Erosividade (IDE) pode ser proposto como:

$$IDE = \left(1 - \beta^{1/v}\right)^{v} \tag{14}$$

em que v≥1 é, por hipótese e para o processo erosivo, adequado se igual a 2 (quanto maior o valor de v, menor o desempenho ambiental reconhecido para determinada taxa de dissipação de energia erosiva)." D'Agostini; Denardin; Lemainski (2017)

Para D'Agostini (2012), o IDE (que naquela ocasião era conhecido por CPS) é o coeficiente de transformação de potencial energético em trabalho, sendo coerente com o conteúdo comportamental humano na questão ambiental - Tão importante quanto sua correção técnica, procedimentos na avaliação do desempenho ambiental precisam ser justos, ou seja, levar em conta as condições sob as quais os humanos desempenham. Ainda, o IDE é um índice que permite distinguir desempenhos, levando em conta as características não manejáveis do meio. A distinção individual, quando justa, move o ser humano para desempenhar, cada vez melhor, ações que beneficiam o coletivo. Em outras palavras, a intenção encerrada no IDE é voltada à promoção de justo reconhecimento daqueles que, adotando quaisquer e suficientes procedimentos, efetivamente controlam o processo que em grande parte quase todos já saberíamos como reduzir significativamente. Enfim, a insuficiência no controle da produção de sedimentos não é tanto produto de falta de conhecimento, quanto o é de insuficiente motivação para adotar procedimentos que já se sabe serem eficientes.

É por tudo isso que se considera que a proposição do IDE (D'Agostini, Denardin, & Lemainski, 2017), se alinha à orientação do PPA e é útil para sua operacionalização. Desta forma, podem-se definir padrões de qualidade do manejo usado na propriedade agrícola e

predizer seus efeitos sobre o solo, a água e a biodiversidade associada. E para que este índice possa ser estabelecido, é necessário que se estude a dinâmica de sedimentos na água.

Segundo D'Agostini (1999), um evento pluviométrico pode dispender quantidades similares de energia erosiva em bacias hidrográficas vizinhas. Porém, o autor alerta que, por serem sistemas abertos onde ocorrem trocas de matéria e energia com o meio, implicando em diferentes resultados, como o desequilíbrio hidrológico ou perdas de solo, as quantificações desses resultados são feitas principalmente no exutório das bacias hidrográficas, por meio de medições contínuas ou, até mesmo, esporádicas, de vazão e transporte de sedimento.

3.4. Hidrossedimentologia.

De acordo com Carvalho (2008), define-se sedimento como partícula derivada da rocha ou de material biológicos, passível de ser deslocada pela água ou vento. O transporte pode ser do local de origem ou de algum ponto na paisagem e pode ser depositado temporariamente, ou até permanentemente, e são cruciais para subsidiar questões como: transportes de contaminantes, tendências de qualidade de água, assoreamento de reservatórios, assoreamento de canais de porto, erosão e perda de solo, bem como seus impactos ecológicos e recreativos (Horowitz, 2008).

Dentro do processo de erosão hídrica, a dinâmica que envolve os sedimentos é complexa, pois é determinada pela força gravitacional e pela energia cinética. Essas forças são geradas pelo impacto da gota de chuva[4] e pelo escoamento superficial, ocorrendo o desprendimento, transporte e deposição do sedimento (Pellegrini, 2013; D'Agostini; Denardin; Lemainski, 2017).

De acordo com Seeger et al. (2004), muitas vezes a geração de escoamento de água está mais relacionada com a umidade do solo do que com as características da precipitação pluvial. A umidade do solo influencia diretamente o volume de água nele armazenado, bem como a sua resistência e a compactação, entre outros fatores. Logo, em estudo de determinação de erosão hídrica e de movimento da água no solo, bem como a adoção de determinadas práticas de manejo culturais e irrigação, é de grande importância o conhecimento do estado da umidade do solo (Bernardo; Soares; Mantovani, 2009).

Pellegrini (2013) salienta que no âmbito do processo de erosão hídrica, a dinâmica que envolve os sedimentos é complexa, pois é determinada pela força gravitacional e pela

---

[4] Para Santos; Griebeler; Oliveira (2010) a caracterização das chuvas, especialmente das intensas, é imprescindível para solucionar problemas de interesse da Engenharia, de modo especial o controle do escoamento superficial, em áreas urbanas e rurais.

energia cinética. Essas forças são geradas pelo impacto da gota de chuva e pelo escoamento superficial, ocorrendo o desprendimento, o transporte e a deposição do sedimento na porção inferior do terreno.

O mesmo autor fala que o sedimento transportado geralmente é constituído por um conjunto de partículas que contém argilas, com propriedades coesivas, cujos diâmetros são menores que 2 a 4 µm. O transporte ocorre em suspensão[5], pois são partículas muito finas, assim impõe alta capacidade de transporte.

A "produção de sedimento" refere-se à quantidade de sedimento exportada da bacia ou de uma área determinada. Esta é somente uma fração da erosão total ocorrida na bacia, pois há deposições temporárias ou permanentes que atenuam as perdas de solo desse local. O escoamento superficial é o principal agente de transporte de partículas de solo (sedimento), e a deposição ocorre somente quando a velocidade do escoamento superficial for reduzida (Pruski; Dos Santos Brandão; Da Silva, 2003).

Vários fatores determinam a produção de sedimento, destacando-se: a intensidade da chuva, a intensidade do escoamento superficial, a textura do solo, o grau de consolidação da superfície do solo, a forma da erosão (entressulcos, sulco e/ou voçoroca), a cobertura do solo por resíduos culturais, o relevo da bacia, a rugosidade superficial do solo, o tamanho e a estabilidade dos agregados do solo (Hudson, 2015).

A quantificação dos sedimentos em suspensão, em bacias hidrográficas, é fundamental, pois reflete as taxas erosivas causadas pela energia da chuva e do escoamento superficial sobre as diferentes proporções de uso do solo e tipos de manejos aplicados (Minella et al., 2008a). Amostragens do sedimento em suspensão feitas diretamente no exutório da bacia são essenciais para a quantificação e determinação da qualidade dos sedimentos (Pellegrini, 2013).

De acordo com Sherriff et al. (2015) para se quantificar com precisão os fluxos de sedimentos de bacias hidrográficas complexas, os programas de monitoramento de campo exigem três considerações: Em primeiro lugar devem haver dados robustos de fluxo e concentração de sedimentos em suspensão ([CSS]) capazes de descrever com precisão os fluxos de curto prazo; em segundo lugar, a duração das medições deve ser suficientemente longa para ser "representativa" das médias estacionárias de longo prazo (inclusive da variabilidade natural) ou para revelar tendências temporais de cargas ou concentrações crescentes ou decrescentes - A captura de eventos cruciais de alta magnitude e baixa

---

[5] Para Carvalho et al. (2000) "os sedimentos em suspensão são parte de um processo que é impossível de ser acompanhado em sua plenitude à escala de uma vida humana. Tal processo é denominado de Ciclo das Rochas."

frequência é, portanto, vital para gerar determinações significativas de fluxo, e em terceiro lugar, os programas de monitoramento precisam ser economicamente viáveis.

Este terceiro, e último aspecto apresentado pelo autor recém citado, vai ao encontro do apresentado por Pellegrini (2013) que tecnicamente destaca que, o acompanhamento contínuo, por amostragem direta, demanda elevado custo em recursos humanos ou, mesmo, na aquisição de eficientes amostradores automáticos.

Desta maneira, o mesmo autor comenta que alternativamente o monitoramento hidrossedimentológico pode ser feito por alguns equipamentos como: amostradores de nível ascendente e descendente; amostrador de sedimento integrador e por turbidimetria, e destaca que as medidas de turbidez podem ser empregadas para proporcionar dados contínuos de concentração de sedimentos em suspensão e para o cálculo de sedimentos transportados, corroborando com o que preconiza Sherriff et al. (2015).

Neste contexto, estudos foram concentrados no sentido de se desenvolver métodos e sistemas automatizados para “medição” da erosão, como o de Van den Elsen et al. (2003), que estudaram a relação entre o conteúdo de água no solo e a produção de erosão; o de Costa (2004), sobre o carreamento de nutrientes na água de escoamento superficial em sistemas de plantio direto; o de Jiang-Hong; Tingwu (2006), que estudaram o processo de “*run-off”* e a produção de sedimentos por meio de um sistema automático de medição; o de Portocarrero (2009), que aplicou um sistema automático de monitoramento de sedimentos com vistas à revegetação de áreas degradadas; o de Pellegrini (2013), que utilizou monitoramento automático com vistas a determinar o índice de desempenho ambiental em duas microbacias pareadas sob usos e coberturas de solo distintas e mais recentemente o de Bartels (2015), que utilizou instrumentação para monitorar eventos de precipitação e produção de sedimentos durante de seis meses com diferentes características e em diferentes condições de uso e manejo do solo.

Dentre os autores ora citados, Portocarrero (2009) ressaltou que tais métodos e sistemas tendem a preencher uma grande lacuna, na medida em que possibilitam compatibilizar intervalos de coletas de dados com as demais medições automatizadas de campo, como o monitoramento da água no solo e parâmetros agrometeorológicos, nos quais existe grande avanço tecnológico.

Ziegler, (2002) e Luíz; Pinto; Scheffer (2012) relatam que a presença de material em suspensão na água, tais como: material orgânico, mineral e biológico de diferentes dimensões, cores, forma e transparência, impactam diretamente a turbidez da água.

Neste sentido, Raposo; Barros; Magalhães Junior (2009) corroboram que a turbidez é um dos principais parâmetros de qualidade das águas capaz de demonstrar alterações na dinâmica hidrossedimentar de uma bacia como consequência da erosão acelerada. E seguem destacando que nesse sentido, a turbidez é muito útil em análises ambientais em bacias

hidrográficas, uma vez que é possível associar o uso e a cobertura do solo a este parâmetro, a fim de se detectar danos nos cursos d'água relacionados a atividades humanas, por exemplo.

A avaliação da turbidez do escoamento, apesar de ser um método indireto para a determinação da concentração de sedimentos em suspensão, tem sido utilizada com sucesso (Bradley, 1956, Suk; Guo; Psuty, 1998, Lewis, 2002, Schoellhamer, 2002, Gray; Gartner, 2009, Guimarães, 2010, Didoné, 2013, Chagas, 2015).

De acordo com Pellegrini (2013), o método é chamado de nefelométrico - um feixe de luz incidente sobre a amostra tem parte dos raios luminosos refratados pelas partículas em suspensão, enquanto que o restante do feixe atravessa a solução. O sistema medidor é acionado pelos raios refratados que, por sua vez, estão em função das partículas em suspensão na amostra. Contudo, a validação dos resultados depende do processo de calibração do sensor. Minella et al. (2008), em estudo da relação da turbidez com a concentração de sedimentos em suspensão, encontrou que, quando a calibração em laboratório foi feita com os solos amostrados da bacia ocorreu a superestimação dos valores, e que a melhor correlação foi obtida com as amostras coletadas durante eventos de precipitação e os valores de turbidez. Mas para Pinheiro et al. (2013) a concentração de sedimentos suspensos, estimada pelo turbidímetro, quando calibrada em laboratório, utilizando-se amostra composta de solo da bacia, é confiável até certa faixa de turbidez e quando estimada pela curva-chave, a produção de sedimentos no rio foi o dobro daquela estimada pelo método da turbidez.

E para finalizar, de acordo com Pellegrini (2013), a quantificação de sedimentos em suspensão é essencial no monitoramento e estudos hidrossedimentológico em bacias hidrográficas, e destaca que os resultados refletem indiretamente a ação do homem sobre as terras, por meio das diferentes proporções de uso e cobertura do solo e tipos de manejos aplicados nelas.

3.5. Condutividade elétrica da água

Segundo Fenzl; Ramos (1986), a condutividade elétrica é o valor recíproco da resistividade elétrica e é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions - É a capacidade de a água transmitir a corrente elétrica. Os sais dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-na num eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica. Como há uma relação de proporcionalidade entre as variáveis, pode-se estimar o teor de sais dissolvidos pela medida da condutividade elétrica da água.

Quanto maior a concentração iônica da solução, maior é a oportunidade para ação eletrolítica e, portanto, maior a capacidade em conduzir corrente elétrica. Muito embora não

se possa esperar uma relação direta entre condutividade e concentração de sólidos totais dissolvidos, já que as águas naturais não são soluções simples, tal correlação é possível para águas de determinadas regiões onde exista a predominância bem definida de um determinado íon em solução. Enquanto que as águas naturais continentais apresentam teores de condutividade elétrica na faixa de 10 a 100 µS cm^{-1}, em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a 1000 µS cm^{-1} (Brasil, 2014); já as águas tidas como destiladas apresentam condutividade elétrica de 0,5 a 3,0 µS cm^{-1} (Embrapa Meio Ambiente, 2001).

3.6. Uso do solo e a erosão hídrica

A retirada da cobertura vegetal original para a implantação de atividades agrícolas, aliada a práticas de manejo inadequadas, acabam por causar desequilíbrio do sistema[6]: As principais alterações ocorrem no solo, afetando diretamente as propriedades químicas, físicas e biológicas, tornando-o mais suscetível à erosão, podendo até acarretar limitações para a utilização agrícola (Pellegrini, 2013).

O aumento da área de cultivo sob o sistema de plantio direto foi salutar para diminuir as perdas de solo do sistema difundido e conhecido como "convencional". Historicamente, a adoção desse sistema entre o período de 1992 a 1998 cresceu linearmente na ordem de 561 mil hectares por ano durante aquele período (Denardin et al., 2005). Os autores ainda alertam que em áreas de sistema de plantio direto a atenção ao manejo da enxurrada não pode ser deixada de lado.

Trabalhos simulando a redução da produção de sedimentos no sistema de plantio direto já foram conduzidos em diferentes partes do país. Lino (2010) em uma simulação feita em várias bacias do RS obteve a redução de 82,6% na produção de sedimento, entre os anos de 1985 a 2006. Silva; De Maria (2011), ao estudarem o efeito do comprimento de rampa e da direção da semeadura nos sistemas convencional e SPD, relatam que no plantio direto não houve produção de sedimentos. Outros autores como Hernani, Salton, Fabricio, Dedecek, & Alves Júnior (1996), Panachuki, Bertol, Alves Sobrinho, Oliveira, & Rodrigues (2011) evidenciaram o mesmo efeito.

Mesmo com estes avanços, o sistema plantio direto segue utilizando o pacote tecnológico da agricultura moderna, onde se recomenda grandes aportes de insumos. Outros problemas que avançam nas áreas de SPD são: retirada indiscriminada de terraços, falta de outras práticas conservacionistas, semeaduras no sentido de maior distância da lavoura (sem levar em consideração a declividade do terreno) e baixa rugosidade superficial. Estas

---

[6] Entende-se "sistema" como sistema ecológico, conforme Metzger (2001)

condições em conjunto acabam por ocasionar alta quantidade de escoamento superficial, transporte de nutrientes solúveis - podendo até chegar à formação de sulcos, perdendo maior quantidade de solo e nutrientes (Wadt et al.,2003; Denardin et al.,2005; Volk; Cogo, 2009).Para a conservação do solo e da água é necessário selecionar medidas que reduzam a erosão, principalmente naquelas áreas sob agricultura intensiva. A conservação do solo consiste na utilização da terra[7] de acordo com a sua capacidade e na aplicação correta de práticas de conservação, para garantir seu uso intensivo e permanente sem provocar sua degradação. A capacidade de uso da terra pode ser conceituada como a adaptabilidade da terra às diversas formas de utilização agrícola, sem que ocorra o depauperamento do solo pelos fatores de desgaste e empobrecimento, devido ao seu uso. (Lepsch et al., 2015)

Segundo Bertoni; Lombardi Neto (1990), o desgaste e o empobrecimento do solo nas suas diversas fases e formas, podem ser evitados com a utilização de práticas que aumentam a cobertura vegetal e a infiltração da água no perfil do solo e reduzam o escoamento superficial. A perda de nutrientes é especialmente crítica para o fósforo, um elemento importante para as plantas e que se encontra em baixas reservas nos solos brasileiros (Wadt et al., 2003; Alvarez, 2014). Desta forma, como ponderado por Pellegrini (2013), obtém-se, como reflexo, uma melhoria da quantidade e da qualidade das águas, além da preservação da vida silvestre e melhoria do ambiente.

“Para combater a erosão hídrica bastaria impedir que água excessivamente veloz flua sobre e através do solo. Agricultores com baixa instrução formal também sabem disso – mesmo que nunca tenham ouvido ou lido sobre relações entre velocidade da água, energia cinética e trabalho mecânico que a erosão caracteriza.” (Osvaldo Vasconcellos Vieira, em D’Agostini; Denardin; Lemainski (2017)

---

[7] Aqui se faz uma distinção entre solo, que segundo Curi et al. (1993) é tratado como” parte superficial e não consolidada de terra arável, que inclui matéria orgânica e vida bacteriana que favorecem o desenvolvimento das plantas” e terra, de acordo com Food And Agriculture Organization Of The United Nations (1976), como “área ou região não especificada; local, região, território”. Sob outra ótica, terra engloba todo o meio ambiente natural e cultural, que sustenta a meio-físico como propriedades do substrato, drenagem, abastecimento de água, topografia, clima e cobertura vegetal. Também podem ser considerados, fatores socioeconômicos como localização em relação aos centros de comercialização, povoados e outras terras ocupadas, tamanho dos lotes e da área e benfeitorias (Estados Unidos Da América, 2005).

3.7. Índices de vegetação

A alteração da superfície da bacia tem impactos significativos sobre o escoamento. Esse impacto normalmente é caracterizado quanto ao efeito que provoca no padrão das enchentes, nas vazões mínimas e na vazão média (Tucci; Clarke, 1997).

Dentre as variáveis utilizadas para avaliação da mudança do uso do solo, os índices de vegetação têm sido os mais utilizados (Guilherme et al., 2016). Por meio de tais índices se torna possível caracterizar e quantificar parâmetros biofísicos de florestas, culturas agronômicas e mudanças provocadas no uso do solo, pois reduzem a dimensão das informações multiespectrais fornecidas pelos satélites (Tucker, 1979).

Segundo Guilherme et al. (2016) o índice de vegetação da diferença normalizada (do inglês *Normalized Difference Vegetation Index - NDVI*) é apontado por muitos autores como um dos mais aceitos índices para se analisar a cobertura vegetal utilizando o sensoriamento remoto (Holben; Tucker; Fan, 1980), pois além do diagnóstico detalhado da fitomassa fotossinteticamente ativa, corrige os efeitos de sombras oriundas da elevação topográfica sobre a imagem (Tucker, 1979; Elvidge; Lyon, 1985). São produtos do sensoriamento remoto e foram desenvolvidos para minimizar a influência do solo e de outros alvos no padrão espectral da vegetação.

Os índices de vegetação têm como objetivo melhorar o sinal da vegetação enquanto diminuem os efeitos do solo e da irradiação solar (Jackson & Huete, 1991). Quando observados ao longo do tempo com certa regularidade, a partir de plataformas com elevada resolução temporal, os índices vegetativos são capazes de representar as assinaturas temporais de cada tipo de cobertura vegetal (Defeo; Esquerdo, 2016). Tais informações mostram-se como uma alternativa metodológica de mapeamento, baseada não apenas em uma única data, mas em um conjunto, de forma a caracterizar a sazonalidade da vegetação e suas transições (Abade et al., 2015).

O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), equipamento sob responsabilidade da Agência Espacial Norte Americana (NASA – *National Aeronautics and Space Administration*), se encontra a bordo dos satélites Terra (EOS AM-1) e *Aqua* (que também transporta o HSB - *Humidity Sensor for Brazil*), sensor brasileiro de umidade atmosférica), possui 36 bandas espectrais e resoluções espaciais que variam entre 250, 500 e 1000 metros (NASA, 2018). Entre os produtos MODIS pré-processados, disponibilizados pelo LP-DAAC (*Land Processes Distributed Active Archive Center*), um centro ligado à NASA, está o MOD13Q1, que conta com dois índices de vegetação, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o EVI (*Enhanced Vegetation Index*) (Defeo; Esquerdo, 2016).

O NDVI, proposto por Rouse, Haas, Schell, & Deeering (1973) quantifica a presença de vegetação e a característica da mesma, variando entre -1 e 1. O NDVI é obtido pela

diferença normalizada entre as bandas do infravermelho próximo e do vermelho visível (Defeo; Esquerdo, 2016). Segundo Huete, Justice, & Liu (1994), apesar dos métodos de cálculo utilizados para diferentes índices de vegetação apresentarem metodologias corretas, derivam-se deles diferentes resultados para o mesmo alvo.

Alternativamente autores como Melo, Sales, & De Oliveira (2011), Lima et al. (2013), Silva, Santos, & Montenegro, (2013), Carvalho et al. (2014) e mais recentemente Sousa, Valladares, & Espíndola (2016), buscaram estabelecer o uso deste índice na estimativa e explicação da erosão hídrica.

3.8. Hidrologia

Para se realizar a medição da concentração de sedimento em um corpo hídrico é mister que se faça um monitoramento hidrológico local no sentido de se medir a vazão da água, e tal avaliação, geralmente, não é uma tarefa fácil de ser executada (Sousa et al., 2014). Os mesmos autores relatam que existem métodos desde os mais simples – como o método do flutuador, até aqueles mais sofisticados, como os medidores de efeito Doppler.

Sendo a medição direta da vazão uma tarefa trabalhosa, muitas das vezes onerosa e inviável de ser realizada todos os dias, pode-se lançar-se mão da correlação existente entre o nível de água de um corpo hídrico e sua vazão. Tal dispositivo, conhecido como linígrafo, é o responsável por medir as oscilações do nível de água que serve de dado de entrada em fórmulas empíricas que determinam a vazão.

Existem vários tipos de linígrafos, entre eles os de boia, os pneumáticos, os de célula de pressão (transdutores de pressão). Estes todos são compostos por elementos mecânicos que em contato direto com a água transforma a carga hidráulica em um sinal, elétrico ou não, passível de ser registrado e armazenado por um sistema analógico - sistema de papel, pena e relojoaria, ou digital - coletores de dados (Sousa et al., 2014).

A relação entre a vazão medida diretamente no curso de água com a altura do nível de água é obtida por meio das “curvas-chave” (Carvalho, 1994). Tal método se baseia em estabelecer equações ajustadas - potencial, polinomial ou logarítmica - que estimem de modo mais acurado possível os dados observados, mensurado com base no coeficiente de determinação (R^2). Porém com o passar do tempo, pode ocorrer erosão ou sedimentação (respectivamente, perda ou deposição de material na calha natural do curso d’água) e uma nova curva chave deve ser estabelecida.

Para Peres (2015), o melhor método, no entanto, depende das condições de realização das medidas e, principalmente, da precisão desejada para as informações que serão coletadas. O mesmo autor afirma que, neste contexto, as calhas, que são medidores

de regime crítico, construídos ou instalados em um canal, permite a determinação da vazão por meio de uma relação cota/vazão estável, com precisão, por meio de uma única leitura do nível de água na seção convergente da calha e que entre os tipos de calha mais utilizada estão as calhas Parshall, WSC e variantes como as calhas “H”,”HS” e “HL”.

Para melhores resultados, sensores de não contato com o meio líquido são recomendados, dentre eles os sensores ultrassônicos e aqueles que se utilizam de RADAR (***RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging*) (Marques, 2017). Pode-se citar como vantagens na utilização destes: Não contato com a lâmina de água, grande precisão (±3 mm), inerte a neblina, chuva e flutuações de temperatura e de pressão atmosférica, instalação com mínimo de estrutura física (Vaisala Inc., 2017)

3.9. Sistema plantio direto na palha

O Sistema Plantio Direto[8] (SPD) constitui-se em um conjunto de tecnologias com potencial de modificação estrutural da agricultura brasileira, pois resulta em aumentos da produtividade das principais culturas produtoras de grãos e na preservação e melhoria da capacidade produtiva do solo (Salton; Hernani; Fontes, 1998). Causa pouca perturbação no solo, vindo a diminuir, desta maneira, a capacidade de formação de água livre na superfície do solo (Volk; Cogo, 2009).

Segundo Franchini et al. (2009) o SPD, desde que manejado segundo seus princípios básicos (mínimo revolvimento, manutenção do solo permanentemente coberto e rotação de culturas), constitui-se em uma tecnologia capaz de atender a esses dois requisitos: 1) aumentar o volume de água armazenada no solo disponível às plantas, por meio da redução das perdas de água que ocorrem por evaporação e do aumento na capacidade de infiltração de água no solo; e/ou: 2) proporcionar condições adequadas às plantas para que desenvolvam raízes profundas, de forma que a água explorável não fique limitada à camada superficial do solo (0-20 cm).

Friedrich; Derpsch; Kassam, (2012) citam que no início da década a área cultivada sob SPD no mundo era de aproximadamente 125 milhões de hectares, e que o Brasil ficava

---

[8] O “sistema plantio direto” é, assim, uma estratégia de exploração de sistemas agrícolas produtivos que contempla o mais amplo complexo de processos tecnológicos preconizados pela agricultura conservacionista. Portanto, é relevante destacar que agricultura conservacionista não é sinônimo de “sistema plantio direto”, pois este contempla apenas parte dos preceitos da agricultura conservacionista. Do exposto, é notório e evidente que esse abrangente complexo de benefícios atribuído ao “sistema plantio direto” não é passível de ser creditado ao “plantio direto”, dada a ampla diferença que apresentam em relação à amplitude de preceitos da agricultura conservacionista que contemplam. (Denardin et al., 2012)

em terceiro lugar, praticamente empatado com a Argentina (25,5 milhões de ha) e com os EUA (26,5 milhões de ha). Todavia atualmente não há consenso da extensão da área plantada em SPD no Brasil: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (2018a) relata 32 milhões de ha, mas segundo Luís Carlos Hernani citado em Embrapa Solos (2018), destes, apenas 2,7 milhões seguiam corretamente os preceitos preconizados pelo sistema.

Conforme a Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, (2018b), durante toda a década de 1990 a área com plantio direto aumentou em cerca de 15 milhões de hectares. Essa forte adoção na produção de culturas anuais se deveu, principalmente, aos efeitos imediatos dessa forma de manejo sobre as perdas de solo por erosão hídrica e sobre o tempo de trabalho dedicado ao preparo de cada safra.

A essas vantagens podiam-se juntar outras que ocorrem após alguns anos de adaptação ao sistema, tais como, maior produtividade, menor uso de insumos e de combustível fóssil, menor custo de manutenção de máquinas, entre outras. No entanto, Bolliger et al. (2006) concluíram que a maioria dos agricultores brasileiros não praticava o SPD ideal ou modelo, principalmente os pequenos agricultores pouco providos de recursos. As principais razões para isso, apontadas neste estudo, foram: a incapacidade dos produtores de custear as culturas de cobertura ou os herbicidas apropriados, a necessidade de preparo eventual para incorporar calcário ou aliviar a pressão das plantas espontâneas e a necessidade econômica de explorar apenas as culturas que geram receitas.

Assim como ocorre nos Estados Unidos e Austrália (Lyon et al., 2004), por exemplo, as boas práticas que caracterizam a agricultura conservacionista têm sido negligenciadas (Derpsch et al., 2014), também, no Brasil, apesar da maciça adoção do plantio direto. Em que pese o fato deste país ter se tornado um exemplo mundial, em função da forte evolução da adoção do SPD, ainda existem muitos desafios a serem vencidos para que o sistema possa ser utilizado de forma plena, e agregado, sobretudo, às demais práticas de manejo conservacionistas.

Motter; Almeida (2015) citam que, o SPD, como é conhecido no Brasil, ou “agricultura conservacionista” como é denominado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), é a melhor forma de associar a produção agrícola rentável com a preocupação de manter e conservar os recursos naturais, buscando constantemente a sustentabilidade dos sistemas de produção.

Entretanto, Martins et al. (2018) afirmam que ainda há muita resistência dos produtores rurais em adotar estratégias de diversificação, intensificação e rotação de culturas, alegando riscos econômicos e até carência de informação, e isso limita o uso pleno do SPD.

Todavia, mesmo em áreas sob SPD, tem sido verificado perdas continuadas por erosão hídrica de solo e água em várias regiões do país. Além da intensificação dos processos erosivos, tem sido observada diminuição da estabilidade da produtividade das culturas, face

à maior suscetibilidade das plantas à ocorrência de estresses hídricos. Nesse tipo de plantio, o sistema de produção é, predominantemente, baseado em monocultura (soja-pousio-soja) e, menos frequentemente, em sucessões simples tipo soja-milho safrinha ou ainda, mais raramente, em sucessões como soja-milheto, soja-trigo ou soja-aveia preta. Tal procedimento tem induzido a perda da biodiversidade, aumento de incidência de pragas e doenças de plantas e do custo para seu controle, concentração do sistema radicular nas camadas superficiais, resultando na queda da qualidade física, química e biológica do solo. (Embrapa Solos, 2018)

Esse problema vem se ampliando nos últimos anos, devido, sobretudo, à ausência de políticas de médio e longo prazo que valorizem a adoção de técnicas conservacionistas, levando os agricultores a priorizar resultados econômicos imediatos, em detrimento dos princípios basilares do SPD e da agricultura conservacionista (Ralisch et al., 2010 e Neto et al., 2007).

3.10. Indicadores de qualidade de manejo de solo

A efetiva participação dos agricultores, e ou das entidades que os representam, nos processos de identificação de indicadores de qualidade de manejo agrícola, torna-se muito importante para que aqueles sejam convencidos, já que a pura e simples identificação técnica e científica, tem se mostrado insuficiente para a expansão da adoção de melhores práticas agrícolas. (Vieira Filho; Silveira, 2012)

De acordo com Kassam et al. (2009), se um solo manejado sob a agricultura conservacionista proporcionar propriedades semelhantes ao de um solo de mesma unidade taxonômica sob floresta, então aquele deve propiciar taxas de infiltração que, quase sempre, excedem a intensidade das chuvas, promovendo a infiltração quase total da água das precipitações modais. Entretanto, culturas comerciais manejadas sob SPD têm apresentado taxas de infiltração de 30% a 90% menores que na condição sob floresta (Machado, 1976; Luciano et al., 2010).

Este problema tem influenciado negativamente, cada vez mais, as atividades rurais, bem como a produção e a qualidade da água. A redução da permeabilidade do solo em bacias hidrográficas influencia diretamente na produção e qualidade da água, fato este que tem preocupado, entre outros setores, aqueles ligados à geração de energia hidroelétrica[9] no Brasil (Leonardo, 2003).

---

[9]Carvalho; Catharino (1993) apresentam a previsão do assoreamento e vida útil do reservatório de Itaipu com indicação da altura de sedimento no pé da barragem para 100 anos e o tempo em que o depósito alcançaria a soleira da tomada d'água. Linsley; Franzini (1978) consideram que o tempo de

O conhecimento de indicadores de qualidade do solo pode ser subsidiado também mediante a utilização de metodologia participativa. O desenvolvimento de base de conhecimento "híbrida", por meio da integração participativa entre os saberes locais e técnicos, relativos a indicadores de qualidade de solo, representa um esforço para entender a complexidade da tomada de decisões quanto ao manejo de recursos naturais, visando manter a provisão de serviços ecossistêmicos (Barrios; Coutinho; Medeiros, 2011). A participação do público alvo na definição dos indicadores facilita a adoção das práticas recomendadas e aproxima os avaliadores da realidade avaliada.

Visando ao acesso ao conhecimento local em relação à qualidade do manejo de sistemas produtivos na gleba/propriedade agrícola, Roloff; Lutz; Mello (2011a) propuseram um Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto na Palha (IQP), onde o próprio agricultor, utilizando sua cultura e conhecimento, avalia a qualidade do manejo que utiliza e define onde o seu sistema de produção deve ser melhorado. Este índice envolve a identificação da intensidade e diversidade do sistema de rotação e a persistência da cobertura morta; verifica ainda, com que frequência ocorre revolvimento/preparo de solo, a ocorrência e a frequência de transbordamento de terraços, o tempo de adoção do plantio direto, os tipos, a adoção e os critérios de adubação utilizados. Correlacionados com índices estabelecidos como ideais, a influência de cada indicador é obtida mediante aplicação de fatores de ponderação, de forma que se chega ao IQP por gleba/propriedade, que então é extrapolado para a microbacia como um todo. Os autores consideram que o IQP permite ao agricultor a sua própria avaliação e a comparação de microbacias entre si.

Verifica-se que o IQP, apesar de envolver ações fundamentais ao desenvolvimento do SPD (cobertura permanente do solo com planta viva e seus resíduos, ocupação permanente de um volume máximo de solo com raízes vivas, efetivas e diversificadas, com máxima biodiversidade), considera, ainda, outras práticas conservacionistas, como o terraceamento, frequentemente necessárias, mas que vão além dos preceitos essenciais desse sistema de manejo. Tais práticas, segundo Derpsch (2008) são pertinentes não apenas ao SPD, mas a todo o arcabouço da agricultura conservacionista.

Tal metodologia já fora aplicada por Martins et al. (2018) com produtores em propriedades rurais de 12 microbacias na região conhecida como “centro-sul” do Brasil para traçar um panorama *ex ante.*

---

vida útil de um reservatório termina quando o volume assoreado for suficiente para impedir que o reservatório seja utilizado de acordo com os propósitos para os quais foi construído, considerando para efeito de estimativa geral um volume equivalente à perda de 80% do volume útil do reservatório.

> “Conservar solo, água, atmosfera, floresta, escolarizar... não é prioridade do espécime, mas da espécie. Todavia, somente espécimes podem promover ações de preservação do solo, da água, da atmosfera, da floresta, escolarizar... Portanto, somente mediante o reconhecimento (política de compensação) do esforço individual em promover aquilo que é prioridade da espécie é que o espécime se dispõe a fazer. Exemplo: para escolarizar a população desde tenra idade, foi necessária uma estratégia de distinção dos indivíduos que melhor desempenham na atividade estudar. Para conservar o solo e a água necessários para toda espécie, é necessário que a coletividade distinga, premie o indivíduo que melhor desempenhe na tarefa de conservar” (D’Agostini, 2019[10])

[10] Comunicação pessoal do Professor Luiz Renato D’Agostini da Universidade Federal de Santa Catarina. É membro fundador e coordenador do Núcleo de Estudos em Monitoramento e Avaliação Ambiental - NUMAVAM/CCA/UFSC

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

4.1.1. Localização da área experimental

Para a realização do trabalho, foram selecionadas duas microbacias (MBH) localizadas no município de Itaí (SP). Os pontos de monitoramento em relação aos municípios vizinhos, bem como à Represa de Jurumirim, com área de aproximadamente 450 km² (Panarelli; Nogueira; Henry, 2001) estão representados na Figura 3.

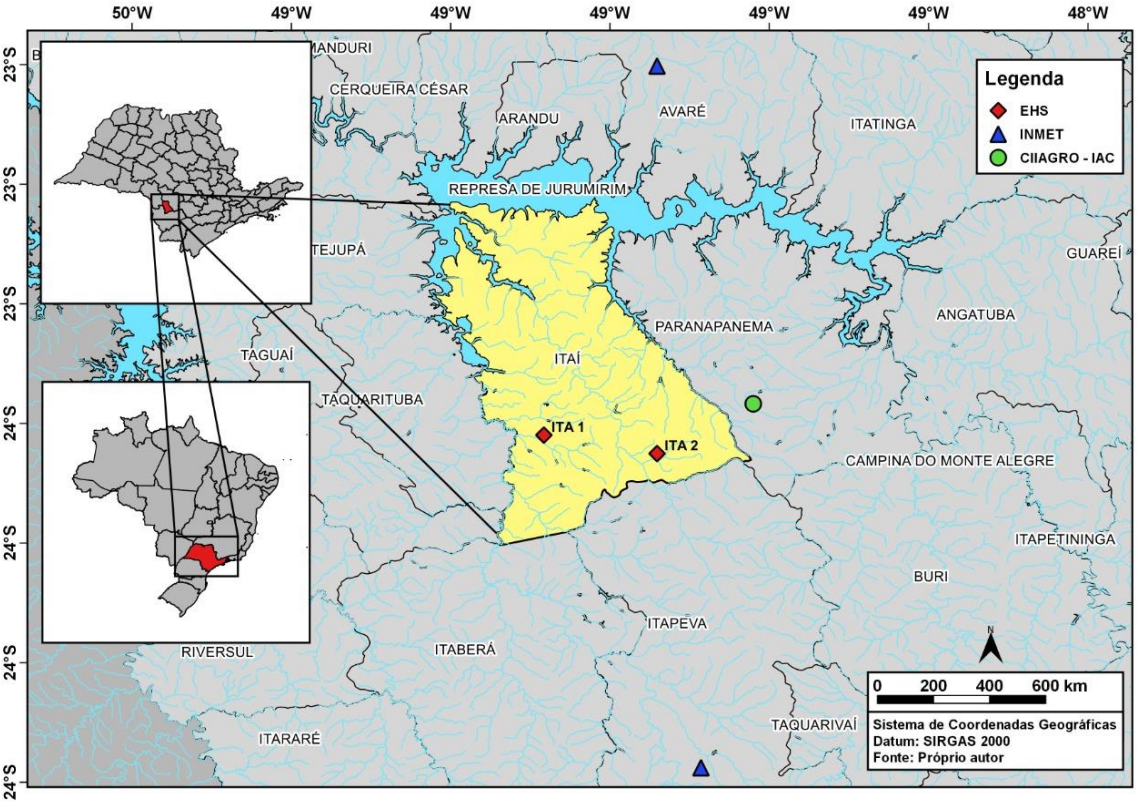


Figura 3: Localização das estações de monitoramento.

De acordo com Rossi (2017), e confirmado[11] localmente, o solo predominante na área da MBH ITA-2 é classificado, segundo Santos et al. (2018), como Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura argilosa epieutrófico. Na MBH ITA-1, o solo é um Latossolo Vermelho Distrófico típico A moderado textura muito argilosa epieutrófico. Resultados das análises de perfis de solo são apresentados em forma de tabela em anexos.

---

[11] Comunicação pessoal de Ademir Fontana (especialista em pedogênese, classificação taxonômica de solos e levantamento pedológico) em 08 de março de 2019, recebida por correio eletrônico.

4.1.2. Critérios de seleção das microbacias

Como critério de seleção das microbacias a serem estudadas, buscou-se, ao adotar as áreas de monitoramento, que estas deveriam apresentar características fisiográficas[12] semelhantes, e ter o plantio direto na palha como uma das principais formas de manejo do solo, permitindo assim análises comparativas entre elas.

Por se tratar de microbacias pareadas, em uma o manejo devia ser de boa qualidade, ou seja, além do SPD fossem também adotadas as prescrições básicas da agricultura conservacionista, e na outra o manejo do solo deveria apresentar qualidade inferior a primeira. Assim sendo, assumiu-se ITA-2 como aquela onde o manejo é de melhor qualidade, enquanto ITA-1 como a que o manejo do solo não é de tão boa qualidade.

Outros critérios adotados foram: Inexistência de represa ou “embaciamento” ou várzea logo após a nascente; A nascente gerar uma corrente de água com margens bens delineadas; Formar uma área de captação fácil de perceber até visualmente ("anfiteatro“); Ser de 1ª. Ordem; O proprietário se mostrar acessível e disposto a assumir um papel altamente participativo e que a quantidade de água fosse suficiente inclusive nos períodos de estiagem ou não chuvosos. Em termos de localização espacial, as microbacias distam aproximadamente 15 quilômetros entre si em linha reta.

4.1.3. Padrão geométrico das microbacias

O padrão geométrico e do uso da terra das microbacias hidrográficas foi realizado utilizando-se técnicas e ferramentas de geoprocessamento. Dados cartográficos e imagens de satélite foram utilizados para delimitação (Figura 4) e estabelecimento das variáveis de entrada (Tabela 1) nas equações (3) e (4), bem como para auxiliarem na interpretação dos resultados. As informações referentes a estas microbacias e metodologias adotadas são encontradas em Sabino et. al (2018).

---

[12] São características do meio físico relevantes para o planejamento e manejo de bacias hidrográficas, que contribuem para o conhecimento do seu comportamento hidrológico bem como a conservação dos recursos hídricos. (Prado; Novo; Ferreira, 2010)

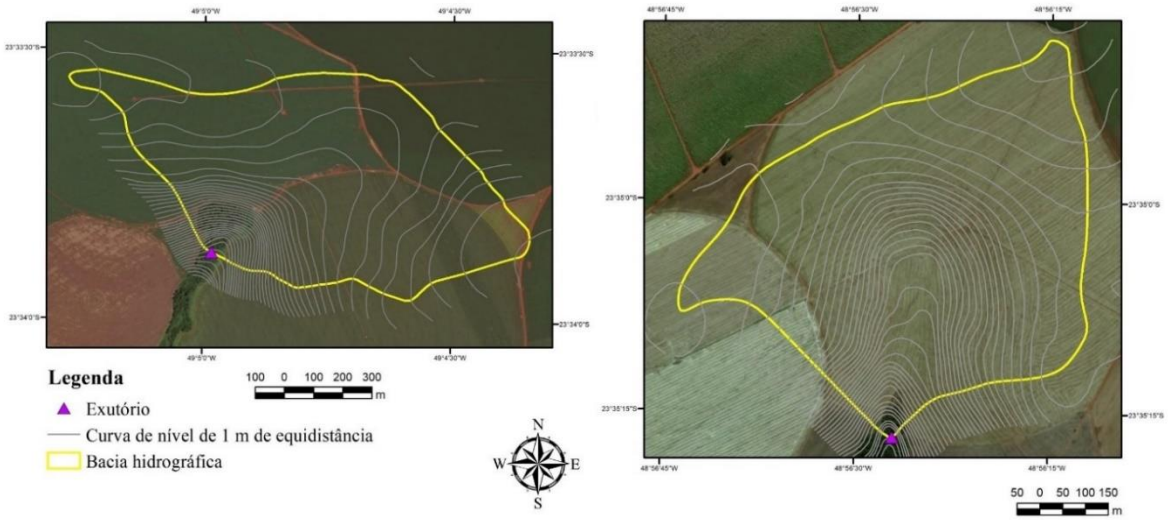


Figura 4: Delimitação das microbacias ITA-1 (Esquerda) e ITA-2 (Direita).
Fonte: Adaptado de Sabino et al. (2018)

Tabela 1: Descrição morfométrica das microbacias ITA-1 e ITA-2

MBH	Altitude (m)	Declividade média (%)	Área (km²)	P (km)	CC	IC	FF	L (m)
ITA-1	613 - 647	2,3	0,74	3,88	1,3	0,6	0,2	686
ITA-2	672 - 710	4,2	0,47	2,84	1,2	0,7	0,5	547

P, perímetro; CC, coeficiente de compacidade; IC, índice de circularidade; FF, fator de forma conforme Villela; Mattos (1975), L, caminho médio dos sedimentos.
Fonte: Sabino et al. (2018)

4.1.4. Clima

O clima do município de Itaí, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo Cwa[13], caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno. A temperatura do ar média anual é de 20,9°C, oscilando entre mínima média de 14,7°C e máxima média de 27,2°C e a precipitação pluvial média anual é de 1346,2 mm.

O balanço hídrico climatológico, segundo metodologia proposta por Thornwaithe (1950) e calculado por algoritmo computacional de Rolim; Sentelhas; Barbieri (1998), com dados oriundos do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura - CEPAGRI/UNICAMP (CEPAGRI, 2018), resulta em excedente hídrico em praticamente o ano todo (Figura 5).

[13]Clima subtropical de inverno seco (com temperaturas inferiores a 18ºC) e verão quente (com temperaturas superiores a 22ºC). Este é o clima da maior área do Estado de São Paulo, principalmente nas regiões central, leste e oeste (Ventura, 1964).

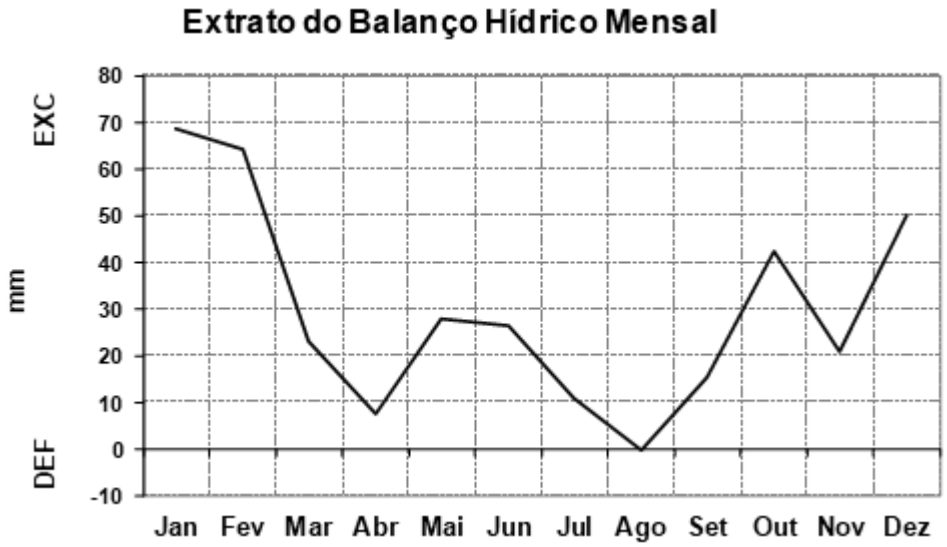


Figura 5: Extrato do balanço hídrico climatológico para o município de Itaí (SP).

4.1.5. Hidrografia

Durante a elaboração de planos integrados regionais de saneamento básico e atividades de apoio técnico à elaboração de planos integrados municipais de saneamento básico para a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Alto Paranapanema[14], São Paulo (2014) assim definiu a hidrografia do município de Itaí:

> "O município de Itaí localiza-se no noroeste da UGRHI[15] 14, tendo como corpos d'água principais o Rio Taquari-Guaçu, o Rib. das Posses ou do Boqueirão e o Rib. dos Carrapatos que corta o município de norte a sul, ressaltando que todos deságuam na Represa Jurumirim, que também atende ao município de Itaí.
>
> A maior porção territorial de Itaí encontra-se localizada na sub-bacia do Baixo Taquari, havendo, porém, uma porção a extremo leste que está inserida na sub-bacia do Rib. da Posse/Rio Paranapanema.
>
> O território do município de Itaí está subdividido em sub-bacias de menor extensão, correspondentes aos contribuintes da margem direita do Rib. dos Carrapatos,

[14] A bacia hidrográfica do Alto Paranapanema refere-se à porção paulista do rio Paranapanema. O Alto Paranapanema ocupa uma área de aproximadamente 2,3 milhões de hectares e apresenta em seus limites físicos 55 municípios (Kronka et al., 2005)

[15] Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo

da margem direita do Rio Taquari-Guaçu e margem esquerda do Rib. das Posses ou do Boqueirão, além de alguns afluentes da Represa Jurumirim.”

As informações acima estão indicadas na Figura 6 e o código, afluente e área aproximada de captação dos pontos de monitoramento, são apresentados na Tabela 2.

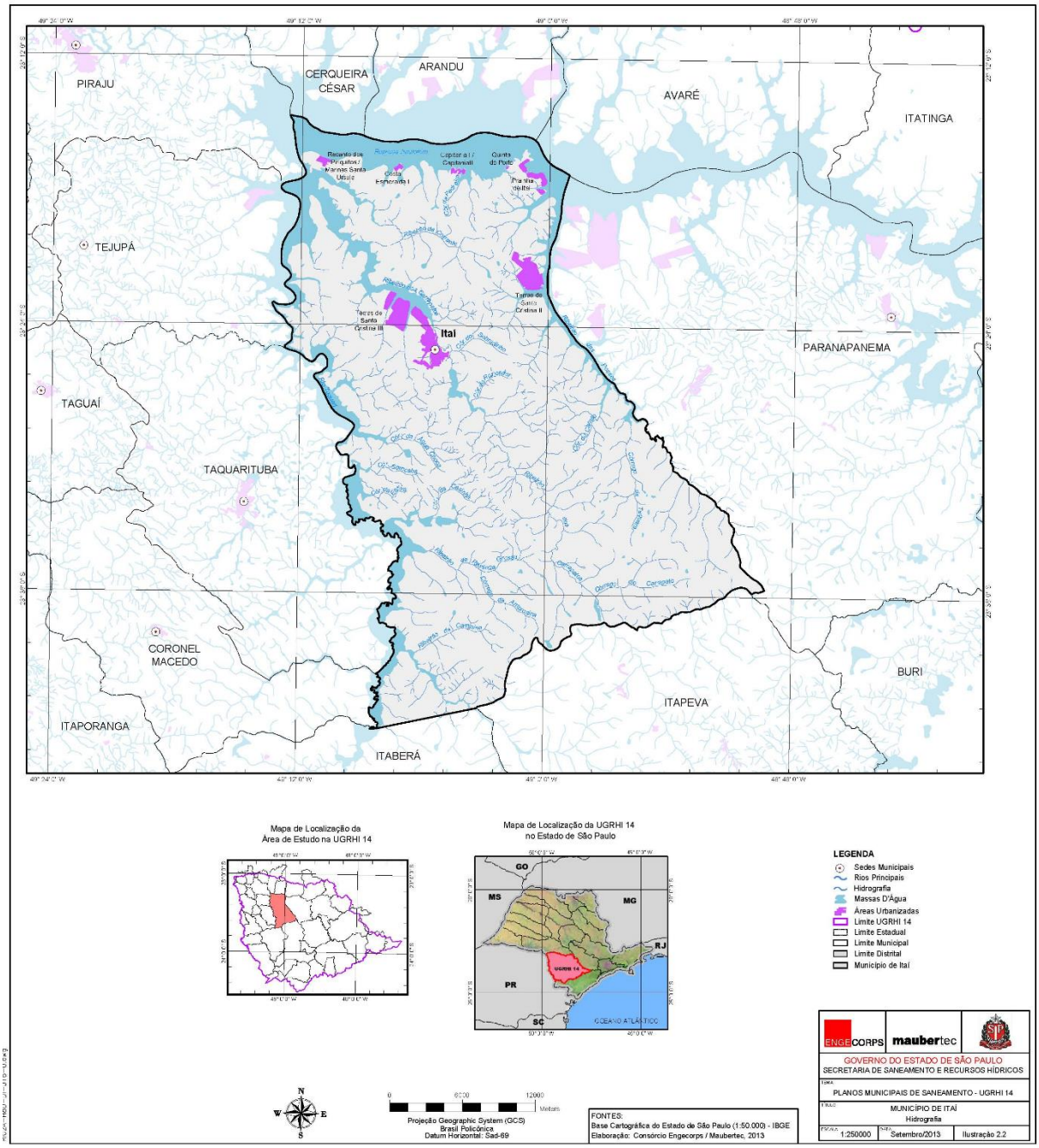


Figura 6: Hidrografia do município de Itaí (SP).
Fonte: Adaptado de São Paulo (2014)

Tabela 2: Código e afluentes das MBH monitoradas.

CÓDIGO	AFLUENTES	ÁREA (ha)
ITA-1	Ribeirão da Restinga Grossa	74
ITA-2	Ribeirão dos Carrapatos	47

De acordo com São Paulo (2014), o manancial de abastecimento do município é o Ribeirão dos Carrapatos. No ponto da captação, está enquadrado na Classe 2[16] e a vazão média de longo período corresponde a 45,75 L s^{-1}.

4.1.6. Uso e cobertura vegetal

Segundo São Paulo (2018), cerca de 8% da área do município é coberta por algum tipo de vegetação nativa, o restante é ocupado pela agricultura. Na Figura 39 (Anexos) há uma representação gráfica e espacializada desta informação.

O principal uso agrícola dos solos no município de Itaí se dá na produção de grãos (feijão, milho, soja e trigo) e culturas anuais (algodão) em condição irrigada, sendo este o município com maior área de pivôs centrais do Estado de São Paulo – cerca de 13.840 ha. De acordo com IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018), o município de Itaí respondia como maior produtor de algodão e 3° maior produtor de feijão do Estado de São Paulo, sendo que a maior parte é cultivado em SPD.

De acordo com cálculos realizados, tendo como base imagem de satélite de 14/07/2018 (Google LLC, 2019), a área de vegetação ripária em ITA-1 é da ordem de 2,15 ha enquanto que em ITA-2 é de 0,25 ha. Proporcionalmente ao tamanho da área de influência da bacia, representam cerca de 3% e 0,5%, respectivamente, para ITA-1 e ITA-2.

E como forma de subsidiar a discussão dos resultados, tomou-se, junto aos responsáveis pela área agrícola de cada propriedade, as informações sobre as culturas implantadas em cada área, datas de semeadura e colheita, com a finalidade de se estabelecer o tipo de cobertura do solo ao longo do monitoramento.

---

[16] Segundo a Resolução CONAMA 357/2005: CLASSE 2, águas que podem ser destinadas a(o): abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho), conforme CONAMA 274/00; irrigação de hortaliças e plantas frutíferas, parque e jardins e outros com os quais o público possa vir a ter contato direto; aquicultura e à atividade de pesca.

4.1.7. Caracterização agrícola

Martins et al. (2018) mostram que na região há predominância de quatro ou cinco modelos de sucessão e/ou rotação de culturas, alguns de 2 anos e outros de 3 anos, e consideram que o algodão determina o ciclo de 3 anos. Em quase todas as propriedades, ocorrem todos os sistemas, e algumas semeaduras são realizadas com botinha[17] como prevenção à compactação, mas a semeadura do cereal de inverno é com semeadora sem botinha. Às vezes, é cultivada batata na rotação, contudo esse modelo não foi considerado na caracterização por ser cultivado de forma esporádica; assim também a sequência feijão–milho é pouco ou quase nunca praticada devido à menor rentabilidade do milho comparada à soja na safra de verão e, principalmente, devido ao relativo curto período entre dois cultivos de feijão.

Ainda de acordo com Martins et al. (2018), os atores locais envolvidos no sistema produtivo relatam que o “escorrimento superficial” (sic) é problema em ano muito chuvoso, especialmente após a colheita do feijão, devido à pouca palhada remanescente.

O levantamento realizado diretamente com os responsáveis pelas propriedades agrícolas, nas quais as MBHs monitoradas estão inseridas, mostrou que houve predominância de cultivos de milho, soja, trigo, feijão e algodão (Figura 7A e Figura 7B). Em ambas, tais cultivos são, em sua maioria, sob irrigação cujo método adotado é o do pivô central manejado de acordo com a demanda hídrica da cultura instalada. Porém, em algumas partes que compõe a área de influência da bacia, e mais especificamente na MBH ITA-2, há porções de terra cultivadas sob regime de sequeiro que, neste caso, fica na dependência[18] da entrada de água única e exclusivamente pela chuva.

O solo é intensivamente utilizado, e poucos são os períodos sem culturas implantadas. Neste caso, a presença de “palhada” da cultura antecedente tem papel importante na proteção do solo contra o impacto das gotas de chuvas, que podem vir a desencadear o processo erosivo do solo.

O calcário de manutenção é aplicado sempre em superfície, sem incorporação. Consideram-se como cultivo mínimo as operações de preparo de solo que são feitas antes da semeadura de feijão, inclusive, para diminuição de palhada, e consequente redução do efeito de geadas, em áreas de ocorrência. Com isto, na região de Itaí,

---

[17] Mecanismo para abertura de sulcos para semeadoras-adubadoras.

[18] Segundo comunicação pessoal de ambos os gerentes das propriedades, onde se deu o monitoramento, a cultura do trigo de sequeiro foi prejudicada devido à escassez da precipitação pluvial no período de abril a agosto de 2018.

por haver sempre preparo de solo antes do cultivo do feijão, portanto, não se adota o SPD pleno, mas apenas semeadura direta das culturas de interesse. (Martins et al., 2018)

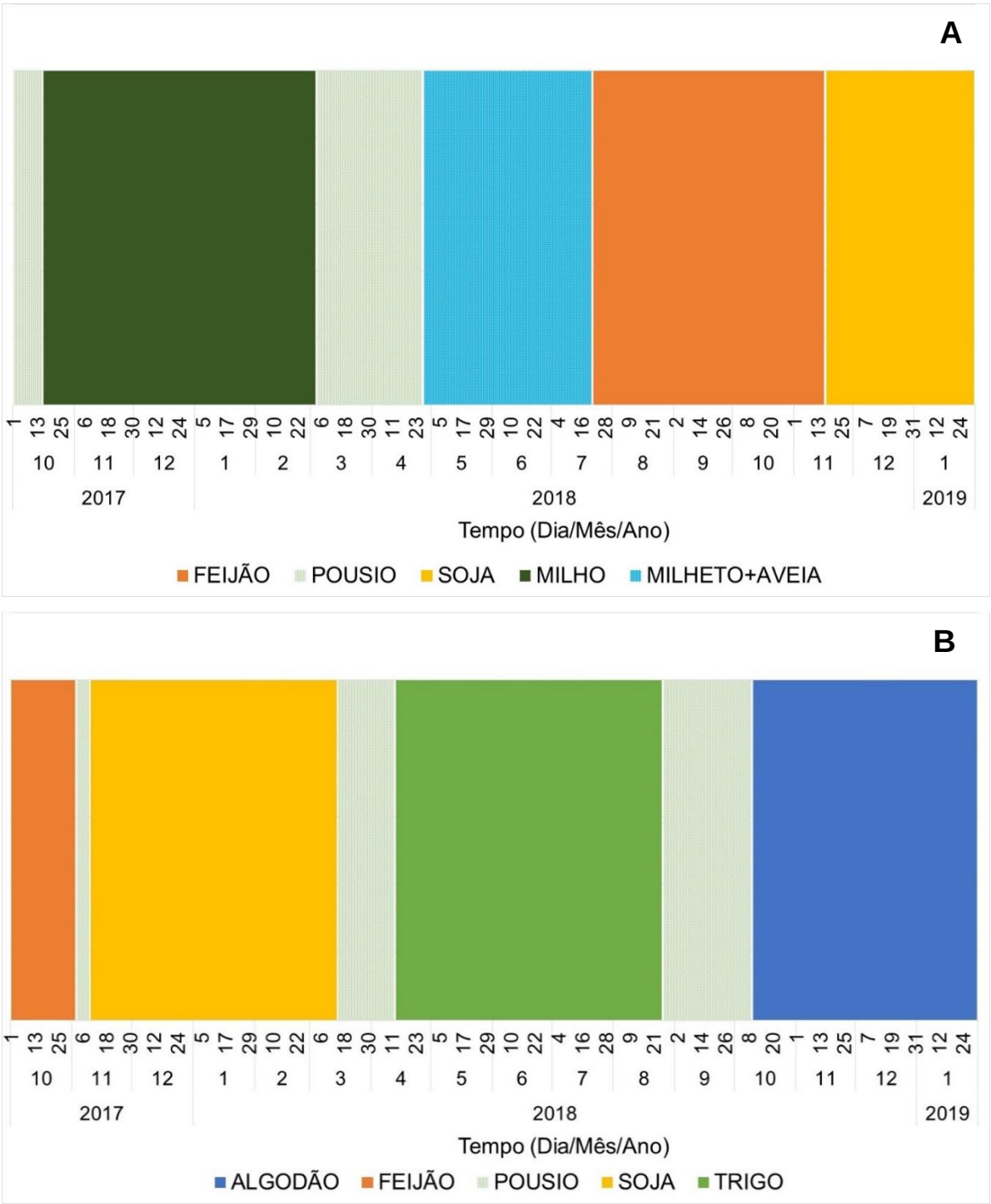


Figura 7: Croqui mostrando a distribuição temporal das culturas implantadas nas microbacias ITA-1 (A) e ITA-2(B) ao longo do período de monitoramento.

4.1.8. Determinação do IQP nas microbacias

De acordo com Martins et al. (2018), o SPD nesta região é conduzido sob regime irrigado e o IQP (Roloff; Lutz; Mello, 2011a), aplicado até então, não considerava indicadores relacionados à irrigação; deste modo, houve a necessidade por parte dos primeiros autores citados a necessidade de construir ou adaptar um IQP específico[19]

Neste sentido, em dezembro de 2015, foi realizada a primeira "Oficina de Facilitadores na Metodologia IQP", cujo objetivo foi avaliar o IQP e readequá-lo para a região de Paranapanema, SP, com ênfase para as microbacias monitoradas de Itaí, SP, onde predomina o Plantio Direto Irrigado. Em fevereiro de 2016, ocorreu a "II Oficina de Facilitadores na Metodologia IQP", em Campos de Holambra, Paranapanema, SP, com a presença do mesmo Grupo de Trabalho constituído na primeira oficina e, em abril de 2016, deu-se a "III Oficina de Facilitadores na Metodologia IQP" (Martins et al., 2018), cujo resultado final foi o estabelecimento da equação para o cálculo do IQP bem como parâmetros de entrada, níveis críticos[20] e as devidas ponderações (Equação 15)

$$IQP = (IR*1,5 + DR*1,5 + PR*1,5 + FP*1,0 + TE*1,0 + AC*1,0 + FE*1,0 + TA*1,0) \quad (15)$$

Em que IR é a intensidade da rotação; DR é a Diversificação da rotação; PR é a persistência da palhada/resíduos; FP é a frequência de preparo de solo; TE é o terraceamento correto; AC é a avaliação da conservação; FE é a fertilização equilibrada, e TA é o tempo de adoção do SPD.

A metodologia do IQP, com base nos valores determinados para este indicador (Martins et al., 2018), qualifica o manejo em áreas de Plantio Direto nas seguintes classes: a) manejo **Muito Bom**, valores de IQP entre 10 e 8,51; b) manejo **Bom**, entre 8,5 e 6,51; c) manejo **Regular**, entre 6,5 e 4,5; e d) manejo **Ruim**, quando os valores de IQP forem < 4,5.

---

[19] O IQP foi desenvolvido em áreas localizadas na margem esquerda da represa de Itaipu, onde se utilizam sistemas de produção com características específicas. Por esta razão, a difusão e o uso do IQP, em outras regiões do País, demandam mobilização de produtores e técnicos nos diferentes locais ou regiões e, possivelmente, adequação metodológica. (Martins et al., 2018)

[20] Os indicadores também são associados a valores considerados críticos, que podem então ser usados para priorizar e direcionar as ações corretivas. Esses valores são estabelecidos subjetivamente e devem ser reavaliados periodicamente conforme o SPD evolui em determinada região. (Roloff; Lutz; Mello, 2011a)

Os dados de entrada para o cálculo do IQP foram oriundos da aplicação de questionários e entrevistas realizadas junto aos produtores e técnicos das microbacias ITA-1 e ITA-2, em ocasião posterior[21] às oficinas, em trabalhos de campo conduzidos por Martins et al. (2018).

4.1.9. Variáveis monitoradas nas microbacias.

Nessas microbacias hidrográficas (primeira ordem) foram monitoradas, automaticamente e em tempo real, a vazão, a turbidez, a condutividade elétrica e a temperatura da água e o conteúdo de água no solo (umidade volumétrica), a condutividade elétrica e temperatura do solo na camada de 0-30 cm. A descrição dos sensores, a marca e modelos podem ser vistos no item 4.2 a seguir.

4.2. Estações de monitoramento (EHS)

Como forma de subsidiar a determinação da qualidade do uso das terras e do manejo do solo e da água nas duas microbacias hidrográficas selecionadas, foram implantadas no corpo hídrico que drena cada uma, estações automáticas para medição hidrossedimentológica, de elementos meteorológicos, de variáveis de física do solo e de parâmetros físico químicos da água.

Cada estação (Campbell Scientific Inc.), era composta de um coletor de dados (*Datalogger*) de 16 canais analógicos e memória RAM de 4 Mbytes, modelo CR1000, ao qual eram conectados:

- Sensor de nível de água por radar, modelo CS407;
- Sensor de turbidez de água, modelo OBS 3+;
- Sensor de temperatura e condutividade elétrica da água, modelo CS547-A;
- Sensor de conteúdo de água no solo (umidade volumétrica do solo) (CS650) baseado na tecnologia FDR (Reflectometria no domínio da frequência);
- Pluviômetro de báscula de alta intensidade, (*Hydrologycal Service,* modelo TB-4);
- Sistema de alimentação fotovoltaica com painel solar com potência de 50W e bateria de 12V 24Ah (Tendo sido substituída por bateria de 12V70Ah em ITA-2 no decorrer do monitoramento).

---

[21] Comunicação pessoal de Alba Leonor Da Silva Martins, em 11/07/2019, recebida por correio eletrônico.

O sistema de coleta de dados utilizado é de programação aberta e não dedicado, o que permite se estabelecer os tempos de amostragem e de armazenamento, e também agregar novos sensores e rotinas de controle a qualquer momento.

4.2.1. Monitoramento da vazão nos cursos d'água

Adotou-se no início dos trabalhos a estratégia de se tratar o leito do rio como um vertedouro retangular, sendo a soleira formada por uma rocha naturalmente assentada no curso d'água. Para tanto, as bordas laterais foram acertadas de tal maneira a se ter a distância "L" bem estabelecida.

Desta maneira, a vazão poderia ser calculada por meio da equação 16.

$$Q = 1{,}838 \, . l . h^{3/2} \tag{16}$$

em que Q é vazão ($m^3 s^{-1}$); l a largura do leito (m) e h a lâmina de água (m) apurada pelo sensor de nível (linígrafo).

Porém, em 15/03/2016[22], após um evento de precipitação pluvial de alta intensidade horária, no qual o canal do ponto de monitoramento em ITA-1 fora destruído (com perda dos sensores de turbidez e condutividade elétrica da água e danos ao sensor de nível), houve mudança na estratégia de monitoramento, substituindo-se o vertedor natural por uma calha tipo "H"[23] (Figura 8, Figura 9 e Figura 10), cuja instalação se deu entre os dias 21 e 24/08/2017 em ITA-1, e 10 a 14/09/2017 em ITA-2.

---

[22] A área vinha sendo monitorada desde setembro de 2015, todavia se utilizava de outra estratégia.

[23] A denominação "H", segundo o fabricante da calha, se refere ao modelo da calha desenvolvida pelo Serviço de Conservação do Solo (SCS) dos Estados Unidos adequada para a medição dos fluxos agrícolas. É assim chamada por ser o oitavo de uma série de canais investigados.

Fonte: http://www.sanecomfibra.com.br/noticias/conheca-calha-h

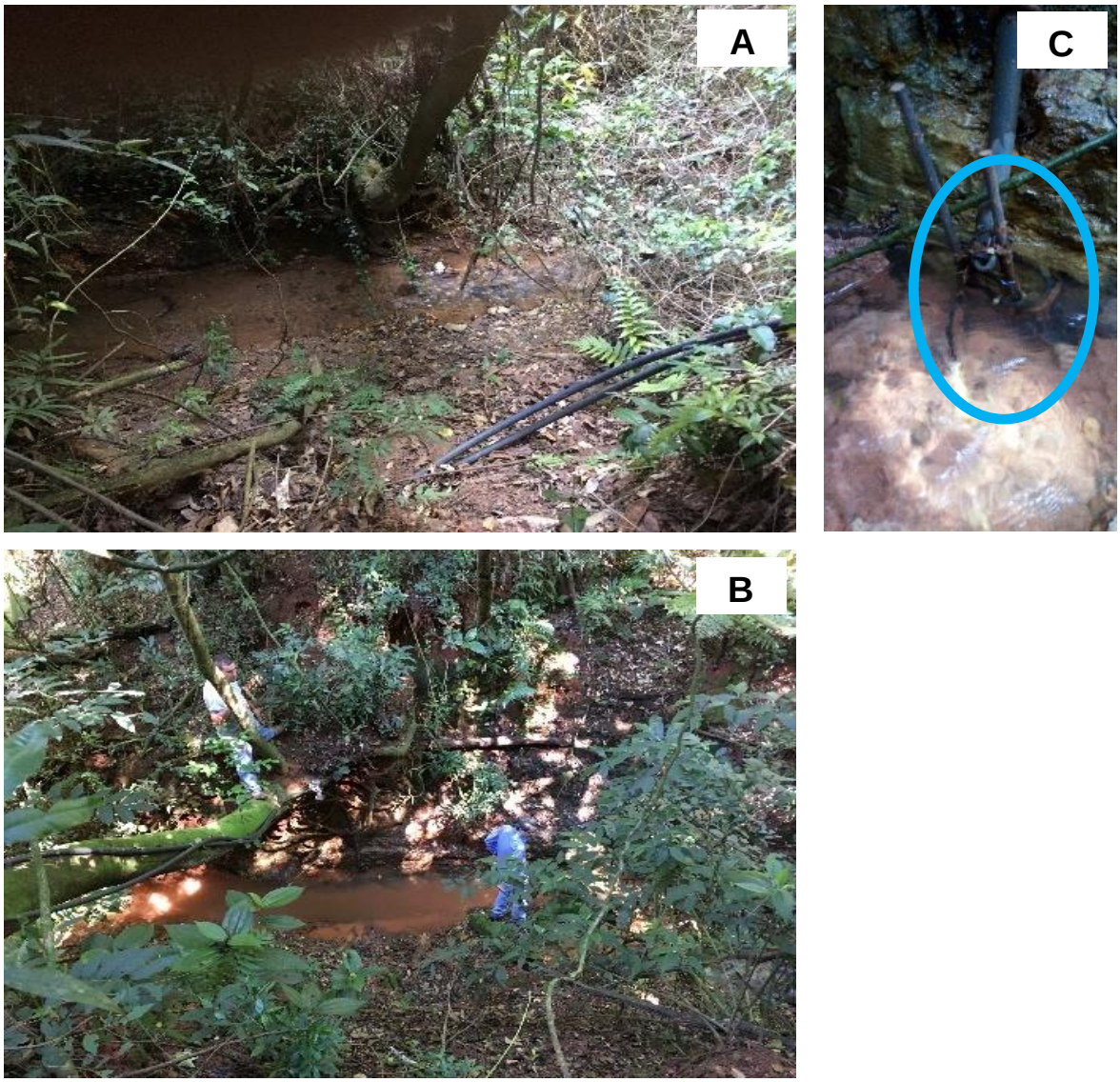


Figura 8: Ponto de monitoramento de vazão em ITA-1 (A), ponto de monitoramento de vazão na microbacia ITA-2(B) e em (C) detalhe dos sensores de turbidez e condutividade elétrica da água.

Figura 9: Montagem da calha “H” no ponto de monitoramento ITA-1. Em (A) se tem a calha assentada sobre o leito do riacho, em (B) a parede de concreto para direcionamento da água ao interior da calha, em (C) calha assentada e paredes laterais de contenção e (D) visão geral da calha recém instalada.

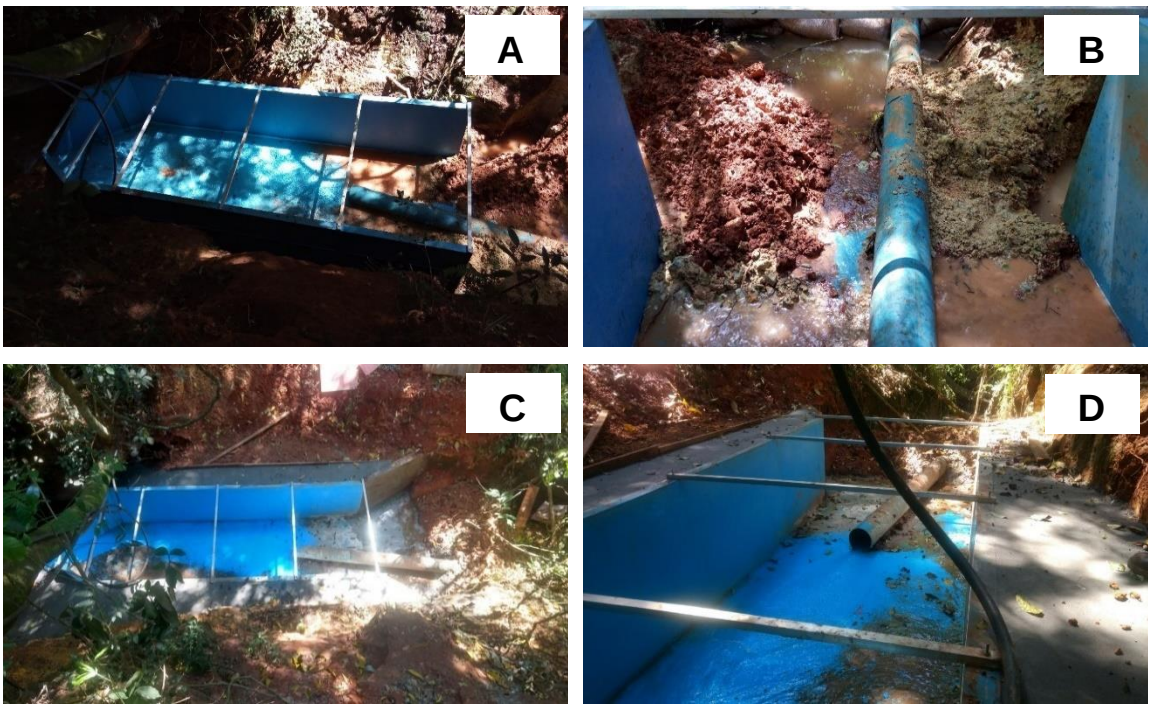


Figura 10: Montagem da calha “H” no ponto de monitoramento ITA-2. Em (A) se tem a calha assentada sobre o leito do riacho, em (B) barramento da água para construção da parede de concreto para direcionamento da água, em (C) visão geral da calha assentada, concretada e cimentada e (D) visão geral da calha recém instalada.

Com as calhas devidamente assentadas, realizou-se nova campanha, desta vez entre os dias 25 e 29/09/2017, com intuito de reposicionar os sensores em ITA-2 e substituir aqueles que foram arrastados e danificados pela enxurrada em ITA-1 (Figura 11 e Figura 12).

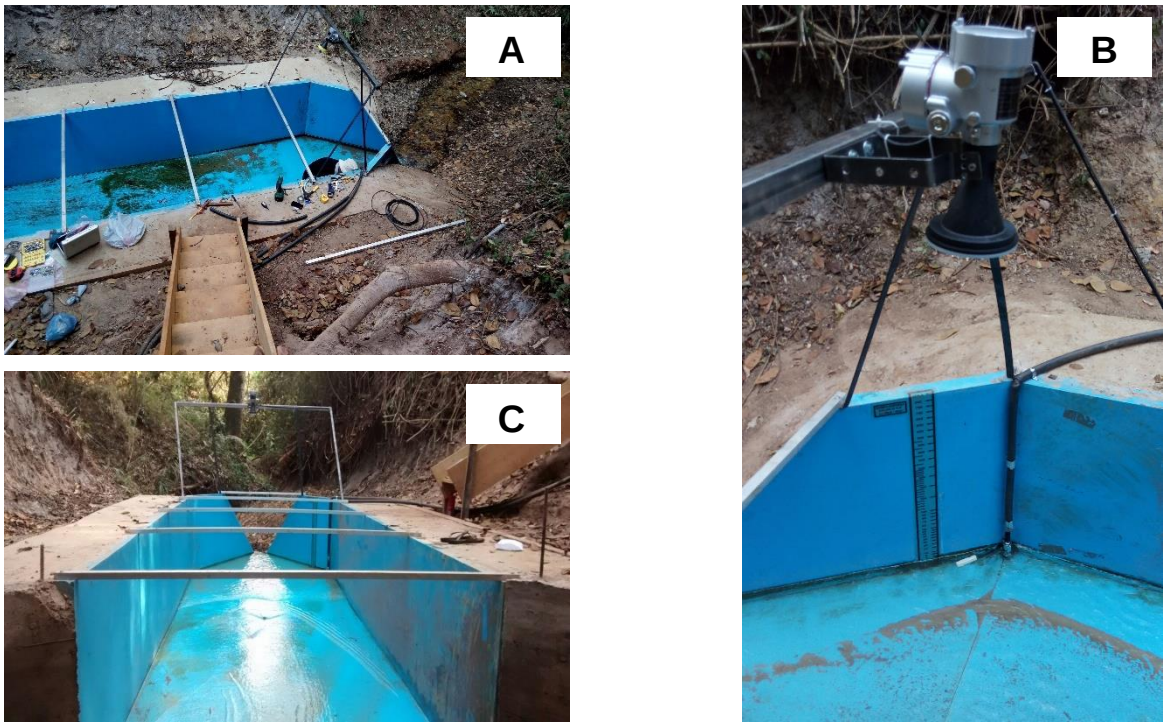


Figura 11: Montagem da calha "H" no ponto de monitoramento ITA-1 com sensores posicionados. Em (A) se tem a instalação dos sensores de turbidez e condutividade da água, em (B) detalhe para o sensor de nível por radar e em (C) uma visão do ponto de entrada do fluxo de água.

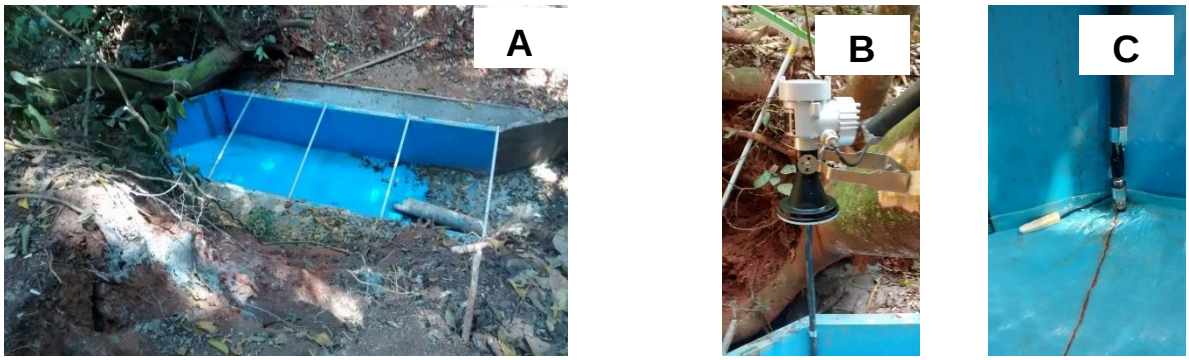


Figura 12: Montagem da calha "H" no ponto de monitoramento ITA-2 com sensores posicionados. Em (A) se tem uma visão geral dos sensores instalados, em (B) detalhe para o sensor de nível por radar e em (C) o detalhe dos sensores de turbidez e condutividade elétrica da água.

Para conversão das leituras de nível de água para vazão (Figura 40 em Anexos), utilizou-se a equação 17 fornecida pelo fabricante:

$$Q = 0{,}010562184 - 0{,}02359366.H^{0{,}5} + 315{,}8634991.H^{1{,}5} + 1677{,}657531.H^{2{,}5} \quad (17)$$

em que Q é a vazão (L s^{-1}) e H é a lâmina de água (m).

4.2.2. Monitoramento da turbidez e concentração de sólidos em suspensão

O sensor utilizado no monitoramento (OBS-3+, Campbell Scientific Inc.) mostrado na Figura 13 se baseia na tecnologia do infravermelho próximo (NIR – *Near infra-red*) e detecta a turbidez e o material em suspensão na água por meio da intensidade relativa da luz retroespalhada, ou seja, que volta em direção da origem, em ângulos variando de 90º a 165°(Campbell Scientific Inc., 2017).

Figura 13: Sensor de turbidez OBS 3+ utilizado nas estações de monitoramento de vazão e turbidez da água.

Cada sensor viera calibrado de fábrica com uma equação que relacionava a tensão de saída (V ou mV) com a unidade de turbidez (NTU) em duas escalas: uma para valores de turbidez inferiores a 1000 NTU e outra para valores entre 1000 a 4000 NTU (Tabela 3). Tal calibração levara em conta as leituras do sinal elétrico dos sensores imersos em padrões de formazina líquida em água destilada.

Tabela 3: Coeficientes da calibração de fábrica dos sensores utilizados nas EHS, para medição da turbidez (NTU) da água.

Turbidímetro	Faixa de turbidez (NTU)	A	B	C
S9609	0-1000	9,2709	1,6204 x 10^2	1,0032
(ITA-1)	0-4000	9,7696 x 10^1	7,0859 x 10^2	6,2897
S9614	0-1000	1,0698 x 10^1	1,5842 x 10^2	- 9,8837 x 10^{-1}
(ITA-2)	0-4000	1,0185 x 10^2	7,1292 x 10^2	- 7,5299

Y= AX^2 + BX + C, Y= turbidez (NTU) e X = sinal do sensor (V).

Contudo, para o cálculo do índice β e conseguinte IDE, é necessário a entrada dos valores de sólidos em suspensão. Vários autores, entre eles Gippel (1989), Tomazoni, Mantovani, Bittencourt, & Da Rosa Filho, (2005) e mais recentemente Chagas (2015), estabeleceram e validaram relações entre valores de turbidez e sólidos em suspensão por meio de sensores de retroespalhamento óptico. Desta maneira, valeu-se de um sensor ótico de turbidez (Tabela 4) (OBS 3+, Campbell Scientific Inc.) mais o solo coletado da área de estudo para gerar a respectiva curva de calibração para cada EHS. Esta amostra de solo, composta de material coletado na camada superficial de 0-0,1 m, nos terços inferior, médio e superior do terreno da área de captação onde se inseria a EHS, foi então levada ao laboratório, seca em estufa e destorroada. Utilizou-se se uma proveta graduada preenchida com 1 litro de água destilada. Esta proveta era apoiada sobre a base de um agitador magnético para simular o movimento da água (Figura 14).

Tabela 4: Coeficientes da calibração de fábrica do sensor utilizado na construção da curva de concentração de sólidos em suspensão x turbidez.

Turbidímetro	Faixa de turbidez (NTU)	A	B	C
S9244	0-1000	2,8272	$8,9137 \times 10^{1}$	$-2,4155 \times 10^{-1}$
	0-4000	$5,6126 \times 10^{1}$	$3,4493 \times 10^{2}$	$2,9166 \times 10^{-1}$

$Y = AX^2 + BX + C$, Y= turbidez (NTU) e X = sinal do sensor (V).

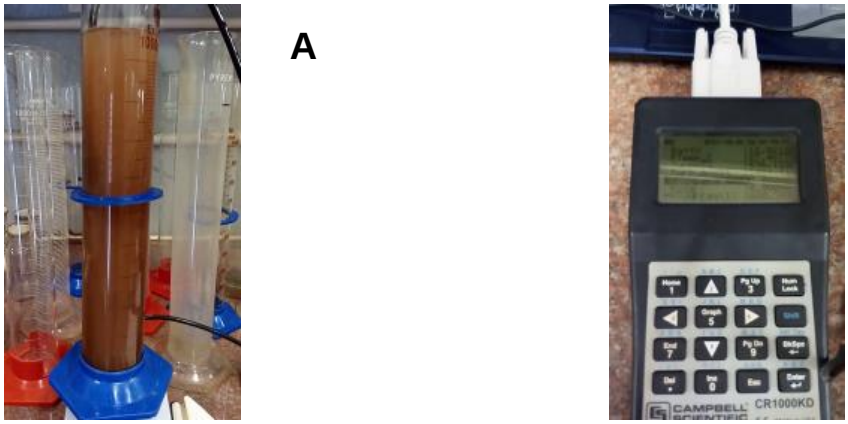


Figura 14: Instrumental utilizado na construção de curva turbidez (NTU) x Concentração de sólidos em suspensão ([CSS]) para um solo da camada de 0 – 10 cm. Em (A) proveta montada sobre um agitador magnético e (B) dados em tempo real e controle de início de armazenamento.

Para o estabelecimento da curva de calibração (Figura 15) adotou-se o seguinte protocolo:

1) Acrescentavam-se quantidades conhecidas de solo, pesadas em balança com precisão de 0,0001 g;

2) Ligava o agitador e permanecia assim por 1 minuto, findo o qual o sensor era acionado e permanecia a realizar leituras por mais 1 minuto;
3) Cada amostragem era realizada de maneira automática em um coletor de dados CR1000 (Campbell Scientific) a cada 5 segundos. Neste intervalo eram tomadas 21[24] leituras e o valor assumido era o que representava a moda dos valores. Ao final de um minuto se tinham 12 amostragens, sendo que o valor final daquele ponto se referia à média destas; e
4) Eram realizados no mínimo 15 pontos ao total.

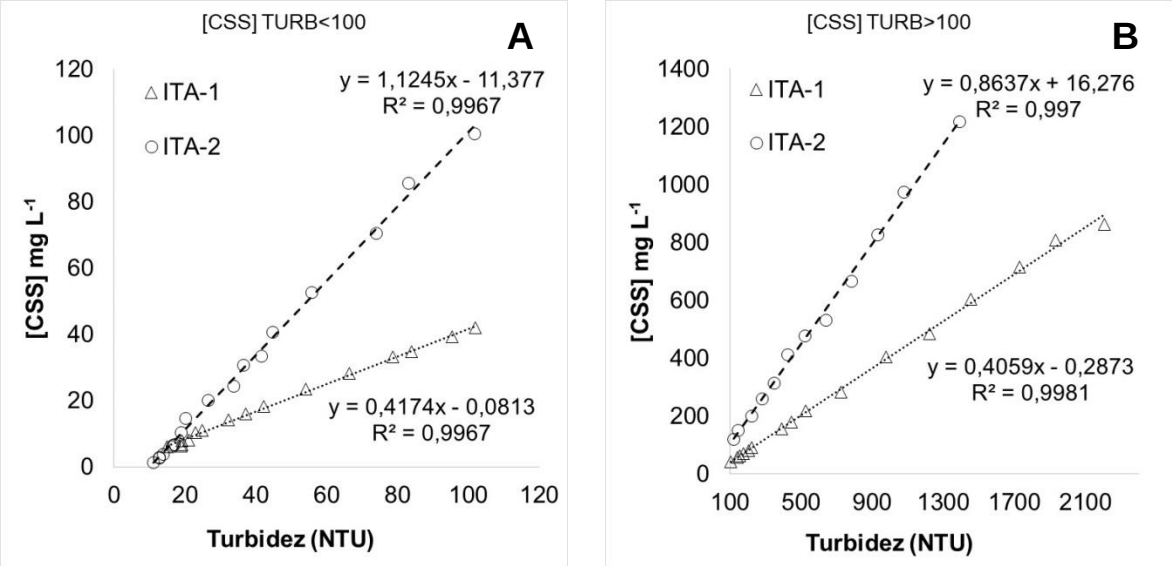


Figura 15: Curvas de calibração com material de solo da camada de 0-10 cm nas microbacias ITA-1 e ITA-2. Em (A) o ajuste quando a turbidez é menor do que 100 NTU e em (B) quando o valor da turbidez é superior a 100 NTU.

Padrões distintos de turbidez e concentração de sólidos em suspensão foram identificados de acordo com certas faixas de valores. Desta maneira adotaram-se para ambas as microbacias equações de conversão, a saber: (A) para valores inferiores a 100 NTU e (B) para valores superiores a 100 NTU (Tabela 5).

Tabela 5: Equações de estimativa da concentração de sólidos em suspensão nas microbacias.

Microbacia	TURB<100	TURB>100
ITA-1	[CSS]=0,4174.TURB-0,0813	[CSS]=0,4059.TURB-0,2873
ITA-2	[CSS]=1,1245.TURB-11,377	[CSS]=0,8637.TURB+16,276

[24] A mesma quantidade de leituras para estabelecimento do valor final da turbidez também era adotada pelas EHS em campo.

4.2.3. Monitoramento da precipitação pluvial

Em cada uma das duas microbacias monitoradas foi instalado um pluviômetro de báscula e sifão de alta intensidade (TB4, *Hydrological Service*) com capacidade de amostrar chuvas de até 700 mm h^{-1} com resolução de 0,254 mm.

Os pluviômetros foram posicionados no mesmo transecto do ponto de monitoramento, mantendo-se afastado o suficiente para se evitar interferência das árvores e da vegetação local. Vale salientar que na MBH ITA-2 o pluviômetro registrava a entrada de água no sistema, pois estava posicionado de tal maneira que recebia água do canhão do pivô. Segundo os técnicos que operavam os sistemas de irrigação a lâmina líquida aplicada não ultrapassava 5 mm h^{-1}.

A precipitação pluvial foi obtida inicialmente para intervalos de 5 minutos e cada evento computado separadamente, transformado em pluviogramas, para posterior entrada no cálculo dos índices β e IDE.

Também foram utilizados dados de precipitação pluvial provenientes de estações[25] localizadas próximas das áreas de estudo para complementar as informações coletadas pelas estações hidrossedimentológicas.

4.2.4. Monitoramento do conteúdo de água no solo

Era monitorado junto a cada EHS, fora da área cultivada, o conteúdo de água no solo. Para tanto, se utilizou um sensor de conteúdo de água no solo com tecnologia FDR (*Frequency Domain Reflectometry*), calibrado de fábrica baseado na equação descrita por Topp; Davis; Annan (1980). O sensor (CS650, Campbell Scientific Inc.) fora instalado verticalmente no solo, integrando o resultado da umidade volumétrica na camada de 0-30 cm. Além da umidade, o sensor também era capaz de medir a condutividade elétrica e a temperatura do solo.

---

[25] Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do Instituto Agronômico de Campinas (CIIAGRO/IAC), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Solo Vivo: Rede de Pesquisa. Tais estações distam das EHS em cerca de 50 km (INMET) e 20 km (CIIAGRO/IAC).

4.2.5. Monitoramento da condutividade elétrica da água

Em cada calha de monitoramento da vazão de água foi instalado um sensor de condutividade elétrica, que mensurava também a temperatura da água, de maneira a obter a condutividade elétrica corrigida para 25°C. O sensor (CS547, Campbell Scientific Inc.) fora instalado horizontalmente no leito da calha, de modo que permanecesse sempre submerso (Figura 11B e Figura 12C).

4.2.6. Manutenção dos sensores

Neste tipo de monitoramento automático, nem sempre valores elevados da turbidez correspondem a valores altos de concentração de sólidos em suspensão. Às vezes, há formação de uma espécie de lodo ao redor do sensor quando a vazão de água diminui, ou até mesmo o acúmulo de folhas obstruindo a "janela" do elemento sensor.

Outra situação bastante comum é o assoreamento do fundo da calha. Isto faz com que o sensor fique "enterrado" e passe a ler um valor elevado de turbidez - Para tanto se fazia necessária a limpeza do conjunto ótico toda vez que este estivesse obstruído.

Assim, dada a capacidade de coleta de dados remota, sempre que se observara o aumento da turbidez, sem que para isso tenha havido condições para carreamento e transporte de sedimentos, uma limpeza no conjunto era efetuada. Nestas ações se utilizavam os procedimentos descritos no manual do sensor conforme Campbell Scientific Inc. (2017).

Semanalmente os pluviômetros eram inspecionados para se verificar possível entupimento por folhas, fezes de pássaros ou insetos mortos. Este trabalho era realizado por funcionários das fazendas parceiras.

4.3. Cálculo dos Índices β e IDE

Para o cômputo do índice β e, por conseguinte do índice de dissipação de energia (IDE), os dados passaram por um filtro: No lugar de uma série contínua de dados, houve uma transformação para uma série descritiva de eventos de chuvas baseados em pluviogramas individuais com resolução temporal de 5 minutos, e adotou-se para isso critérios utilizados por Oliveira et al. (2012a). Cada evento foi analisado e, então, os valores dos índices determinados foram comparados entre si e entre as bacias pareadas. Para efeito de análise de dados fora considerado o período de monitoramento aquele compreendido entre 01/10/2017 a 31/01/2019.

4.4. Índice de vegetação

Os dados do índice de vegetação NDVI das séries temporais MODIS foram obtidos por meio do algoritmo computacional “Sistema de Análise Temporal da Vegetação – SATVeg (EMBRAPA Informática, 2018) implementado pela Embrapa Informática Agropecuária e filtrados pelo método Savitzky-Golay (Savitzky; Golay, 1964).

O algoritmo calculou um padrão médio com base na delimitação das microbacias resultando em uma série temporal que serviu como dado de apoio para interpretação dos resultados obtidos no cálculo do índice IDE.

5. RESULTADOS

5.1. Precipitação pluvial

Durante o período do estudo, que se estendeu de 01/10/2017 a 31/01/2019, houve o registro de 1756 mm de chuva na MBH ITA-1 e 1867 mm de entrada de água na MBH ITA-2 (Figura 16). O mês de dezembro de 2017 foi aquele que apresentou maior precipitação pluvial acumulada, ao passo que os meses de abril, maio, junho e julho de 2017 apresentaram os menores totais acumulados. Já o mês de fevereiro de 2018 mostrou-se atípico: baixo volume acumulado de chuva para um período tipicamente chuvoso na região, o que pode ser caracterizado como um veranico[26].

Observa-se forte correlação entre os valores de precipitação observados durante o período de outubro de 2017 a janeiro de 2019 nas duas MBHs, com desvio recorrente de aproximadamente 1% (Figura 17A). Ao analisar a relação entre os valores diários (Figura 17B) e horários (Figura 17C), observa-se uma redução progressiva no nível de concordância (r^2) entre os dados observados nas duas MBHs, bem como uma tendência de ocorrência de menores volumes de precipitação pluvial em ITA-1 em comparação com ITA-2.

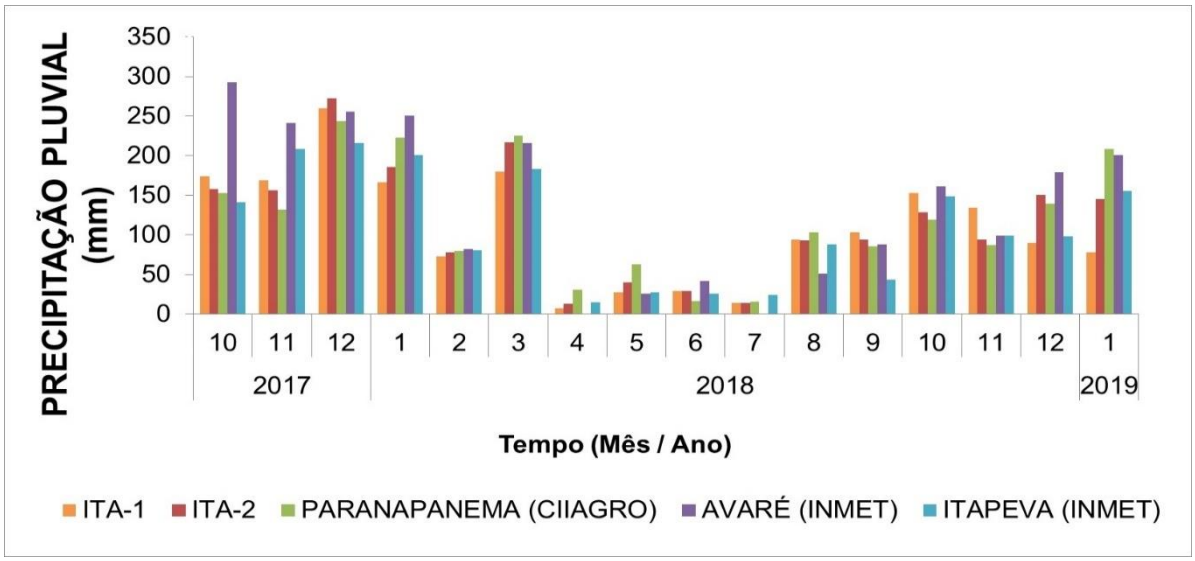


Figura 16: Precipitação pluvial registrada nas áreas monitoradas e no entorno.

---

[26] Para Monteiro (2009), a definição de veranico para as regiões tropicais é muito divergente, a começar pelo que se considera como um dia seco. Chatfield (1966) recomenda o valor de 1 mm de chuva diária, abaixo do qual considera dia seco. Castro Neto; Vilela (1986) consideram veranico os períodos de precipitação pluvial inferiores a 3 mm, enquanto outros aceitam o limiar de 1 mm (Assad; Sano, 1998). Outros, ainda, consideram veranico a ocorrência de precipitação inferior a 5 mm, num período de sete dias (Silva; Oliveira; Cavalcanti, 1981).

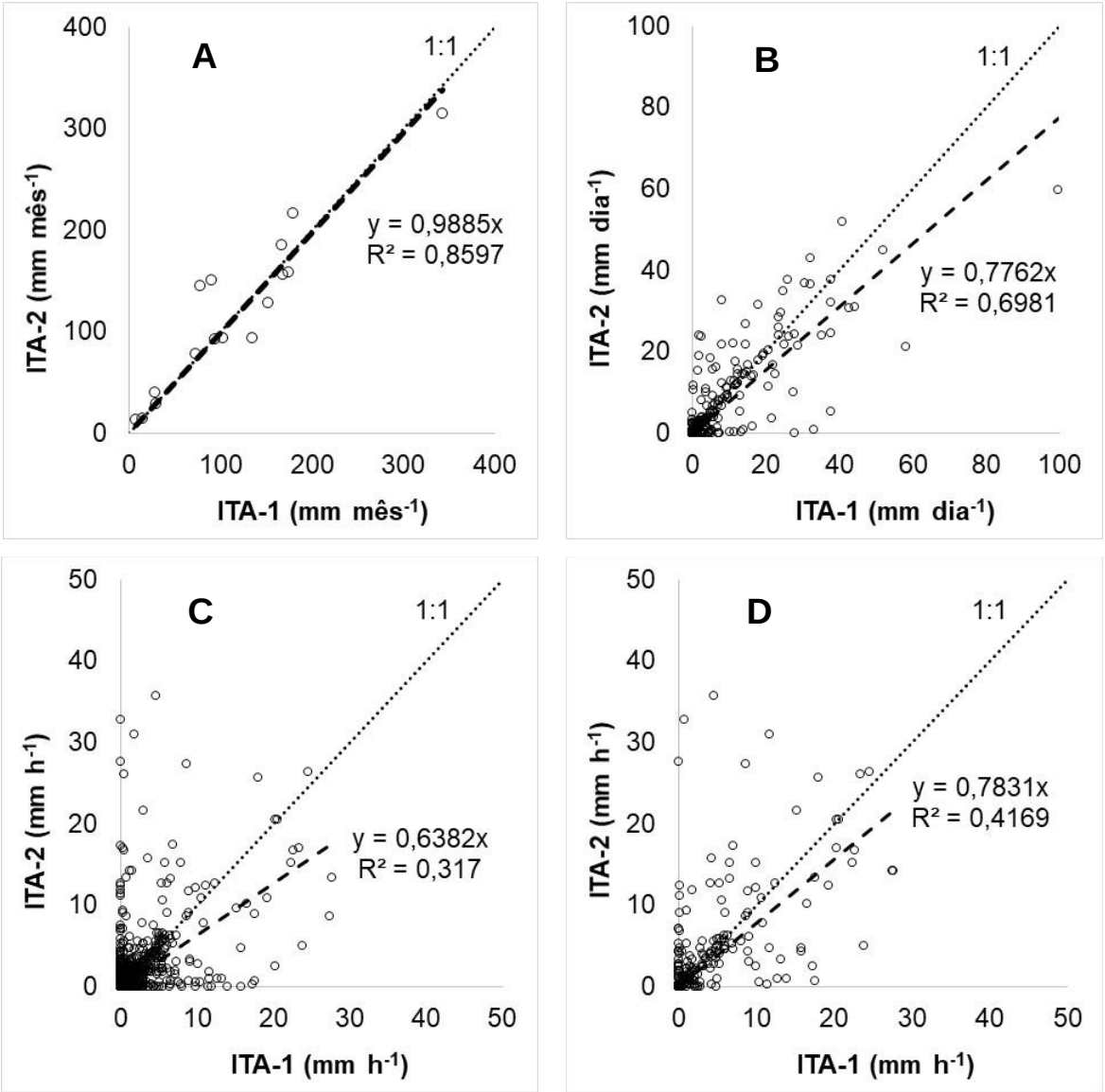


Figura 17: Correlação entre a precipitação pluvial mensal total (A), diária (B), horária concomitante (C) e (D) diária não concomitante nas MBHs ITA-1 e ITA-2.

Em relação à concordância entre os dados horários de precipitação pluvial, fez-se uma análise distinta àquela cujo resultado fora apresentado na Figura 17C: ao invés de se comparar os eventos em sua concomitância, buscou-se estabelecer o valor máximo da precipitação pluvial na escala horária dentro de um dia, e então correlacioná-los entre ITA-1 e ITA-2 (Figura 17D). Quedou, todavia, em baixa concordância entre os dados e mostrou, novamente, a questão da ocorrência de volumes de chuva em quantidades distintas nas MBHs estudadas.

Considerando-se, porém, apenas os eventos de chuva com intensidade horária superior a 10 mm (Figura 18A), em ITA-1, nota-se que menos de 25% destes eventos são registrados ao mesmo tempo (concomitantes) em ambas MBHs. Já quando o filtro é aplicado aos dados de ITA-2 (Figura 18B), se nota ausência de correlação entre aqueles obtidos em

ITA-1. Desta maneira se pode afirmar que em ITA-2 ocorreram eventos independentes de chuva superiores a 10 mm, em maior número de vezes, quando comparado a ITA-1 nas mesmas datas e horários.

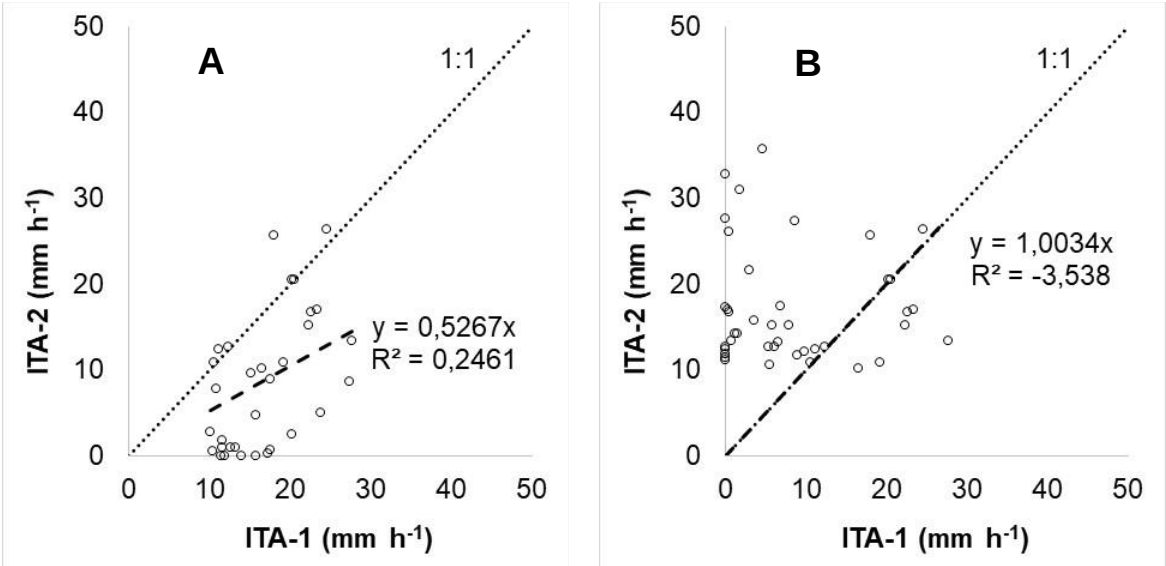


Figura 18: Correlação entre chuvas com intensidade horária superior a 10 mm nas MBHs ITA-1 e ITA-2 durante o monitoramento. Em (A) quando a precipitação pluvial horária superior a 10 mm ocorre em ITA-1 e (B) quando acontece em ITA-2.

Ao analisar as lâminas máximas de chuva observadas no período de 5 minutos, buscou-se correlacionar estes eventos de curta duração em ambas MBH. Assim aplicou-se a seguinte estratégia: representar graficamente apenas o valor máximo mensal (mm $5min^{-1}$), entre outubro de 2017 a janeiro de 2019, em ITA-1 e ITA-2. Houve uma tendência[27] de que chuvas de maior intensidade na escala de 5 minutos ocorreram em ITA-2, em maior número de vezes, em comparação a ITA-1 (Figura 19).

[27] Um caso isolado e que fugiu desta tendência, mas que, todavia, esteve fora do período do estudo: evento de chuva em 15/03/2016, quando a precipitação pluvial registrada em ITA-1 foi quase o dobro daquela registrada em ITA-2.

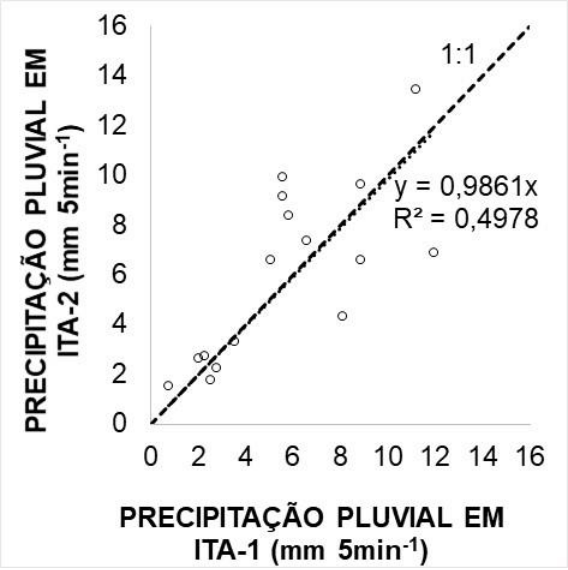


Figura 19: Correlação entre a máxima precipitação pluvial mensal registrada em 5 minutos em ambas as microbacias durante o período de monitoramento.

Neste sentido, além da maior lâmina de precipitação pluvial no período de 5 minutos, na MBH ITA-2 foram registrados também os maiores valores totais de 60 minutos e de 24 horas. Se extrapolados para intensidade horária estas lâminas de 5 minutos equivaleriam a 142,8 mm h^{-1} e 162 mm h^{-1}, respectivamente para ITA-1 e ITA-2 (Tabela 6).

Tabela 6: Valores máximos absolutos nas frequências de 5 minutos, 1 hora e 24 horas durante o período do monitoramento nas microbacias ITA-1 e ITA-2.

EHS	Precipitação pluvial (mm)					
	5 minutos		60 minutos		24 horas	
	Valor	Data	Valor	Data	Valor	Data
ITA-1	11,9	31/12/17 16:40	27,7	21/03/18 17:00	59,7	26/03/18
ITA-2	13,5	04/11/17 16:20	35,8	03/01/19 16:00	99,6	26/03/18

Conforme apresentado anteriormente, os valores mostram a tendência de ocorrência de eventos de chuva localizados nas MBHs estudadas que diferem em duração e intensidade. O valor máximo da precipitação pluvial em 24 horas se deu em mesma data em ambos locais, porém o valor registrado em ITA-2 foi cerca de 70% maior.

Para que fossem utilizados nos cálculos do IDE, os dados de precipitação pluvial foram transformados em pluviogramas individuais. Essa transformação, em acordo com a proposição utilizada e baseada na literatura citada na seção 4.3, resultou em 139 e 167 eventos, respectivamente em ITA-1 e ITA-2, e tiveram a distribuição de frequência mostrada na Figura 20.

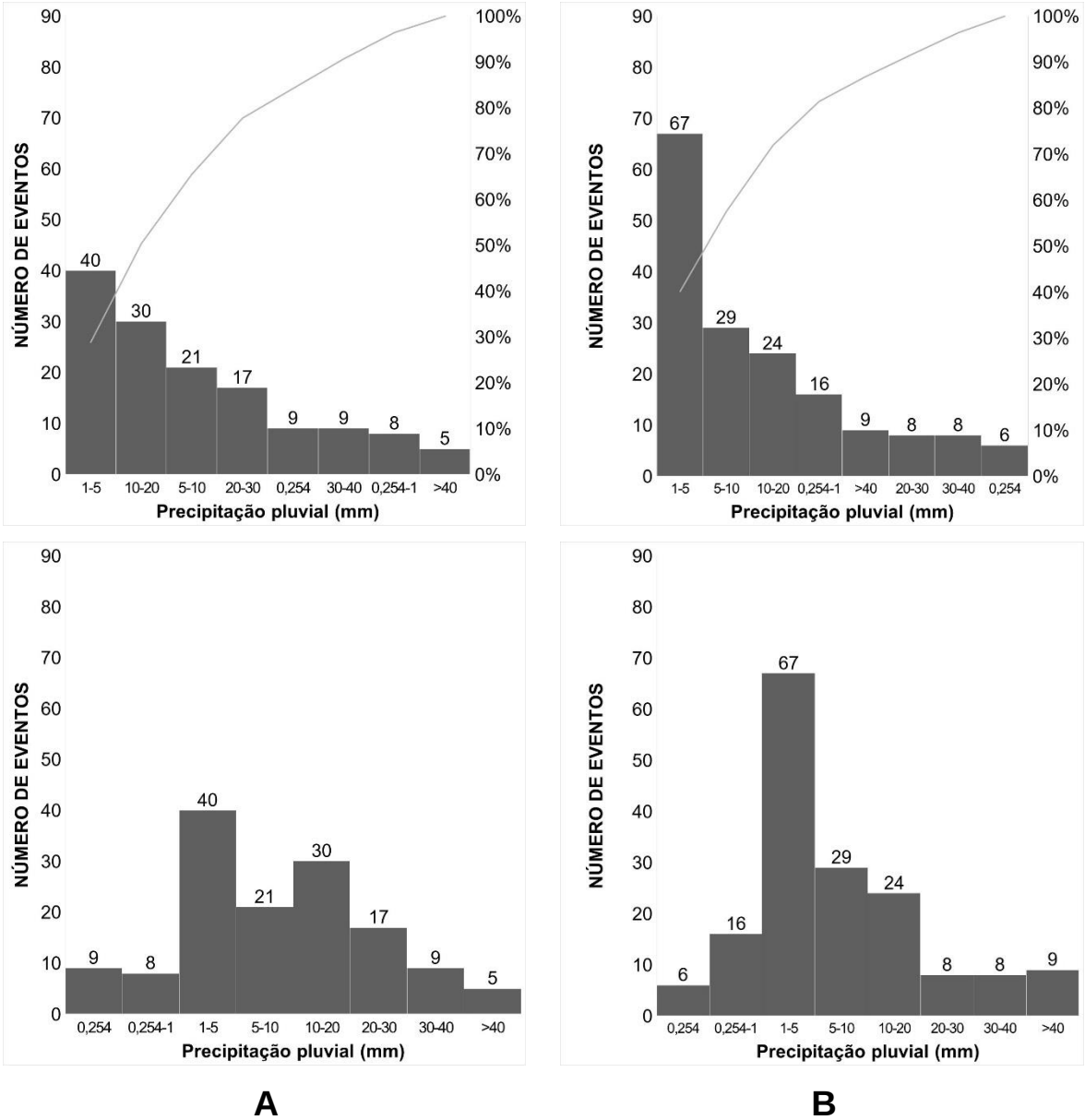


Figura 20: Histograma de eventos de precipitação pluvial, com distribuição de frequência acumulada, em ITA-1 (A) e ITA-2 (B).

Computando-se apenas os eventos de chuva superiores a 10 mm, que segundo Carvalho; Freddi; Veronese junior (2004) são considerados como erosivos para o Estado de São Paulo, tem-se que em ITA-1 ocorreram 61 eventos enquanto que em ITA-2 foram 49.

5.2. Nível e vazão de água

Ao longo do monitoramento nas MBHs (Tabela 7), a altura da lâmina de água máxima registrada em ITA-1 foi 0,33 m (Em 04/11/2017 16:20) - resultando em uma vazão máxima de161,6 L s^{-1}, enquanto que em ITA-2 (Em 04/11/2017 16:30) alcançou 0,45 m de máxima

ocasionando vazão de 329,6 L s^{-1}. Com relação à vazão média aquela em ITA-2 foi cerca de 50% superior à de ITA-1.

Tabela 7: Valores máximos, mínimos e médios com desvio padrão da lâmina de água e as vazões específicas nas MBHs ITA-1 e ITA-2 durante o período do monitoramento nas MBHs ITA-1 e ITA-2.

		Máximo		**Mínimo**		**Média**	**Desvio padrão**
		Valor	**Data**	**Valor**	**Data**		
ITA-1	**Lâmina (m)**	0,327	04/11/17 16:20	0,01	10/12/18 13:15	0,053	0,025
	Vazão (L s^{-1})	161,6	04/11/17 16:20	0,34	10/12/18 13:15	5,802	4,97
ITA-2	**Lâmina (m)**	0,454	04/11/17 16:30	0,018	19/09/18 14:50	0,066	0,033
	Vazão (L s^{-1})	329,6	04/11/17 16:30	0,84	19/09/18 14:50	8,685	8,19
Vazão específica (L s^{-1} ha^{-1})							
ITA-1		2,18		0,0046		0,08	0,06
ITA-2		7,01		0,018		0,18	0,17

A altura da lâmina de água em ambas as microbacias teve o mesmo padrão de variação: valores máximos registrados em janeiro de 2018, com diminuição a partir de então, e aumento após outubro de 2018. O período de recarga em ambas MBH aconteceu durante o mês de janeiro de 2018, período no qual foram registradas chuvas com intensidade superior a 5 mm $5min^{-1}$, já entre os meses de janeiro a abril de 2018 a redução da lâmina de água, e por conseguinte da vazão, foi maior na MBH ITA-2 em comparação a ITA-1 (Figura 21 e Figura 22).

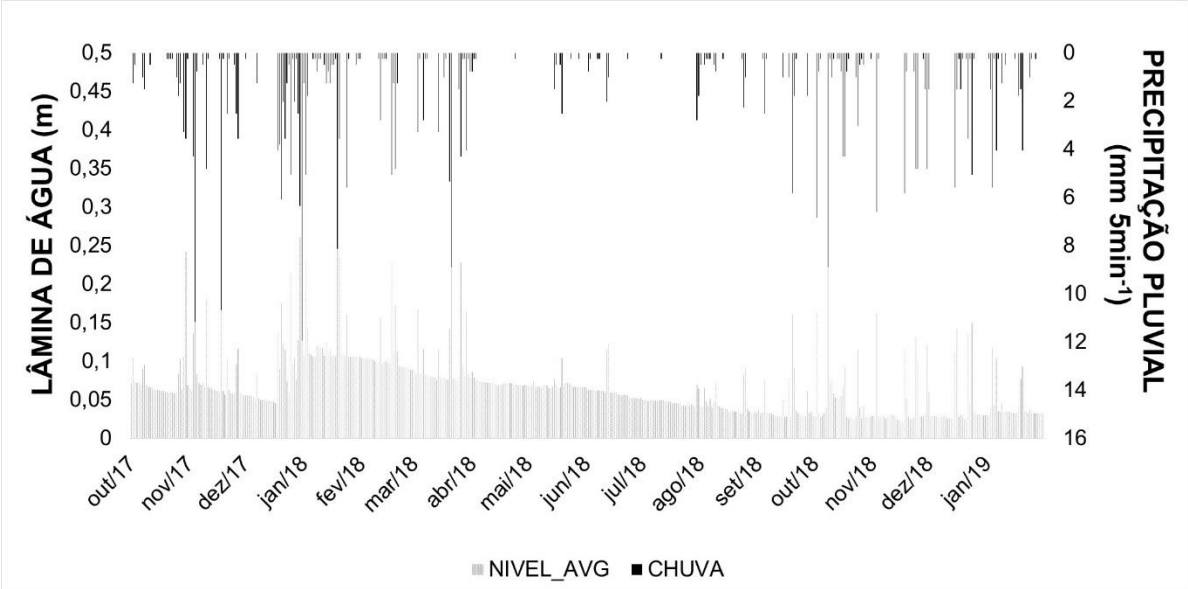


Figura 21: Altura média da lâmina de água (NIVEL_AVG) e precipitação pluvial (CHUVA) em ITA-1 ao longo do período de monitoramento.

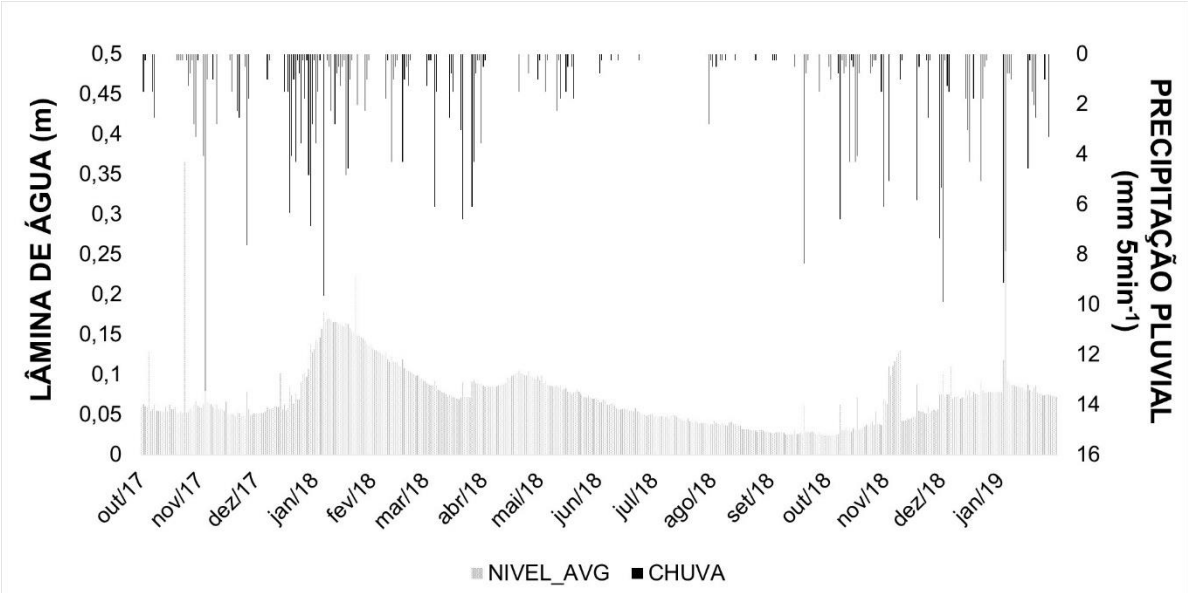


Figura 22: Altura média da lâmina de água (NIVEL_AVG) e precipitação pluvial (CHUVA) em ITA-2 ao longo do período de monitoramento.

A diminuição da lâmina foi mais acentuada em ITA-1 do que em ITA-2, chegando ao ponto de quase secar o curso de água – ocasião em que a mínima registrada foi de 0,01 m (10/12/2018 18:10), já em ITA-2 a lâmina mínima registrada foi de 0,018 m (19/09/2018 14:45) (Tabela 7).

Em termos absolutos, ITA-1 apresentou maior número de picos de vazão distribuídos ao longo do monitoramento (Figura 23). Já em ITA-2 os picos de vazão se concentraram, em sua maior parte, nos meses tipicamente chuvosos (setembro a janeiro) e ocorreram em menor número (Figura 24).

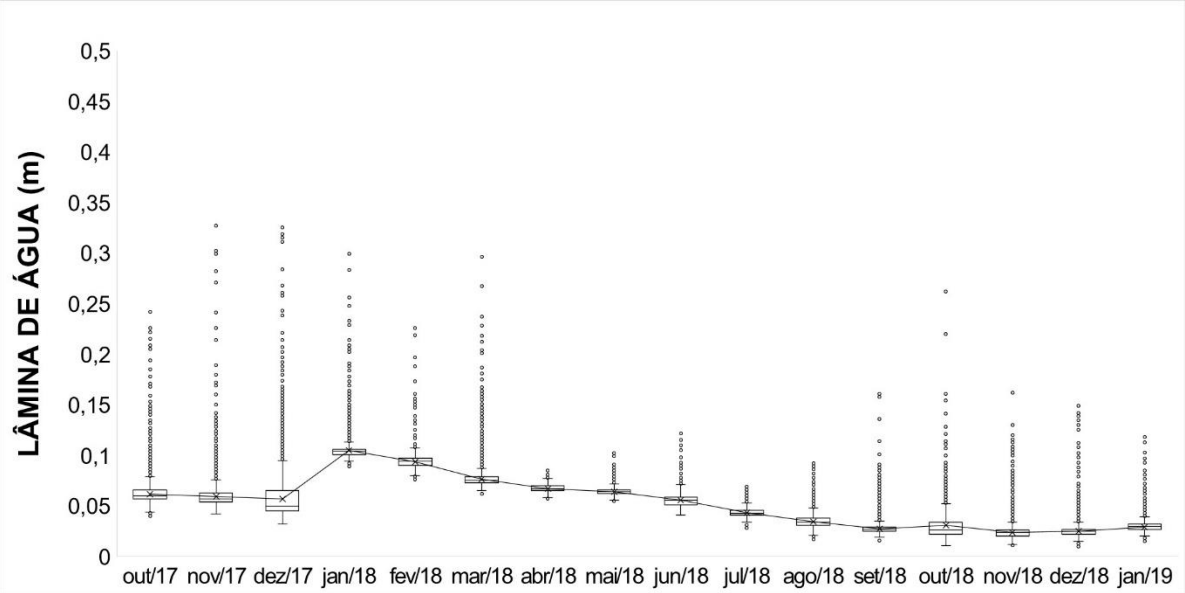


Figura 23: Diagrama de caixa da lâmina de água em ITA-1 ao longo do período de monitoramento.

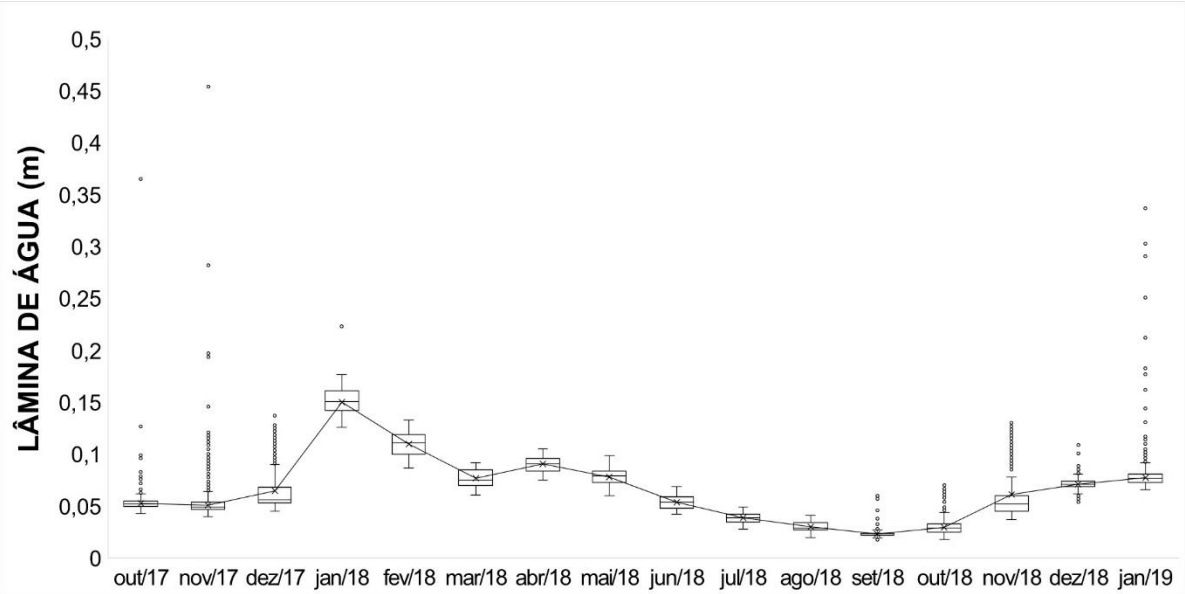


Figura 24: Diagrama de caixa da lâmina de água em ITA-2 ao longo do período de monitoramento.

Resumidamente, e em termos médios, durante o período de monitoramento, a vazão em ITA-1 foi de 5,8 L s^{-1} e em ITA-2 8,7 L s^{-1} - cerca de 50% superior (Tabela 7). Em ITA-1 se percebe mais pontos de "*outliers*" o que indica maiores picos de vazão. Já em ITA-2 estes pontos aparecem em menor número, o que indica que a vazão nesta MBH seja mais estável. A análise do padrão de variação da vazão nos eventos de máxima intensidade de precipitação é feita em detalhe na seção "Eventos selecionados de precipitação pluvial".

5.3. Condutividade elétrica aparente do solo e da água

A condutividade elétrica da água ($CE_{água}$) máxima registrada nas EHS das microbacias ITA-1 e ITA-2, respectivamente foi 45 µS cm^{-1} (21/12/2017) e 88 µS cm^{-1} (26/03/2018) (Tabela 8). Com relação à condutividade elétrica aparente do solo (CEa_{solo}), os valores médios ficaram próximos, bem como o desvio padrão em ambas MBHs.

Tabela 8: Valores máximos, mínimos e médios com desvio padrão da condutividade elétrica (CE) da água e do solo nas MBH ITA-1 e ITA-2 durante o período do monitoramento.

		Máximo		Mínimo		Média	Desvio padrão
	CE (µS cm^{-1})	Valor	Data	Valor	Data		
ITA-1	água	45	21/12/17 15:45	4	31/05/18 23:20	8,14	3,10
	solo	26,3	25/12/17 15:55	3,8	03/08/18 02:15	14,88	6,98
ITA-2	água	88	26/03/18 13:30	3	01/10/17 00:00	6,39	4,33
	solo	30,5	04/01/19 20:35	4,2	01/10/17 02:35	12,97	6,94

Houve diminuição dos valores nos meses de maio a junho, coincidentes com os períodos de menor vazão e precipitação pluvial. Em ambas as MBHs os valores de $CE_{água}$, em termos médios, ficaram abaixo de 10 µS cm^{-1} ao longo do monitoramento e com relação a CEa_{solo} (Figura 25 e Figura 26), houve a presença de *outliers* quanto aos valores mínimos, e estes foram registrados em ambas MBHs durante o mês de agosto de 2018.

Os valores mínimos de $CE_{água}$ (Tabela 8) se aproximam daqueles estabelecidos para água destilada. Ressalta-se que em amostragens periódicas, utilizando-se de sondas multi-parâmetros, o mesmo padrão de valores foi encontrado.

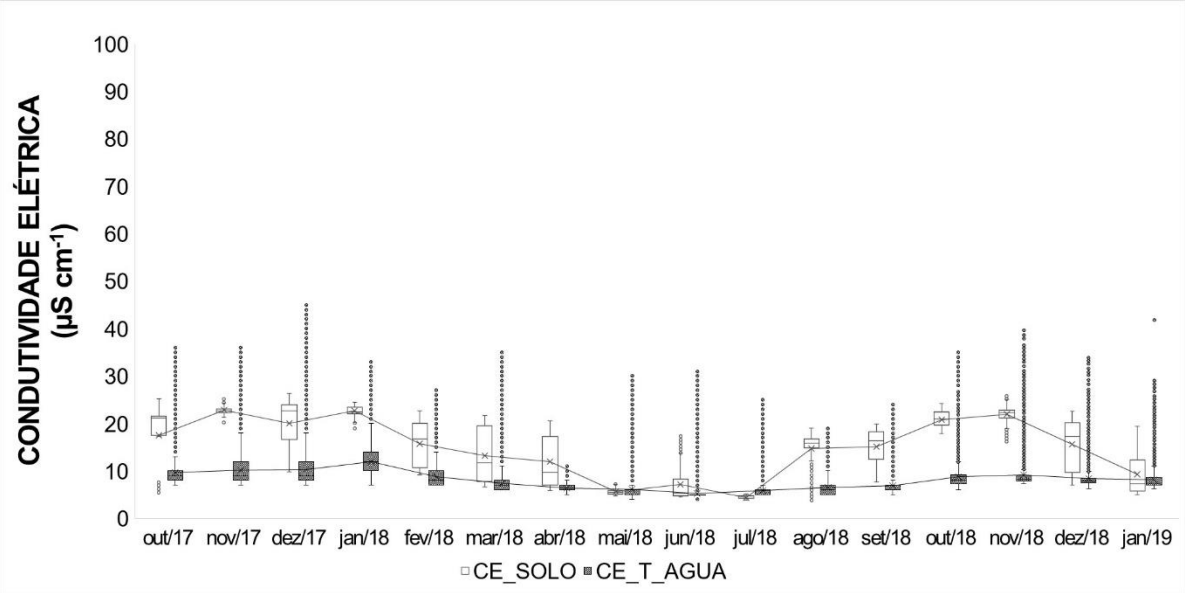


Figura 25: Diagrama de caixa da condutividade elétrica aparente do solo (CE_SOLO) e da água (CE_T_AGUA) em ITA-1 ao longo do período de monitoramento.

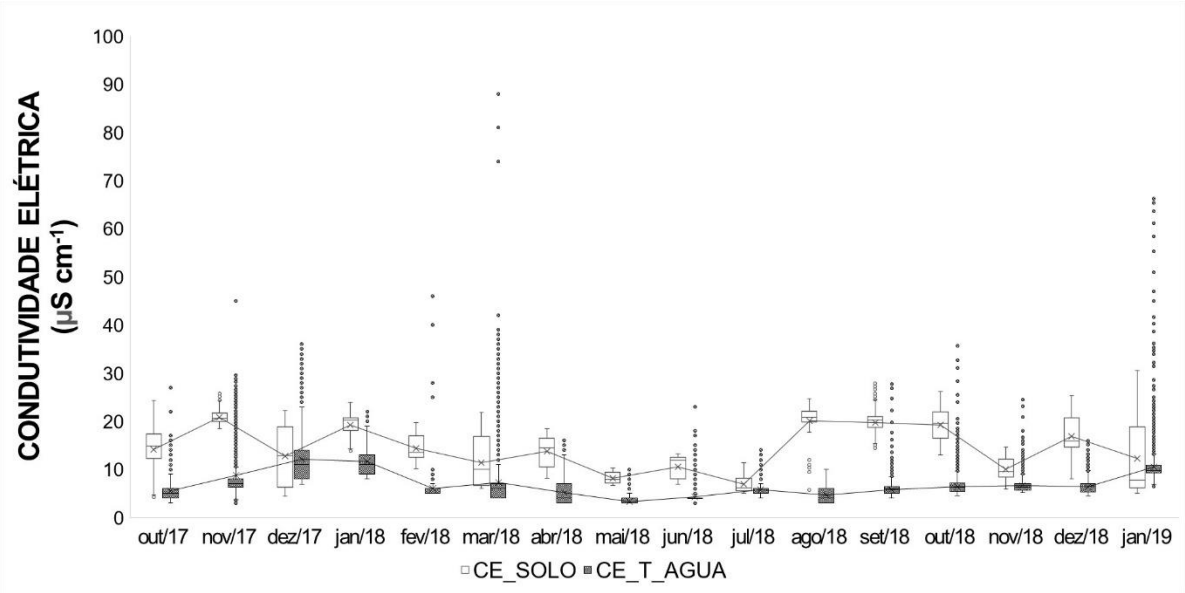


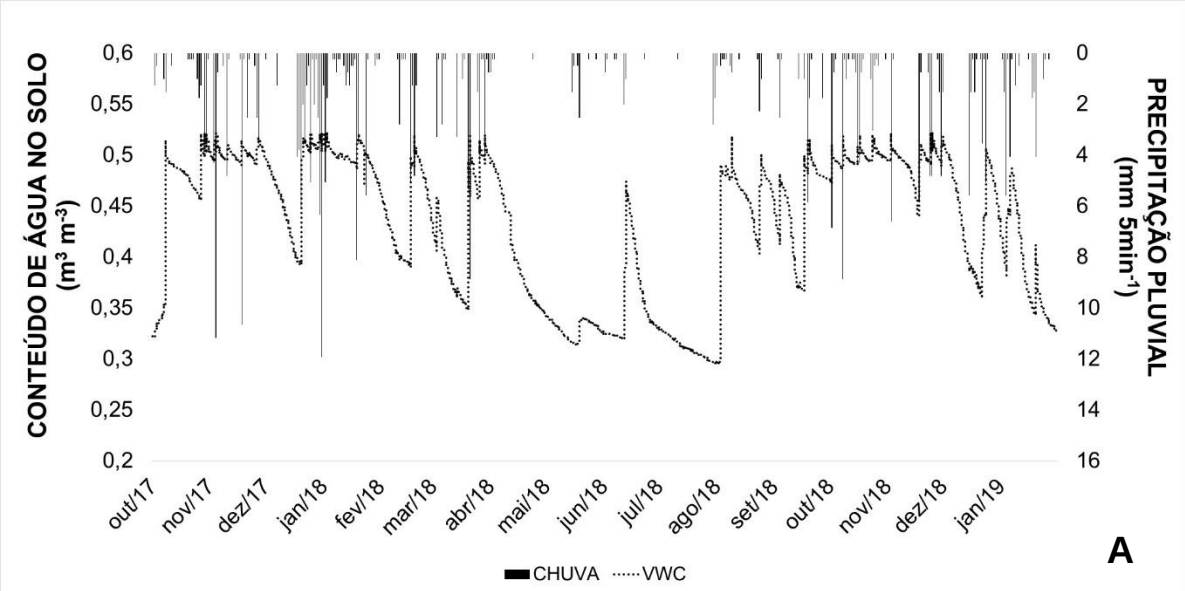
Figura 26: Diagrama de caixa da condutividade elétrica do solo (CE_SOLO) e da água (CE_T_AGUA) em ITA-2 ao longo do período de monitoramento.

Ao se comparar a amplitude dos valores, tem-se que em ITA-2 foi maior. Enquanto que em ITA-1 a variação foi de 4 a 45 com média de 8,14 e desvio padrão de 3,10 µS cm^{-1}, em ITA-2 foi de 3 a 88, com média de 6,39 e desvio padrão de 4,33 µS cm^{-1} (Tabela 8).

Considerando-se novamente os meses de maio a junho, em ITA-1 houve maior ocorrência de valores *outliers* da $CE_{água}$ e tais ocorrências foram registradas em maior quantidade se comparado a MBH ITA-2. (Figura 25 e Figura 26)

5.4. Conteúdo de água no solo

Os valores referentes ao conteúdo de água no solo (VWC) foram obtidos na porção inferior do terreno - em área limítrofe à de preservação permanente. Em ambas MBHs o período compreendido entre abril e agosto de 2018 foram aqueles com o menor conteúdo de água no solo. Ressalta-se que em ITA-1, em junho de 2018, ocorreu um evento de chuva que elevou a umidade volumétrica do solo, porém esta não se manteve e novamente voltou a diminuir (Figura 27A). Na MBH ITA-2 (Figura 27B) o conteúdo de água a partir de abril de 2018 decresceu, vindo a apresentar novamente aumento no mês de agosto daquele ano.



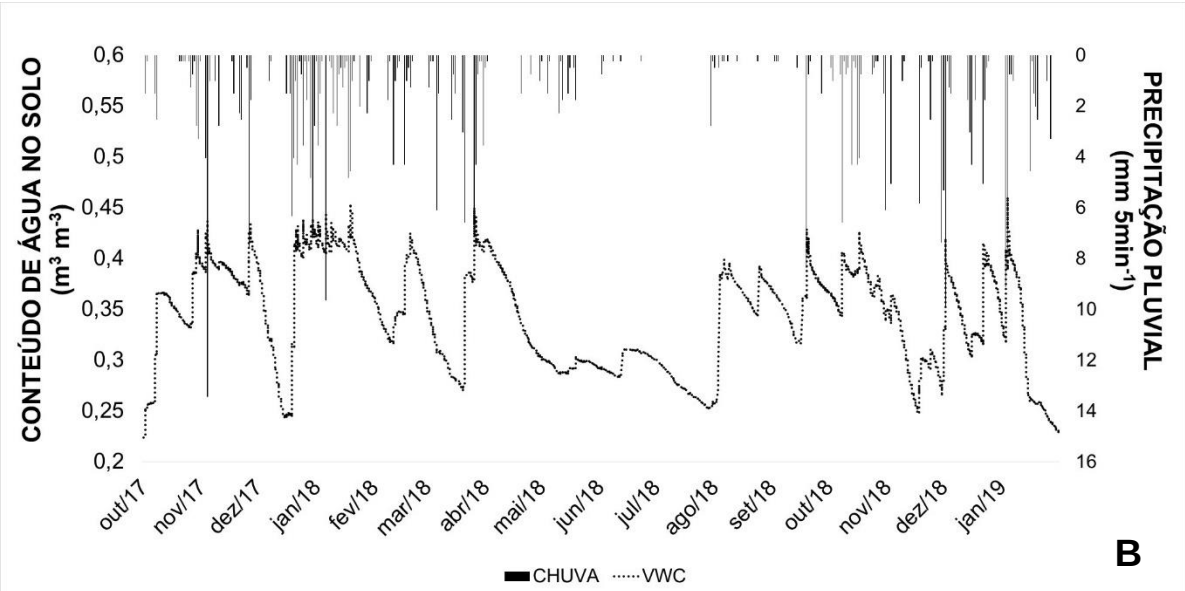


Figura 27: Variação mensal da média do conteúdo de água no solo (VWC) e do total de precipitação pluvial (CHUVA) em ITA-1 (A) e ITA-2 (B)

A umidade volumétrica do solo se relacionou com a precipitação pluvial (ITA-1), e com a entrada de água no sistema (ITA-2). Por exemplo, o término das chuvas de abril de 2018 produziu mudanças no conteúdo de água no solo durante a estação seca, e o veranico, em meados de janeiro de 2019, também concorreu para a baixa umidade volumétrica do solo naquele mês. Os períodos secos são reconhecidos pelo baixo conteúdo de água no solo durante os meses de maio a agosto do ano de 2018.

Em termos médios a umidade volumétrica do solo, ao longo do estudo, foi de 0,434 $m^3\ m^{-3}$ com desvio padrão de 0,07 e variou em termos absolutos entre 0,295 e 0,522 $m^3\ m^{-3}$ em ITA-1 e 0,224 e 0,454 $m^3\ m^{-3}$ em ITA-2 com valor médio de 0,346 e desvio padrão de 0,05.

Porém, como os valores médios não permitem identificar a distribuição e a amplitude dos valores ao longo do tempo, buscou-se uma representação gráfica na forma de um diagrama de caixa que possibilitasse ampliar esta análise.

Feito isto, indicou-se que o período de menor conteúdo de água no solo estendeu-se de maio a agosto de 2018, coincidindo com o de menor precipitação pluvial (Figura 28 e Figura 29). A presença de valores *outliers* no mês de agosto de 2018, em ambas MBHs, coincide e mostra a influência direta desta variável na condutividade elétrica do solo.

E por fim, algo que merece consideração é que, por vezes, o sensor instalado em ITA-1 foi soterrado por solo oriundo da topossequência superior do terreno da lavoura (Figura 41A e B em Anexos). Assim, em várias ocasiões, durante a inspeção e manutenção da área, não se notava exposto o encapsulamento do sensor – parte branca de material em resina no qual está contida toda sua eletrônica. Desta maneira era preciso que se retirasse a camada de solo extra que se depositara sobre ele (Figura 41C).

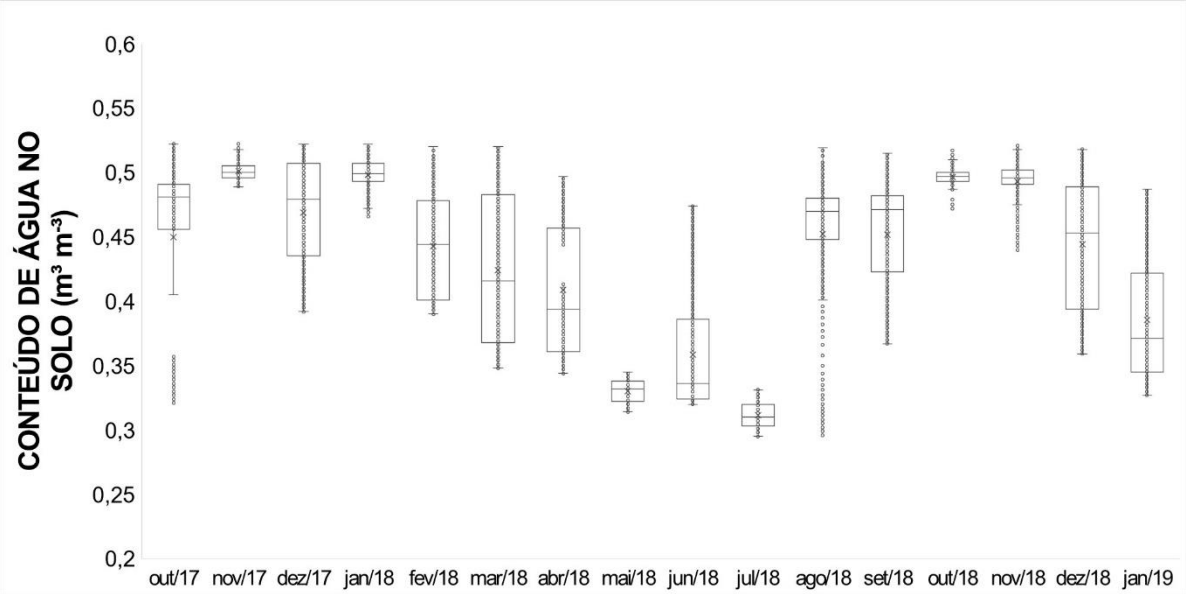


Figura 28: Diagrama de caixa do conteúdo de água no solo em ITA-1 ao longo do período de monitoramento.

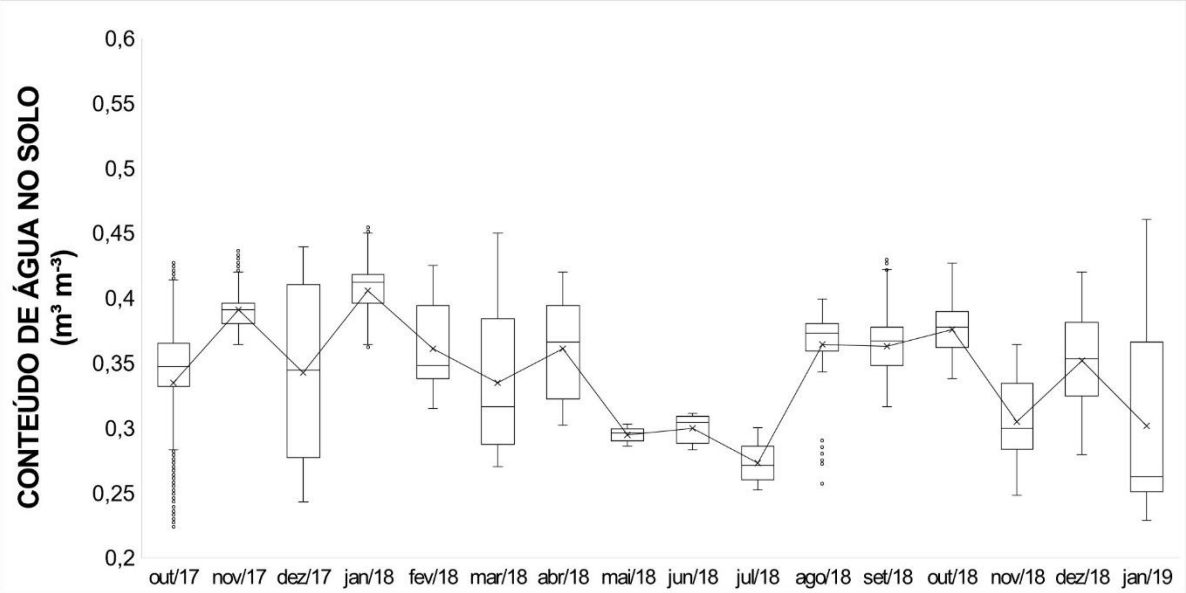


Figura 29: Diagrama de caixa do conteúdo de água no solo em ITA-2 ao longo do período de monitoramento.

5.5. Índice de dissipação de erosividade (IDE)

Para efeito do cálculo dos índices β, e por conseguinte do IDE, foram computados apenas os eventos considerados como erosivos. O menor valor calculado de IDE em ITA-1 foi 0,502 (Out/2017) e em ITA-2 fora 0,645 (Dez/2017). Os meses em que houve menor variação do IDE, em ambas MBHs, foram aqueles com poucos eventos de precipitação pluvial considerados como erosivos (maio, junho e julho): 1 evento a cada mês para cada microbacia;

e ao longo deste período, o IDE médio em ITA-2 foi de 0,95 e em ITA-2 0,85. (Figura Figura 30 e Figura Figura 31)

Em termos médios, ao longo do período de monitoramento, que se estendeu de outubro de 2017 a janeiro de 2019, os valores para ITA-1 e ITA-2 foram, respectivamente, 0,787 e 0,884.

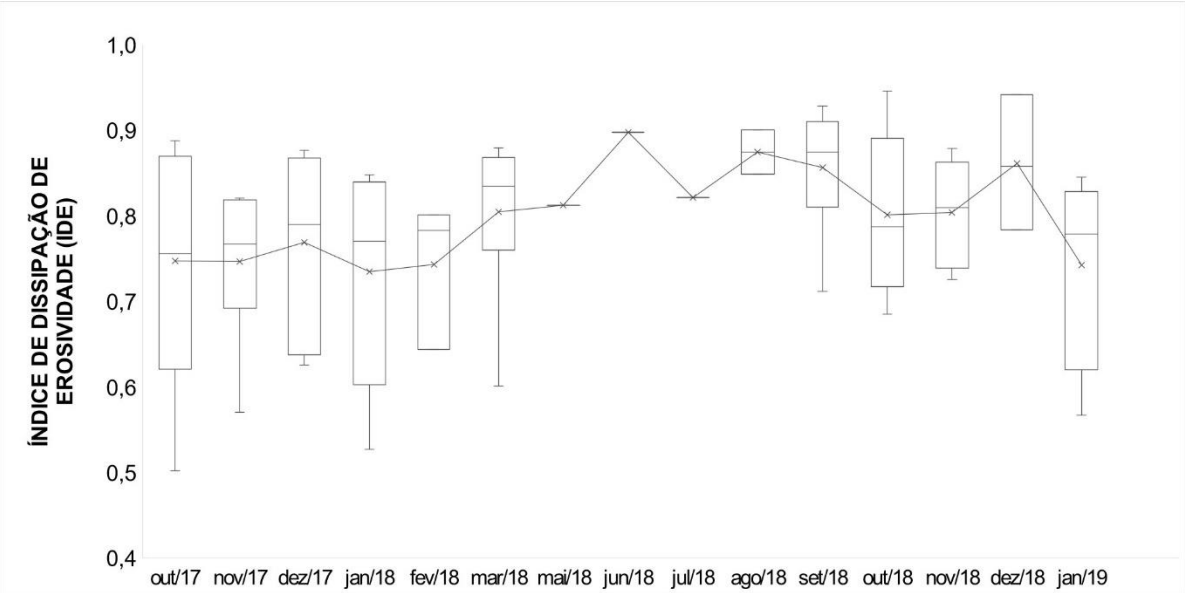


Figura 30: Diagrama de caixa do índice de dissipação de erosividade (IDE) em ITA-1 ao longo do período de monitoramento.

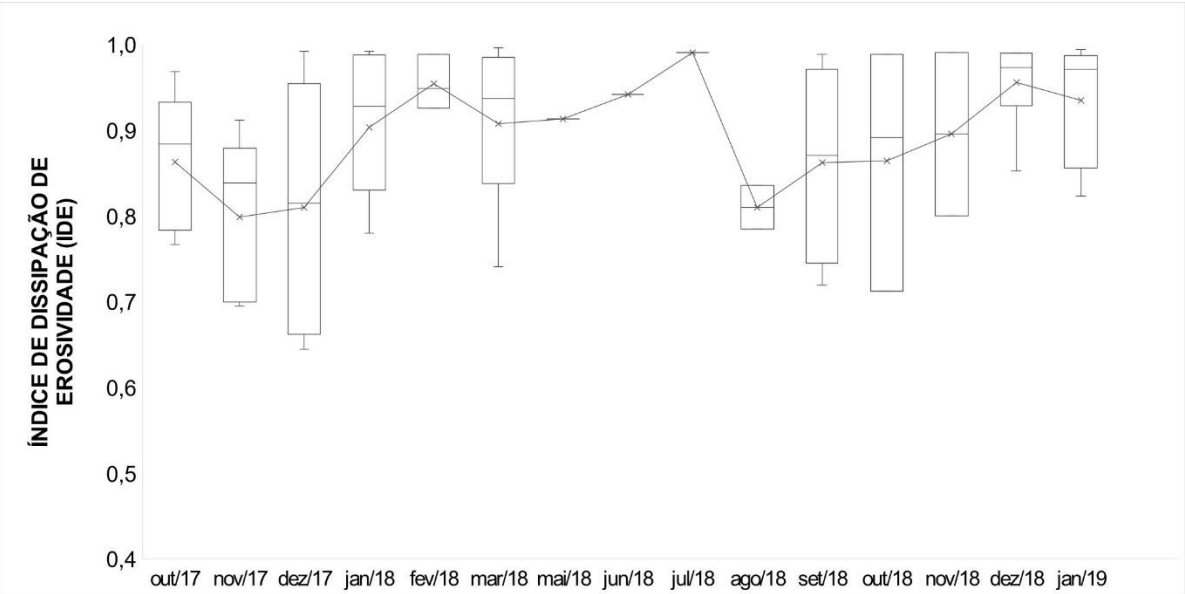


Figura 31: Diagrama de caixa do índice de dissipação de energia (IDE) em ITA-2 ao longo do período de monitoramento.

Em ITA-1 os valores mínimos de IDE sempre foram inferiores a 0,6 enquanto os valores máximos, na maioria dos meses não ultrapassou 0,9. Variação distinta daquela registrada na MBH ITA-2 onde, na maioria dos meses, os valores máximos estiveram acima de 0,9 e os valores mínimos não inferiores a 0,6. De acordo com o embasamento teórico do método, quanto mais próximos da unidade mais eficiente é o ambiente em dissipar a erosividade das chuvas.

Computando-se apenas os eventos ocorridos em época de pousio, na qual a cobertura vegetal presente no solo era aquela oriunda dos resíduos da colheita, tem-se que em ITA-1 o IDE médio foi de 0,812, variando de 0,601 a 0,880. Em ITA-2 o valor médio foi de 0,857, com valor mínimo de 0,713 e máximo de 0,989.

Se considerar apenas a cultura da soja, tem-se que ao longo do período de monitoramento em ITA-1 o IDE, nesta condição, fora de 0,79 enquanto que em ITA-2 fora de 0,87.

No intuito de corroborar com a análise dos resultados, foram plotados gráficos com a variação média mensal do índice IDE em relação ao índice de vegetação NDVI, apresentados nas Figuras Figura 32 e Figura 33, respectivamente, para ITA-1 e ITA-2. Neles, observam-se que os valores do NDVI em ITA-1, durante o período de monitoramento e ocorrência dos eventos de chuva, variaram entre 0,33 e 0,878 ao passo que em ITA-2 estes valores ficaram entre 0,256 e 0,992.

Em ITA-2, os menores valores de NDVI entre julho e agosto de 2018 (Figura 33) se explicam pelo fato de que na área de influência desta MBH havia um talhão cultivado sob regime de sequeiro, onde fora plantado trigo e que, por falta de chuva, teve seu desenvolvimento prejudicado.

Tal estiagem que afetou o desenvolvimento da cultura foi adequadamente captada pelo sensor remoto e refletiu também no resultado do IDE. Já em ITA-1, todos talhões foram cultivados sob irrigação, suprindo às demandas hídricas do cultivo, motivo pelo qual os valores de NDVI foram superiores no mesmo período.

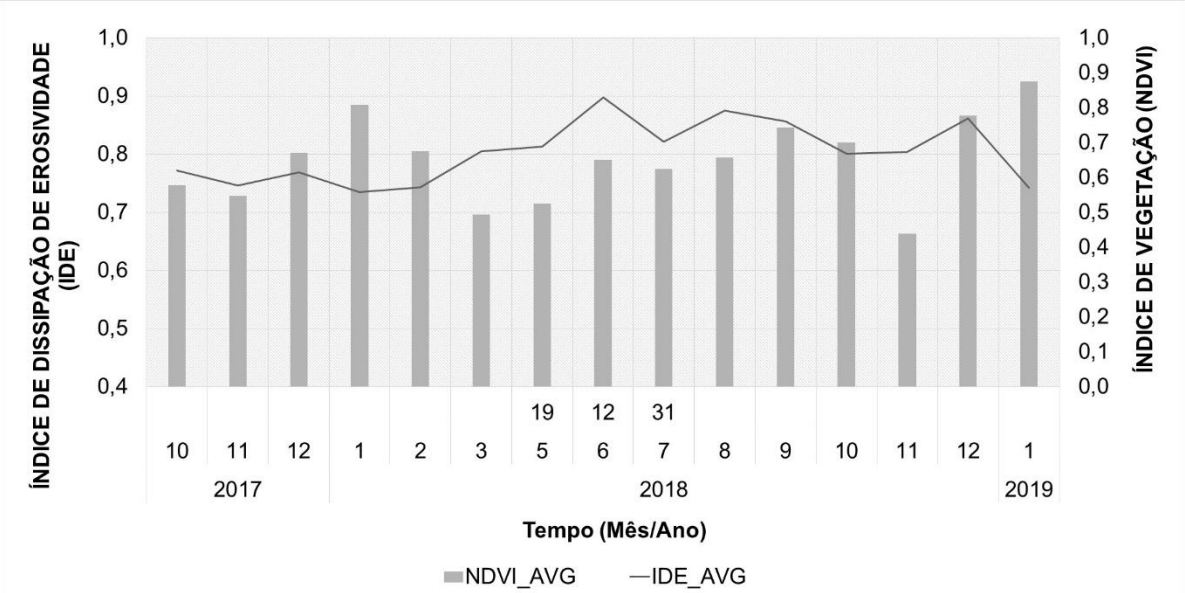


Figura 32: Variação do índice de dissipação de erosividade (IDE_AVG) em relação ao índice de vegetação (NDVI_AVG) em ITA-1

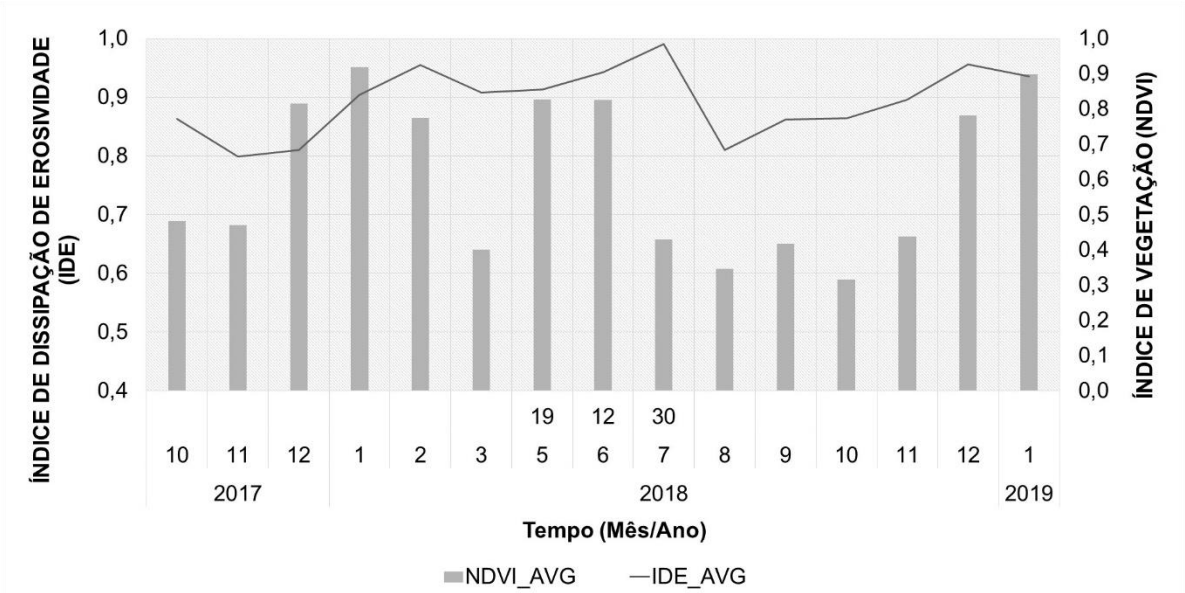


Figura 33: Variação do índice de dissipação de erosividade (IDE_AVG) em relação ao índice de vegetação (NDVI_AVG) em ITA-2.

Também para que o IDE fosse calculado, em cada evento de chuva a massa total de sedimentos (Ms) devia ser estabelecida. Este valor era calculado tendo como base o tempo de duração, a vazão de água e a concentração de sólidos em suspensão e ao longo dos eventos. Com relação aos valores máximos da [CSS], estes variaram na ordem de 20 a 910 mg L^{-1} em ITA-1 e 10 a 690 mg L^{-1} em ITA-2. (Figura 34).

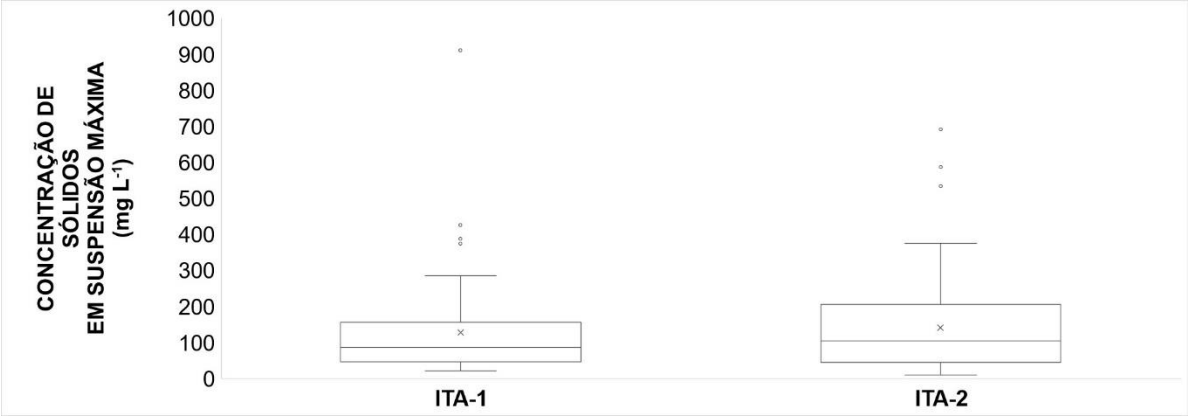


Figura 34: Diagrama de caixa da [CSS] máxima na água nas MBHs ITA-1 e ITA-2 ao longo do período de monitoramento.

O valor máximo de [CSS] na microbacia ITA-1 foi observado em novembro/2017, em um evento que apresentou o maior pico de vazão e também a maior produção total de sedimentos; já em ITA-2 a [CSS] máxima observada deu-se em outubro/2018, em um evento de cerca de 11 mm, porém de alta intensidade (73 mm h^{-1}), com o solo favorecendo o escoamento visto apresentar baixa cobertura vegetal (NDVI=0,3) (Tabela 9).

Tabela 9: Parâmetros hidrossedimentológicos e agrícolas em ITA-1 e ITA-2 nos eventos de máxima concentração de sólidos em suspensão ([CSS]).

	MBH	
PARÂMETRO	**ITA-1**	**ITA-2**
$T_{inicial}$	04/11/17 14:00	31/10/18 13:30
T_{final}	05/11/17 00:30	31/10/18 13:50
Duração (min)	630	20
Tempo chuva (min)	150	25
i_{max} (mm $5min^{-1}$)	11,2	6,1
i_{max} (mm h^{-1})	134,2	73,2
i_{total} (mm)	31,0	11,2
Qmax (L s^{-1})	174,6	6,9
Q_{med} (L s^{-1})	17,89	2,77
Volume (m^3)	676,3	3,3
$[CSS]_{máxima}$ (mg L^{-1})	910,96	690,83
Ms (kg)	177,0	1,8
IDE	0,761	0,989
CULTURA	MILHO	ALGODÃO
PLANTIO	11/09/2017	10/10/2018
DAS	54	21
NDVI	0,52	0,30

Ao somar a massa de sedimentos (Ms) ao longo dos eventos, chega-se ao total aproximado de 1180 kg (ITA-1) e 470 kg (ITA-2) (Tabela 16 em Anexos). Ao relacioná-las com

a área de captação resulta, respectivamente, na razão de 16 e 10 kg ha^{-1} para ITA-1 e ITA-2. Ajustando-as à uma taxa anual, tem-se 12 kg ha^{-1} ano^{-1} (ITA-1) e 7,5 kg ha^{-1} ano^{-1} (ITA-2).

Apesar de o IDE não ter sido concebido para mensurar a quantidade de sedimentos produzidos, a relação entre estas variáveis se mostrou inversamente relacionadas. Aquela onde o IDE foi maior (ITA-2), a massa de sedimentos estimada foi menor ao passo que onde o IDE foi menor (ITA-1), a massa produzida foi maior. Proporcionalmente por área, ITA-2 produziu cerca de 62% menos de sedimentos se comparado a ITA-1.

5.6. Eventos selecionados de precipitação pluvial

Como forma de compreender o efeito do ambiente sobre o desempenho ambiental da MBH, quatro eventos de precipitação pluvial de grande intensidade, e considerados como erosivos, foram selecionados ao longo do período de monitoramento; sendo dois em cada EHS. Estes eventos aconteceram nas seguintes datas: 31/12/2017 e 24/12/2018 em ITA-1 e 06/01/2018 e 04/01/2019 em ITA-2(Tabela 10).

As condições de umidade do solo nos 5 dias antecedentes a estes eventos foram distintas espaço e temporalmente. No ano de 2017 o conteúdo de água no solo foi maior que em 2018 em ITA-1, e em ITA-2 o ano de 2019 apresentava conteúdo de água no solo menor se comparado ao ano de 2018.

Tabela 10: Características do ambiente durante eventos de precipitação pluvial de alta intensidade selecionados nas microbacias ITA-1 e ITA-2.

		MBH			
		ITA-1		**ITA-2**	
EVENTO		**1**	**2**	**1**	**2**
DATA		31/12/17	24/12/18	06/01/18	04/01/19
CHUVA MÁXIMO	(mm $5min^{-1}$)	11,9	5,1	9,6	7,9
	(mm h^{-1})*	143,3	61,0	115,8	94,5
CHUVA TOTAL	(mm)	26,9	21,8	33	58,2
DURAÇÃO	(h)	0,75	1,83	0,58	4,16
CHUVA 5 DIAS	(mm)	79,2	55,1	68,3	95,7
$CE_{água}$ MÁXIMO	(µS cm^{-1})	38,0	24,9	14,0	66,6
[CSS] MÁXIMA	(mg L^{-1})	183,2	69,8	111,8	159,4
NÍVEL MÁXIMO	(m)	0,33	0,15	0,18	0,34
VAZÃO MÁXIMA	(L s^{-1})	159,54	32,55	45,63	172,40
CULTURA		MILHO	SOJA	SOJA	ALGODÃO
NDVI		0,804	0,805	0,922	0,899
IDE		0,796	0,858	0,989	0,867

Nota: * Valor extrapolado a partir do dado de intensidade de 5 minutos.

Em ITA-1 o evento selecionado ocorrido no dia 31/12/2017 (Figura 35), totalizou aproximadamente 27 mm, sendo que a altura máxima em 5 minutos foi de 11,94 mm, resultando em altura máxima extrapolada para 1 hora igual a 143,28 mm. Atingiu $CE_{água}$ máxima de 38 µS cm^{-1}, nível de água máximo de 0,33 m – vazão de 159,54 L s^{-1}, e fez com que [CSS] máxima na água atingisse 183,2 mg L^{-1}. A cultura na área era a soja, o terreno possuía NDVI de 0,804 e o IDE calculado para este evento foi de 0,796 (Tabela 10).

Na mesma MBH, no mês de dezembro de 2018, durante o evento pluviométrico selecionado "2" (Figura 36), foi registrado um total de 21,8 mm, com altura máxima em 5 minutos de aproximadamente 5,1 mm - o que equivaleria a uma chuva com altura de 61 mm em 1 hora. A $CE_{água}$ máxima registrada foi pouco menos de 25 µS cm^{-1}, a [CSS] máxima atingiu 69,7 mg L^{-1} e o nível de água alcançou 0,15 m o que resultou em vazão de 32,5 L s^{-1}. Em ambos os eventos na MBH ITA-1 (Tabela 10) a cultura implantada era a soja e o índice de vegetação praticamente o mesmo. A umidade volumétrica do solo (Figura 35), nos cinco dias antecedentes ao evento selecionado "1" em ITA-1 esteve acima de 0,5 m^3 m^{-3} e mostra ter atingido o seu máximo. Nota-se um aumento nos valores máximos de vazão e [CSS] durante cada evento de chuva antecessor e elevação da vazão média ao longo daquele período.

Com relação ao evento selecionado "2" em ITA-1, a umidade volumétrica do solo esteve abaixo de 0,4 m^3 m^{-3} no início dos cinco dias antecedentes, não atingindo o valor máximo do evento "1", e a vazão média, ao oposto do evento "1", não mostrava aumento e sim diminuição.

Reportando-se desta vez aos eventos selecionados na MBH ITA-2, o evento "1" que ocorreu em 06/01/2018 (Figura 37) totalizou 33,02 mm com máximo de 9,65 mm $5min^{-1}$ (aproximadamente 116 mm h^{-1}). Neste caso a $CE_{água}$ máxima foi 14,00 µS cm^{-1}, a lâmina de água atingiu 0,18 m (45,63 L s^{-1}). A cultura era a soja, o terreno possuía NDVI médio de 0,922 e o IDE atribuído a este evento foi de 0,989. A [CSS] máxima atingiu 111 mg L^{-1}.

No evento selecionado "2", que ocorreu em 04/01/2019, a precipitação pluvial total foi de 58,17 mm. A altura máxima em 5 minutos foi de 7,8 mm que se extrapolado para 1 hora resultaria em chuva de 94,5 mm. A $CE_{água}$ máxima atingida foi de 66,64 µS cm^{-1}, o nível máximo de água e a respectiva vazão foi 0,34 m e 172,4 L s^{-1}. A [CSS] máxima neste evento foi 40% superior ao evento "1" atingindo 159,40 mg L^{-1}. A cultura implantada nesta ocasião era o algodão e o índice de vegetação do terreno era aproximadamente 0,9. Diante de todas estas condições o IDE calculado apresentou valor de 0,867.

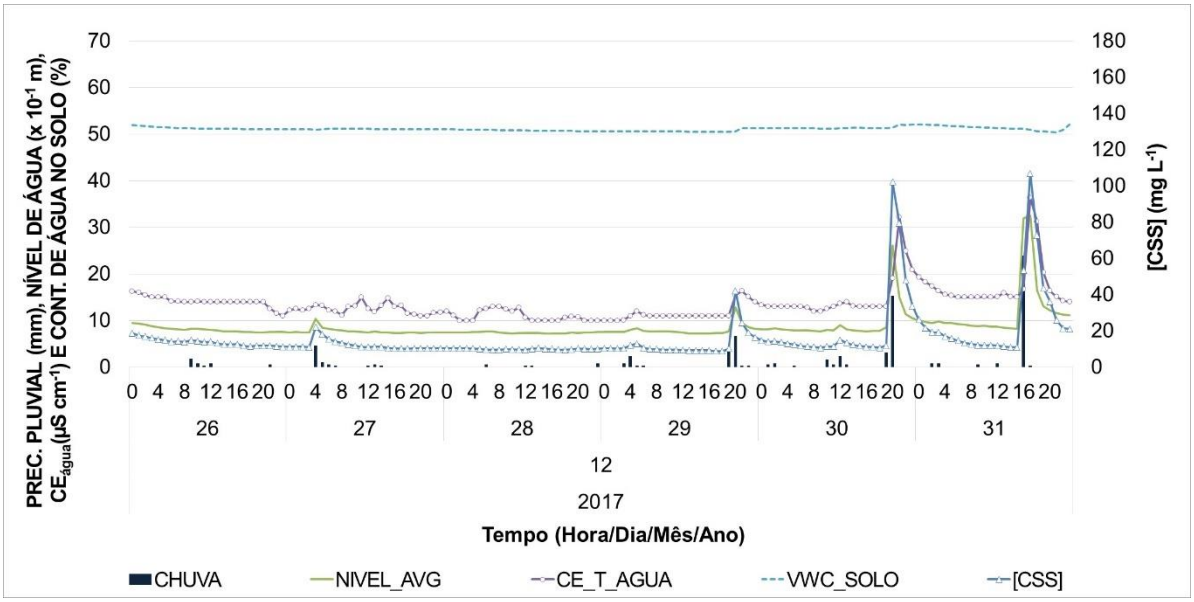


Figura 35: Precipitação pluvial (CHUVA), nível de água (NIVEL_AVG), condutividade elétrica da água (CE_T_AGUA), concentração de sólidos em suspensão ([CSS]) e conteúdo de água no solo (VWC_SOLO), durante o evento "1" na EHS ITA-1.

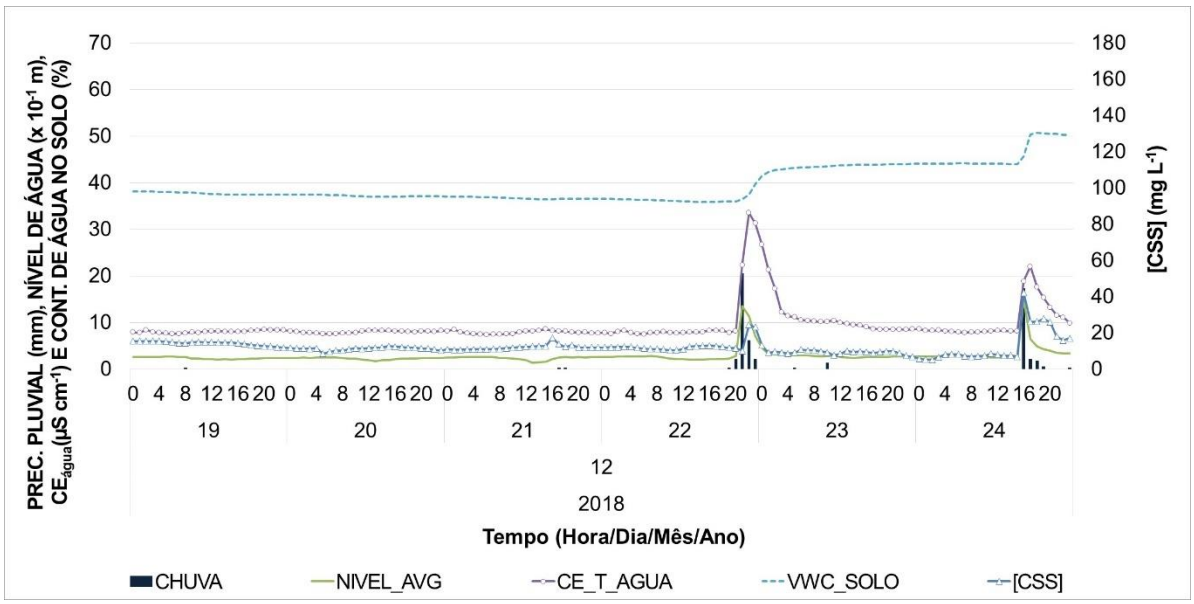


Figura 36: Precipitação pluvial (CHUVA), nível de água (NIVEL_AVG), condutividade elétrica da água (CE_T_AGUA), concentração de sólidos em suspensão ([CSS]) e conteúdo de água no solo (VWC_SOLO), durante o evento "2" na EHS ITA-1.

A precipitação acumulada nos 5 dias antecedentes aos eventos "1" e "2" em ITA-2, foi, respectivamente, 68,3 e 95,7 mm. A umidade volumétrica do solo, nos cinco dias que antecederam ao evento selecionado "1" em ITA-2 esteve próxima de 0,4 m^3 m^{-3}, não tendo atingido o valor máximo e o nível médio de água tendeu a se elevar (Figura 37).

Já no evento selecionado "2" em ITA-2 (Figura 38), o conteúdo de água no solo esteve abaixo de 0,4 m^3 m^{-3} no início dos cinco dias antecedentes; permaneceu em queda

dado ao não registro de entrada de água no sistema chegando a atingir valor próximo a 0,3 m^3 m^{-3} situação que fora revertida após entrada de 37,6 mm de água no sistema.

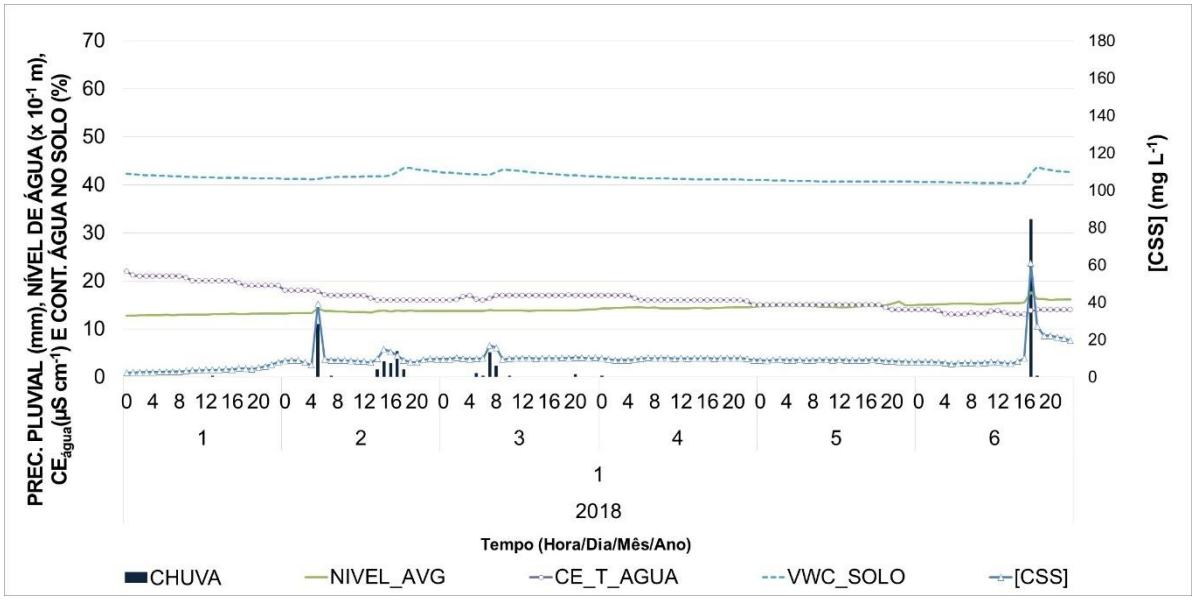


Figura 37: Precipitação pluvial (CHUVA), nível de água (NIVEL_AVG), condutividade elétrica da água (CE_T_AGUA), concentração de sólidos em suspensão ([CSS]) e conteúdo de água no solo (VWC_SOLO), durante o evento "1" na EHS ITA-2.

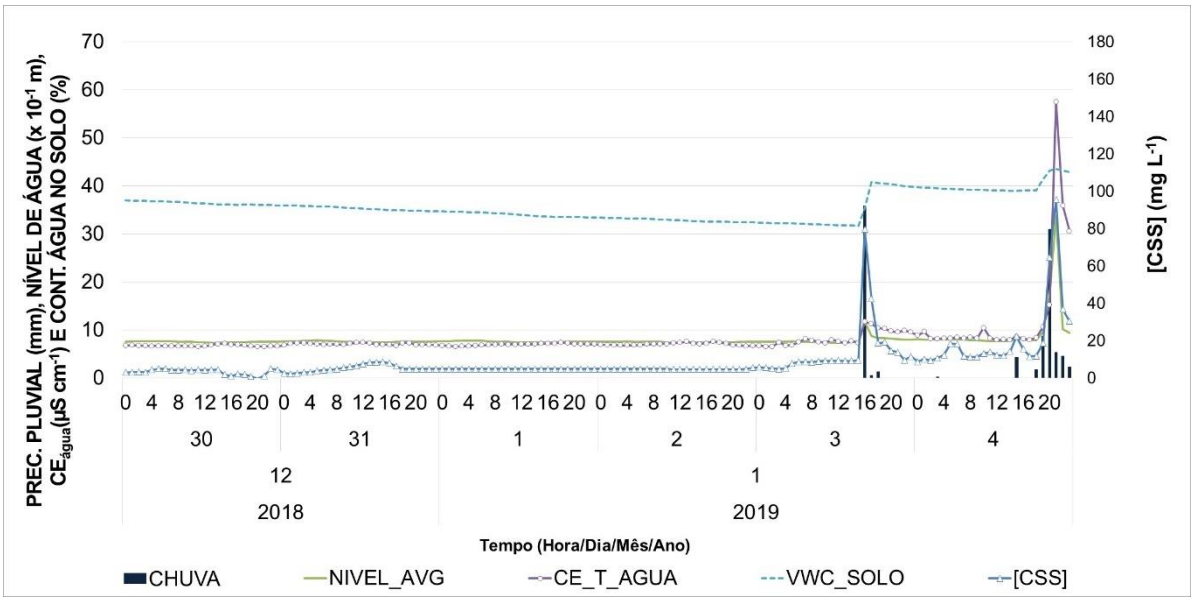


Figura 38: Precipitação pluvial (CHUVA), nível de água (NIVEL_AVG), condutividade elétrica da água (CE_T_AGUA), concentração de sólidos em suspensão ([CSS]) e conteúdo de água no solo (VWC_SOLO), durante o evento "2" na EHS ITA-2.

Nos eventos em destaque, na microbacia ITA-1, o que resultou em menor IDE fora aquele com maior intensidade horária de chuva, ao passo que em ITA-2 fora o com menor intensidade.

O intuito de mostrar eventos selecionados de precipitação pluvial foi comparar situações em que, no caso da MBH ITA-1 (apesar de se ter os totais de chuva muito próximos, a cultura ser a mesma e o índice de vegetação praticamente igual), a questão do conteúdo de água do solo aliada à intensidade máxima de chuva (no caso do evento "1" ter sido 2,35 vezes maior), interferiram no controle da produção de sedimentos.

5.7. Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto (IQP)

De acordo com dados levantados por Martins et al. (2018), na área de influência da MBH ITA-2, entre 2012 e 2015, cultivou-se feijão/milho - feijão/milho - trigo/algodão e o produtor informara que: O feijão, o milho, o trigo e o algodão, cobriram a área por, respectivamente, 4, 5, 4 e 7 meses, totalizando de 29 meses de cobertura viva, o que, conforme procedimentos detalhados na Tabela 17, define IR = 0,81 (sendo o número de meses base = 36). As famílias das plantas foram *Leguminosae*, *Gramineae* (*Poaceae*) e *Malvaceae*; totalizando 3 famílias (em três anos de cultivo), definindo pela Tabela 1, DR = 1,0 (base = 3 famílias). O número total de gramíneas no período analisado foi de três (3), resultando para o indicador Persistência de palhada/resíduos (PR), segundo a Tabela 17, igual a 0,5 (base = 6 gramíneas em 3 anos). Conforme declarado pelo produtor, nas condições regionais sob pivô central, faz-se sempre um preparo superficial do solo para leve incorporação dos resíduos e nivelar a superfície do terreno para o cultivo do feijão; portanto, o FP (intervalo entre operações de preparo de solo), pela Tabela 18, é 0,0 (zero). Os terraços foram mantidos desde o início da exploração agrícola e, embora havendo rebaixamento dos camalhões, o produtor declara haver um transbordamento a cada cinco anos, portanto, pela Tabela 19, TE = 1. O produtor declarou que fez a semeadura em nível, mas não a pulverização, que o solo está compactado nas cabeceiras e que percebe, na área monitorada, sinais visíveis de erosão superficial, tem-se que o AC (Tabela 19) resultou em 0,43 (base = 4). Calagem, gessagem e a adubação química são feitas com base em análise química do solo, sendo os dois primeiros, a cada 3 anos, aplicados a lanço e os nutrientes de plantas na linha de semeadura ou, no caso do nitrogênio, por fertirrigação; com isto, pela Tabela 20, FE = 1,0. Por ter adotado o plantio direto há mais de 25 anos (base >=25 anos), o produtor obteve TA = 1,0 (Tabela 21). Na

Tabela **11** são apresentados os valores individuais dos indicadores componentes e o resultado final do IQP na microbacia (De acordo com as devidas ponderações presentes na Tabela 22) gerado pela equação IQP = (IR*1,5 + DR*1,5 + PR*1,5 + FP*1,0 + TE*1,0 + AC*1,0 + FE*1,0 + TA*1,0) = 6,89.

Seguindo o mesmo procedimento metodológico e ainda tendo como base os dados obtidos por Martins et al. (2018), na

Tabela **11** também se encontra os indicadores e o resultado final do IQP para a área de influência da MBH ITA- 1. O produtor, neste caso, declarou que no período 2012-2015, a sequência de culturas foi trigo/algodão – feijão/soja – trigo/soja. Com isto, considerando as Tabela 17, Tabela 18, Tabela 19, Tabela 20 e Tabela 21 obtiveram-se IR = 0,81 (declara que para o trigo, entre semeadura e colheita, a área fica coberta por 5 meses); DR = 1,0 (*Gramineae*, *Malvaceae* e *Leguminosae*); PR = 0,33 (2 gramíneas); FP = 0,0 (preparo de solo para cultivo de feijão, uma vez a cada 3 anos); TE = 0,50 (terraços com 2 a 3 transbordamentos a cada 5 anos); AC = 0,43 (semeadura em nível; compactação de solo nas cabeceiras e sinais visíveis de erosão); FE = 1,0 (calagem, gessagem e adubação química baseados em análise de solo) e TA = 0,48 (adota o SPD há 12 anos). Com isto aplicando-se as devidas ponderações (Tabela 22) o IQP da ITA-1 para o período considerado foi de 5,62.

Tabela 11: Indicadores e valor final do IQP nas microbacias ITA-2 e ITA-1 em Itaí-SP

Indicador	Crítico	Ideal	ITA-1	ITA-2
Intensidade da rotação (IR)	0,75	1,00	0,81	0,81
Diversificação da rotação (DR)	0,67	1,00	1,00	1,00
Persistência da palhada (PR)	0,50	1,00	0,33	0,50
Frequência de preparo de solo (FP)	0,50	1,00	0,00	0,00
Terraceamento correto (TE)	0,50	1,00	0,50	1,00
Avaliação da Conservação (AC)	0,50	1,00	0,43	0,43
Fertilização equilibrada (FE)	0,50	1,00	1,00	1,00
Tempo de adoção do SPD (TA)	0,30	1,00	0,48	1,00
IQP			**5,62**	**6,89**

6. DISCUSSÃO

6.1. Precipitação pluvial

O total da precipitação pluvial registrada nas MBHs está em consonância com os dados registrados pelas estações localizadas em municípios vizinhos e pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) - estações de Avaré e Itapeva, e do CIIAGRO/IAC em Paranapanema. O regime de precipitação pluvial do período chuvoso 2017/2018 (outubro a janeiro) foi superior ao mesmo período de 2018/2019. Aliado a isto, se teve chuvas abaixo da média no mês de fevereiro de 2018 – menos da metade da média histórica apresentada por (CEPAGRI, 2018).

Isto posto, se sugere que o início da estação seca em 2018 ocorreu sob menor oferta hídrica e, consequentemente, baixa recarga dos cursos d'água, o que veio a impactar diretamente a condução das culturas instaladas nas áreas, visto se tratar de região de produtores irrigantes. Tal regime também fora notado no volume útil do reservatório de Jurumirim, que no dia 01/10/2017 contava com 65% e, no dia 31/01/2019, com apenas 15% da sua capacidade máxima (Agência Nacional de Águas, 2019).

A ocorrência de eventos independentes de chuvas, consideradas erosivas, em maior quantidade em ITA-2 se comparado a ITA-1 nas mesmas datas e horários (Figura 18), observada ao longo do monitoramento, pode ser explicada pela variabilidade intrínseca deste elemento meteorológico. Esta variabilidade espaço-temporal pode decorrer das condições da atmosfera, da presença de superfícies sólidas e líquidas na paisagem e são verificadas tanto em curto, médio e longo prazo (Conti, 2005, Carmello; Sant'anna Neto, 2015). Tal fato vai ao encontro do apresentado por Wischmeier (1959), que mostrou que 70% a 95% da variação anual de perdas de terra, em condições idênticas de solo, declive e cobertura para um mesmo local, podiam ser explicadas pelas características das chuvas - Isto mostra a relevância do monitoramento pluviométrico independente realizado em cada MBH.

Já o fato de ter sido contabilizado no período do monitoramento valor de precipitação pluvial total na MBH ITA-2 superior à ITA-1 pode ser explicado não apenas pela variabilidade das chuvas, mas também por que naquela MBH o pluviômetro registrava tanto o volume de chuva, quanto de parte da água do canhão do pivô central; condição esta corroborada também pela maior quantidade de eventos na classe de 1-5 mm nela registrados (Figura 20).

Os eventos de máxima intensidade pluvial (Tabela 6) aconteceram durante os meses de primavera/verão no período da tarde/noite, e estão de acordo com Antonio (2007), que mostrou que no Estado de São Paulo, as chuvas dos meses de novembro, dezembro e janeiro são tipicamente do tipo convectiva e intensas, de curta duração e de grande variabilidade espacial, fato este que, novamente, corrobora e explica a baixa correlação entre as chuvas

na intensidade horária registradas em ITA-1 e ITA-2. Nas MBHs em estudo, as chuvas de longa duração e baixa intensidade ocasionam perdas de água com pequeno risco de erosão, enquanto chuvas de menor quantidade e alta intensidade condicionam maior risco, indo ao encontro do demonstrado e concluído por Lombardi Neto; Pastana (1972).

6.2. Conteúdo de água no solo

O perfil de umidade do solo se recarregava rapidamente após poucos eventos sucessivos de precipitação pluvial, o que sugere que o solo das MBHs, apesar de não seguirem a pleno o SPD (Martins et al., 2018), tem uma boa taxa de infiltração. Tal suposição é baseada em Leite et al. (2009), segundo o qual a taxa de infiltração básica no solo cultivado sob SPD foi superior aos demais tratamentos testados.

Muitas vezes, o conteúdo de água no solo esteve mais relacionado à geração de escoamento superficial do que com as características da precipitação pluvial. Tal padrão pôde ser notado no evento selecionado “1” em ITA-1 (Figura 35), e está de acordo com Eltz; Mehl; Reichert, (2001), Seeger et al. (2004) e Bartels (2015).

Naquele evento, tal acréscimo no conteúdo de água pode ter feito o solo alcançar saturação e, desta maneira, se deu início ao escoamento superficial que acarretou no transporte de material de solo para dentro do curso d’agua, elevando a turbidez e por consequência a [CSS]. Tal constatação se ampara nos resultados obtidos por Dedecek; Resck; Freitas Junior (1986), Seganfredo; Eltz; De Brum (1997), Guadagnin et al. (2005) Leite et al. (2009), Oliveira et al. (2012b), De Almeida et al. (2016).

Já os eventos que produziram menores valores de [CSS] foram aqueles de pequeno volume de precipitação pluvial ou em baixa intensidade, ou então, aqueles nas quais as condições do solo eram desfavoráveis à geração de escoamento - com um reduzido volume de precipitação antecedente, menor conteúdo de água no solo; e épocas do ano em que o solo apresentava proteção (das culturas) contra os agentes desencadeantes do processo erosivo.

6.3. Nível e vazão

Devido à ausência ou a presença de estruturas de contenção do escoamento superficial em condições não ideais, bem como ao rastro do pivô formado no sentido do desnível (especialmente após cultivo de feijão), conforme Martins et al. (2018), a água oriunda das lavouras foi perdida com mais facilidade nas MBHs ITA-1 e ITA-2. A partir do momento em que tais estruturas estejam presentes, e em condições corretas, o excesso de água das precipitações pluviométricas pode ser manejado, conforme comprovado por Barcelos; Cassol;

Denardin (1999) de forma correta, evitando o livre escoamento superficial de água das chuvas.

A variação e a manutenção do nível e a vazão de água foi influenciada diretamente pela precipitação pluvial e pelo escoamento superficial produzido em cada área. Desta forma, chuvas de grande intensidade aliadas a baixa cobertura vegetal em área de plantio direto de "menor qualidade", provocaram maiores perdas de solo e água do que na área onde o plantio direto era de "melhor qualidade" com boa cobertura vegetal; resultados semelhantes àqueles mostrados por Lombardi Neto; Pastana (1972).

Um fato interessante que vale ser ressaltado é que o nível de água em novembro de 2018 estava baixo em ambas as microbacias, isto se comparado com o mesmo período do ano de 2017. Naquela ocasião, no mês de outubro de 2017, a média do nível de água registrado nas EHS era de 0,055 m de coluna de água, frente a 0,025 m em 2018. Variação similar fora constatada até mesmo em escala mais ampla por Agência Nacional de Águas (2019) no monitoramento do nível e da vazão do reservatório de Jurumirim.

Isto sugere que as chuvas do período mais chuvoso do ano (dezembro a março), responsáveis pela recarga dos estoques hídricos subterrâneos, responsáveis pela manutenção da vazão em períodos de baixa pluviosidade, não foram suficientes para esta finalidade. Segundo funcionários responsáveis pelo manejo dos pivôs, a situação se tornou crítica e preocupante e, caso não houvesse reposição entre os meses de fevereiro a abril de 2019, haveria risco de faltar água para irrigação. Assim como em Souza et al. (2017), a combinação entre a variação da precipitação pluvial e a cobertura do solo da bacia pode ter contribuído para o aumento (picos) e redução da vazão média do córrego. Isto pode demonstrar que, no caso de ITA-1, grande parte da água que entrou no sistema, na forma de precipitação pluvial, acabava por escoar pela superfície do solo e atingia o leito do curso d'agua, e com ela, possivelmente, arrastara sedimentos mas todavia em ITA-2 pode-se inferir que o ambiente nesta MBH possuía condições de promover maior controle do escoamento da água superficial e de diminuir as perdas de água.

A qualidade com que o SPD é conduzido, teve papel fundamental no controle da perda de água nas MBHs ITA-1 e ITA-2 e vão ao encontro do constatado por Volk; Cogo; Streck (2004) e do ponto de vista prático, este fato é muito importante, pois ele evidência e mostra que, mesmo com o uso da semeadura direta e não sendo o manejo dos resíduos culturais apropriado para manter protegida a superfície do solo o tempo todo, as perdas de solo e água podem ser elevadas.

Mas o simples fato do uso do SPD ou da semeadura direta, sem as devidas estruturas de contenção do escoamento superficial (tais como terraços), especialmente naquelas áreas que apresentam condições para que o escoamento superficial adquira velocidade, acaba se tornando ineficazes no controle do escoamento e na regularização das

vazões dos rios. Desta maneira, por exemplo, na microbacia ITA-1, onde havia um desvio de água da estrada para dentro da lavoura, este escoamento quedou por abrir um canal que levava água diretamente para dentro do leito do rio bem como promovendo aporte de sedimentos na porção inferior do terreno (Figura 44 em Anexos).

Os resultados de vazão se mostraram diretamente relacionados com o grau da qualidade do SPD atribuído às MBHs: aquela escolhida e tida como de melhor qualidade (ITA-2) foi a que manteve melhor condição de vazão e vice-versa (ITA-1).

6.4. Turbidez, sedimentos e condutividade elétrica

A taxa de perda de solo é função do produto da concentração de sedimentos presente no escoamento superficial pela taxa deste e, do mesmo modo que a perda total de solo, reflete, principalmente, as condições físicas da superfície do solo desencadeantes do processo erosivo.

Apesar deste estudo não ter visado à quantificação da produção de sedimentos, mas sim a capacidade do ambiente em controlá-la, pelos dados obtidos se pode estimar que na microbacia ITA-1 houve maior transporte de material em suspensão. Estes valores diferem e são menores que aqueles encontrados por Hernani et al. (1996), que ao estudarem o efeito de diferentes sistemas de preparo na perda de solo por erosão, ao longo de seis safras consecutivas, encontraram valores médios de 787 kg ha^{-1}, variando de 90 a 1878 kg ha^{-1}. Esta diferença pode estar relacionada ao fato de que naquele estudo a água proveniente do escoamento superficial era coletada imediatamente após a saída das parcelas de perda de solo. Porém, o total estimado em ITA-1 e ITA-2 são coerentes aos encontrados por Leite et al. (2009) e Antoneli; Brandalize (2013), em condição de plantio direto.

Os sedimentos aportados promoveram aumento da turbidez, que representa o grau de interferência que a água apresenta à passagem de luz, devido à presença de carga sólida em suspensão. Já os cátions e ânions maiores (ou principais), presentes no material dissolvido aportado, promoveram aumento da condutividade elétrica, uma propriedade influenciada pela presença de íons dissolvidos que aumentam a facilidade da água em conduzir a corrente elétrica (Drever, 1997). Desta maneira, ainda com referência aos eventos selecionados de precipitação pluvial, toda vez que havia um pico no valor de [CSS] o valor da CE também aumentava.

Tanto os valores mais altos de turbidez, como os de condutividade, indicaram que ocorreu, nas águas fluviais, maior aporte de sedimentos e nutrientes dissolvidos provenientes dos solos das porções superiores do terreno. Porém, neste aspecto, vale ressaltar que nem sempre valores elevados de turbidez corresponderam a cargas elevadas de sedimentos na água. Por muitas vezes, folhas carreadas pelo fluxo de água, ao se depositarem em frente à

janela de leitura do sensor de turbidez, interferiram no retroespalhamento dos raios de infravermelho (Figura 45 em Anexos). Uma maneira de aprofundar esta análise seria que houvesse coletas de água durante os eventos de precipitação pluvial, nos quais acarretasse aumento significativo da curva da vazão, tanto na “subida” quanto na “descida”, para posterior análise físico-química em laboratório. Estas coletas poderiam tanto serem feitas por amostradores automáticos quanto manualmente. Desta maneira, se poderia dizer em que grau a presença de sedimentos e nutrientes estaria afetando a turbidez e a condutividade elétrica da água.

A condutividade elétrica da água superficial e do solo (ponto monitorado na interface entre mata e lavoura) ao longo do monitoramento mostrou variação sazonal e acompanhou o aumento e diminuição da precipitação pluvial, bem como da cobertura vegetal presente. Desta maneira, em ambas MBH, os menores valores e variações ocorreram em meses de baixa precipitação pluvial, sendo estes: maio, junho e julho. Resultados semelhantes foram observados por Bertol et al. (2007) aos estudarem as perdas de solos e água e a qualidade do escoamento superficial associadas à erosão em área cultivada sob semeadura direta. Com relação aos valores médios estes estão dentro da faixa de 16 a 58 µS cm^{-1} encontrada por Ranzini & Lima (2002) ao estudarem a variação hidrológica, o balanço de nutrientes e as perdas de solo em duas microbacias no Vale do Paraíba, SP.

Em ITA-2, os picos nos valores da condutividade elétrica da água maiores que aqueles registrados em ITA-1, podem estar diretamente relacionados à concentração total de íons (característica natural para esse ambiente), já que em comparação com a primeira, a presença de folhas na área próximo à entrada da calha, era visivelmente superior - A entrada de material orgânico alóctone da mata ciliar acumulado durante a estiagem pode ter ocasionado o aumento da taxa de decomposição, elevando os valores de condutividade durante o evento de chuva. A mesma situação foi encontrada por Kochenderfer; Aubertin (1975), Arcova (1994), Antônio; Bitar; Bianchini Jr (1999), Guereschi; Fonseca-Gessner (2000) e Lopes et al. (2011). Pimenta (2007), ao estudar a evolução temporal da composição iônica e do carbono orgânico durante a decomposição anaeróbia de folhas, galhos e serrapilheira, encontrou valores máximos de condutividade elétrica 177,36 ± 24,62 µS cm^{-1} (folhas), 123,38 ±28,74 µS cm^{-1} (galhos) e 57,00 ± 18,17 µS cm^{-1} (serrapilheira). Estes valores, quando relacionados aos valores máximos encontrados nas MBHs, reflete a condição encontrada, especialmente em ITA-2, na entrada da calha.

Uma vez que ambas possuem mesma característica pedológica, geológica e geomorfológica como premissa básica para eleição, e estão sob as mesmas condições climáticas e de estado da vegetação ripária, os maiores valores de turbidez e condutividade elétrica da água durante os eventos de chuva indicam que em ITA-1 o manejo ocorre de maneira que permite ao solo agrícola maior perda de partículas e nutrientes aplicados ou

originalmente presentes no ambiente, os quais acabam por aportar no leito do córrego. Diante disto, uma informação que corroboraria com as análises seria o a obtenção do histórico de aplicação de fertilizantes (tipo, datas, fórmulas e quantidades) nas MBHs monitoradas.

Tais observações referentes ao manejo e a perda de solo, partículas e nutrientes, coincide com o encontrado por Cassol et al. (1999) ao estudarem a infiltração de água e perdas de água e solo no Rio grande do Sul; por Bagatini et al. (2011), que estudaram as perdas de água, solo, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica na cultura do milho; e por Costa; Figueiredo; Santos (2011) ao estudarem a hidrogeoquímica do escoamento superficial em solos de uma mesobacia no nordeste paraense.

6.5. IDE e NDVI

Nas MBHs ITA-1 e ITA-2 ficou evidenciado como em Melo, Sales, & De Oliveira (2011), Lima et al. (2013), Silva, Santos, & Montenegro, (2013), Sousa, Valladares, & Espíndola (2016), Bewket; Teferi, (2009), Machado; Vettorazzi (2003), Martins et al., (2010) que quanto maior o valor do NDVI, maior foi a capacidade em dissipar a energia da chuva e diminuir a produção de sedimentos. Para valores menores do NDVI os valores de IDE também tenderam a ser menores, acarretando menor capacidade de dissipação de erosividade e maior chance de produção de sedimentos.

A estiagem que aconteceu entre julho e agosto de 2018 que afetou o desenvolvimento da cultura foi adequadamente captada pelo sensor remoto e refletiu também no resultado do IDE. O terreno desprotegido e sem vegetação, ao receber um evento de chuva, acabou facilitando o carreamento de material de solo para o curso de água.

A quantidade de resíduos culturais também influenciou os valores do IDE, principalmente, durante as épocas de pousio, onde foram em média de 0,977. Isto mostra que os restos culturais oriundos da colheita, e deixados sobre a superfície do solo, contribuem para o controle das perdas de solo e água. Tal constatação coincide com Lombardi Neto et al. (1988) ao estudarem o efeito da quantidade de resíduos culturais de milho nas perdas de solo e água. Estes autores mostraram que a presença sobre a superfície do solo de 2 Mg ha^{-1} de resíduos de milho reduziu em 50% as perdas de terra e em 40% as de água em relação ao tratamento solo descoberto. Naquele trabalho quando a quantidade de resíduos aumentou para 8 Mg ha^{-1}, verificou-se redução de 90% nas perdas de terra e de 80% nas de água. No entanto, conforme relatado em oficina realizada por Martins et al. (2018), os produtores alegaram que a palhada sobre o solo, em período anterior à semeadura do feijão, é problema em áreas de ocorrência de geada, pois intensifica os danos deste fenômeno meteorológico.

Nos eventos resultantes em maior [CSS], em ambas as microbacias, o fato comum a eles foi o baixo valor do índice de vegetação (NDVI). Em ITA-2, além do valor do NDVI, a cultura instalada (algodão) contribuiu para o alcance deste resultado. Tal combinação vai ao encontro de que Leite et al. (2009) concluíram ao estudarem as perdas de solo e nutrientes em uma cultura de algodão cultivada em um latossolo: as perdas de solo foram mais acentuadas durante o estabelecimento da cultura, período mais crítico tendo em vista a maior erosividade das chuvas e a menor cobertura do solo.

Os valores de IDE de ITA-1 e ITA-2 se relacionaram com o padrão de manejo e foram coerentes com a preocupação e a dedicação dos produtores das microbacias em relação à conservação da qualidade de solo e água de suas propriedades. No campo, do ponto de vista técnico, se observa clara e efetivamente que os produtores apresentam bom desempenho ambiental, conforme demonstra o IDE. Pode-se inferir, dado o consumo e utilização em todas as necessidades das residências existentes nas propriedades, que a água da nascente é de boa qualidade (Martins et al., 2018).

Portanto, no presente estudo de caso, a proposta teórica do IDE é exequível e, em termos práticos, representa o padrão de manejo e o desempenho ambiental no âmbito da área de drenagem considerada, como a que se propõe.

Pela definição teórica, quanto mais próximo da unidade for o IDE, mais eficiente será o manejo e as práticas conservacionistas adotadas pelo gestor da propriedade rural. Neste sentido, em termos médios, 78 e 89% da energia que entrou no sistema em ITA-1 e ITA-2, respectivamente, por meio dos eventos de precipitação pluvial e de irrigação entre outubro/2017 a janeiro/2019, foi dissipada por meio do manejo e conservação do solo e da água adotado nestas microbacias.

Tomando-se como base os eventos selecionados de precipitação pluvial de alta intensidade da MBH ITA-2, apesar da intensidade máxima do evento “2” ter sido aproximadamente 20% menor e o índice de vegetação ter sido praticamente o mesmo do evento “1”, o total de chuva que fora 76% maior, quando aliado à cultura implantada (algodão), pode ter contribuído para a diminuição do valor do IDE (Tabela 10). Isto pois, segundo autores como Bertoni; Lombardi Neto, (2012), as culturas de feijão e algodão estão entre as culturas que mais promovem perdas de solo por erosão (Figura 42 e Figura 43 em Anexos).

Tanto para a ITA-1 quanto para a ITA-2, as recomendações relacionaram-se, em específico, com os cuidados em se promover a completa ausência de preparo do solo, o que se pode conseguir com a adoção de maior número de gramíneas no sistema de produção, especialmente, antes do cultivo do feijão bem como a adoção de gramíneas de elevada relação C:N (forrageiras). Supõem-se que isso, por sua vez, induziria uma maior quantidade de cobertura morta que manter-se-á por maior tempo, gerando proteção contra o impacto de gota de chuva, menor escorrimento superficial e, portanto, menor incidência de erosão

laminar. Mais importante do que esses efeitos, seriam aqueles devidos à ação radicular desse tipo de gramínea, com reflexos sobre a infiltração de água, fluxo de ar e calor, penetração dos sistemas radiculares e maior aproveitamento de nutrientes. No caso de ITA-1 ainda pode ser recomendado que o projeto do terraceamento da área de influência da MBH seja reavaliado e reformulado, visando protegê-la da ação de chuvas intensivas, diminuindo o número de transbordamentos dos terraços a número aceitáveis e controlando os processos erosivos.

6.6. IDE e IQP

O IDE calculado para as MBH ITA-1 e ITA-2 apresentou-se como bom indicador de análise comparativa entre as microbacias pareadas tal qual em Pelegrini (2013). D'Agostini; Martini; Schlindwein (2001) reforçam que este coeficiente não se refere a quantidade de erosão resultante, ou que poderia resultar, mas é apresentado como uma medida da eficiência do ser humano em impedir a conversão de energia erosiva da chuva em indesejável trabalho de erosão de solo.

Neste sentido, ITA-2 apresentou melhores condições de superfície resultando em menor trabalho erosivo; por outro lado, ITA-1 foi menos eficiente em dissipar a energia erosiva – Inclusive as perdas de solo estimadas nesta bacia podem ter sido maiores, considerando que parte do escoamento oriundo da estrada de acesso era direcionada para a mata ciliar vindo a atingir o curso de água (Figura 42 em Anexos) a jusante do ponto de monitoramento. Todavia não se tem essa fração exata, mas Oliveira et al. (2015) estimam que equivale a cerca de 40% do volume de chuva precipitado.

Os coeficientes utilizados - IDE e IQP, que apresentam objetivos similares de avaliar as condições de superfície determinadas pela intervenção humana, apresentaram resultados condizentes pelas variáveis utilizadas. A cobertura do solo de cada microbacia monitorada, aliada ao fato de manejos de qualidade diferentes adotados em cada propriedade, foram as principais determinantes desses resultados.

A ação humana sobre estes coeficientes, como bem ponderado por Pellegrini (2013), apesar de subjetiva e difícil quantificação, certamente determina a dinâmica hidrossedimentológica em bacias hidrográficas, pois os agricultores decidem quais as áreas serão utilizadas para lavoura, pastagem, reflorestamento ou preservação, e também determinam a utilização de práticas conservacionistas e o tipo de manejo do solo utilizado para minimizar os impactos do potencial energético despendido pelas variáveis climáticas na geração e concentração de escoamentos.

Assim, quando comparado o desempenho ambiental de ITA-1 e ITA-2 com os resultados obtidos na aplicação do IQP *ex ante* por Martins et al. (2018), se verifica que os resultados são coerentes com a percepção daqueles agricultores que gerenciam as

propriedades rurais. Desta forma, em ITA-1 o desempenho ambiental IDE_{ITA-1} fora de 0,787 enquanto o IQP_{ITA-1} 5,62. Já em ITA-2 os resultados de IDE_{ITA-2} e IQP_{ITA-2} foram, respectivamente, 0,884 e 6,89.

Apesar dos índices não terem sido concebidos com o propósito de estimar a perda de sedimentos, tanto os valores de IDE quanto de IQP são indicativos da eficiência do ambiente em reduzir a produção de sedimentos. Na relação entre eles e a massa de sedimentos produzida, o resultado é que quanto menores, maior a produção de sedimentos, e tais resultados vão ao encontro do que Hernani et al. (1996) e Panachuki et al. (2011) mostraram: que o sistema plantio direto, corretamente manejado, é altamente eficiente na redução das perdas de solo por erosão.

Os resultados da presente pesquisa corroboram esta afirmação pelo fato de que, apesar da maior ocorrência de eventos independentes de chuva consideradas erosivas em ITA-2, se comparado a ITA-1, nas mesmas datas e horários (Figura 18), observam-se menores sinais de erosão na microbacia ITA-2. Desta maneira, confirma-se que o sistema de plantio direto adotado segundo os seus preceitos preconizados e bem estabelecidos (Denardin et al., 2012) proporcionou maior IDE em ITA-2. Isso também mostra que ambos IDE e IQP conseguiram capturar e mostrar o efeito da qualidade do plantio direto sob a produção de erosão nas duas microbacias avaliadas.

E ainda que o método IQP (Roloff; Lutz; Mello, 2011a) não tenha sido inicialmente pensado para avaliar especificamente a condição de plantio direto sob irrigação, como é o caso das MBH estudadas neste trabalho, ele permitiu a identificação de diferenças (não testadas estatisticamente) entre as microbacias avaliadas. Em ITA-2 de acordo com os resultados, e seguindo a classificação de Martins et al. (2018), o manejo do solo é de bom padrão (IQP = 6,89), pois este valor fica na faixa de 8,5 a 6,5. Para a MBH ITA-1 onde o IQP = 5,62 o padrão de manejo é regular (faixa de 6,5 a 4,5).

Buscando correlacionar indicadores presentes na determinação do IQP que explicam as condições do ambiente, temos como exemplo o TE, que avalia a presença de estruturas de terraceamento corretos. Este indicador (

Tabela **11**) se correlacionou diretamente com as massas de sedimento geradas nas microbacias (Tabela 16 em Anexos): A quantidade de sedimentos por área gerada em ITA-1 foi maior que em ITA-2 e a nota de TE foi menor em ITA-1 do que em ITA-2. Ou seja, tanto pelo índice hidrossedimentológico quanto pela percepção do produtor rural, quedou comprovado que a presença de estruturas de contenção do escoamento superficial em boas condições é importante para a redução da produção de sedimentos.

Mas contudo, tanto em ITA-1 quanto em ITA-2, há evidências de que ainda são necessárias ações de melhorias nas práticas de manejo do solo e de plantas para que se

atinja o SPD em sua plenitude conceitual e se obtenha os efeitos positivos ao solo, às plantas, à água e a todo o ambiente com o manejo adequado deste sistema conservacionista.

A nota do IQP indica, em termos gerais, a maneira como o produtor compreende e realiza a gestão ou o manejo agrícola da área produtiva dentro da microbacia. Mas as classes aos quais as respectivas notas pertencem, assim como as devidas recomendações de melhorias para cada indicador detectado, bem como seus respectivos níveis críticos, foram definidas a partir de estudo realizado por Roloff; Lutz; Mello (2011b) na região do extremo oeste do Estado do Paraná, que apresenta características edafoclimáticas, culturais e econômicas específicas e distintas destas da região do Alto Paranapanema. Assim, entende-se que, visando à melhoria da qualidade do manejo, seja em qualquer outra região do País, faz-se necessário a adequação local e, até o estabelecimento, de maneira participativa, de classes mais rígidas, para que de fato se alcance a elevada qualidade do manejo do SPD desenvolvido.

Conclui-se, enfim, que no presente estudo, este índice é um bom instrumento de qualificação do manejo agrícola, bem como uma ferramenta motivadora para mudanças e adoção de práticas agrícolas sustentáveis, podendo também ser utilizada como norteadora de políticas de fomento a programas conservacionistas, incentivando os usuários a, gradativamente, assumirem plenamente o Sistema Plantio Direto.

7. CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados e discutidos se pode concluir que:

- Com base nos indicadores hidrossedimentológicos, o ambiente agrícola presente na microbacia ITA-2 foi mais eficiente no controle das perdas de solo e água do que aquele da microbacia ITA-1 no período de outubro de 2017 a janeiro de 2019.

- Tendo como base os valores de IQP atribuído pelos proprietários das fazendas e que mede a qualidade do manejo do plantio direto, a percepção é de que em ITA-1 a qualidade é inferior àquela reportada em ITA-2;

- Os índices hidrossedimentológicos (IDE) e os de autoavaliação (IQP) se relacionaram diretamente no presente estudo de caso, mostrando que quanto maior o IQP maior foi o IDE e vice-versa e representam o desempenho ambiental do padrão de manejo agrícola no âmbito de microbacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

ABADE, N. A. et al. Comparative Analysis of MODIS Time-Series Classification Using Support Vector Machines and Methods Based upon Distance and Similarity Measures in the Brazilian Cerrado-Caatinga Boundary. **Remote Sensing**, v. 7, n. 9, p. 12160–12191, 18 Sep. 2015. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2072-4292/7/9/12160>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual operativo do Programa Produtor de Água**. 2. ed. Brasília, DF: AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema de Acompanhamento de Reservatórios - SAR**. Disponível em: <http://sar.ana.gov.br/>.

ALVAREZ, J. W. R. **Transferência de fósforo em pequenas bacias hidrográficas com predomínio de sistema plantio direto precário**. 2014. Universidade Federal de Santa Maria, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3357>. Acesso em: 18 jan. 2019.

ANTONELI, V. A.; BRANDALIZE, F. F. Perdas de Água e Solo No Cultivo de Milho Com Diferentes Formas de Cultivo Em Agricultura Familiar Na Região Centro-Sul Do Paraná. **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 47, p. 85–94, 2013.

ANTONIO, C. A. de A. **Geoestatística aplicada à acumulação da precipitação pluviométrica com radar meteorológico**. 2007. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2007. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/90631>. Acesso em: 21 jan. 2019.

ANTÔNIO, R. M. M.; BITAR, A. L. L.; BIANCHINI JR., I. Consumo de Oxigênio Na Mineralização de Folhas, Galhos, Cascas e Serrapilheira. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 11, n. 2, p. 65–78, 1999.

ARCOVA, F. C. S. Qualidade da água. In: Curso Internacional Sobre Manejo de Bacias Hidrográficas, 1994, São Paulo. **Anais**... São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 1994.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2ed. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-CPAC, 1998.

BAGATINI, T. et al. Perdas de Solo e Água Por Erosão Hídrica Após Mudança No Tipo de Uso Da Terra, Em Dois Métodos de Preparo Do Solo e Dois Tipos de Adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 999–1011, Jun. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000300034&lng=pt&tlng=pt>.

BARCELOS, A. A.; CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E. Infiltração de Água Em Um Latossolo Vermelho-Escuro Sob Condições de Chuva Intensa Em Diferentes Sistemas de Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p. 35–43, Mar. 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06831999000100005&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 22 apr. 2019.

BARRIOS, E. Soil Biota, Ecosystem Services and Land Productivity. **Ecological Economics**, v. 64, n. 2, p. 269–285, 15 Dec. 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800907001693>. Acesso em: 18 jan. 2019.

BARRIOS, E.; COUTINHO, H. L. C.; MEDEIROS, C. A. B. **InPaC-S: Integração Participativa de Conhecimentos sobre Indicadores de Qualidade do Solo - Guia Metodológico.** Nairóbi: World Agroforestry Centre (ICRAF), Embrapa, CIAT, 2011.

BARTELS, G. K. **Monitoramento hidrossedimentológico numa bacia hidrográfica do Escudo Sul-Rio-Grandense**. 2015. Universidade Federal de Pelotas, 2015. Disponível em: <http://www.repositorio.ufpel.edu.br/handle/ri/2800>. Acesso em: 18 jan. 2019.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

BERTOL, O. J. et al. Perdas de Solo e Água e Qualidade Do Escoamento Superficial Associadas à Erosão Entre Sulcos Em Área Cultivada Sob Semeadura Direta e Submetida Às Adubações Mineral e Orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 781–792, Aug. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832007000400018&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 15 jan. 2019.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 3. ed. São Paulo: Icone, 1990.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 8. ed. São Paulo, SP: Ícone, 2012.

BEWKET, W.; TEFERI, E. Assessment of Soil Erosion Hazard and Prioritization for Treatment at the Watershed Level: Case Study in the Chemoga Watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia. **Land Degradation & Development**, v. 20, n. 6, p. 609–622, Nov. 2009. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/ldr.944>.

BLUM, W. E. H. Using the soil DPSIR framework – driving forces, pressures, state, impacts, and responses – for evaluating land degradation - Box 1.1. In: BRIDGES, E. M. et al. (Ed.). **Response to Land Degradation**. New Dehli, India: Oxford & IBH Publishing, 2001. p. 4–5.

BOLLIGER, A. et al. Taking Stock of the Brazilian “Zero-Till Revolution”: A Review of

Landmark Research and Farmers' Practice. **Advances in Agronomy**, v. 91, p. 47–110, 1 Jan. 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211306910025?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jan. 2019.

BRADLEY, J. S. A Simple Turbidimeter. **SEPM Journal of Sedimentary Research**, v. Vol. 26, n. 1, p. 61–63, 1 Mar. 1956. Disponível em: <https://pubs.geoscienceworld.org/jsedres/article/26/1/61-63/112863>. Acesso em: 21 jan. 2019.

BRASIL. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS.** Brasília, DF.: Funasa, 2014.

CAMPBELL SCIENTIFIC INC. **OBS-3+ and OBS300 Suspended Solids and Turbidity Monitors: Instruction Manual.**Utah, 2017. . Disponível em: <https://s.campbellsci.com/documents/us/manuals/obs-3+.pdf>.

CARMELLO, V.; SANT'ANNA NETO, J. L. Variabilidade Das Chuvas Na Vertente Paranaense Da Bacia Do Rio Paranapanema - 1999-2000 a 2009-2010. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 33, n. 0, p. 225, 1 Jun. 2015. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/raega/article/view/34729>. Acesso em: 21 jan. 2019.

CARVALHO, D. F. de et al. Predicting Soil Erosion Using Rusle and NDVI Time Series from TM Landsat 5. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 3, p. 215–224, 29 Mar. 2014. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/18419>. Acesso em: 27 jun. 2019.

CARVALHO, M. D. P. e; FREDDI, O. D. S.; VERONESE JUNIOR, V. Critérios de Classificação de Chuva Individual Erosiva Para o Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 26, n. 2, p. 175–183, 16 Apr. 2004. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/1880>. Acesso em: 24 oct. 2018.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentometria prática**. Rio de Janeiro: CPRM - Eletrobrás, 1994.

CARVALHO, N. de O. et al. Guia de Práticas Sedimentométricas. **Brasilia: Aneel**, 2000.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática**. 2 revisada ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008.

CARVALHO, N. de O.; CATHARINO, M. G. Avaliação do assoreamento de reservatório da UHE Itaipu. In: X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e I Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul., Gramado, RS. **Anais**... Gramado, RS: 1993.

CASSOL, E. A. et al. Infiltração de Água e Perdas de Água e Solo Por Erosão

Influenciadas Por Diferentes Métodos de Melhoramento Da Pastagem Nativa Gaúcha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 4, p. 923–931, Dec. 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06831999000400019&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 17 jan. 2019.

CASTRO NETO, P.; VILELA, E. de A. Veranico: Um Problema de Seca No Período Chuvoso. **Informe Agropecuario**, v. 12, n. 138, p. 59–62, 1986.

CEPAGRI. **Clima dos Municípios Paulistas**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informações/clima-dos-municipios-paulistas.html>. Acesso em: 24 may. 2018.

CHAGAS, D. S. **Relação entre concentração de sólidos suspensos e turbidez da água medida com sensor de retroespalhamento óptico**. 2015. Universidade do Estadual do Sudoeste da Bahia, 2015.

CHATFIELD, C. WET AND DRY SPELLS. **Weather**, v. 21, n. 9, p. 308–310, 1 Sep. 1966. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/j.1477-8696.1966.tb02881.x>. Acesso em: 22 jul. 2019.

CONTI, J. B. Considerações Sobre as Mudanças Climáticas Globais. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 6, p. 70–75, 2005. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47286>.

COSTA, C. F. G. da; FIGUEIREDO, R. de O.; SANTOS, I. P. de O. Influência do uso da terra no Nordeste Paraense sobre indicadores físico-químicos de qualidade da água do escoamento superficial no solo. (Associação Brasileira de Recursos Hidricos, Ed.) In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió. **Anais**... Maceió: In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. Anais …, 2011.

COSTA, R. D. NUTRIENTES NA ÁGUA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO COM MULCHING VERTICAL. 18 Oct. 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7633>. Acesso em: 18 jan. 2019.

CURI, N. et al. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993.

D'AGOSTINI, L. R. **Erosão: O Problema Mais Que o Processo**. Florianópolis: EDUFSC, 1999.

D'AGOSTINI, L. R. **Coeficiente Controle da Produção de Sedimentos: uma medida de desempenho ambiental**, 2012. .

D'AGOSTINI, L. R.; CUNHA, A. P. P. da. **Ambiente**. 1a. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2007.

D'AGOSTINI, L. R.; DENARDIN, J. E.; LEMAINSKI, J. Índice de Dissipação de

Erosividade. **Embrapa Trigo-Documentos (INFOTECA-E)**, n. 175, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1090308/1/ID443222017DO175.pdf>.

D'AGOSTINI, L. R.; MARTINI, L. C. P.; SCHLINDWEIN, S. L. Índice-indicador de desempenho ambiental: uma metodologia integradora de perspectivas no controle da erosão. In: II Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia. **Anais**... Goiânia.: 2001.

DE ALMEIDA, W. S. et al. Erosão Hídrica Em Diferentes Sistemas de Cultivo e Níveis de Cobertura Do Solo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, 2016.

DEDECEK, R. A.; RESCK, D. V. S.; FREITAS JUNIOR, E. de. Perdas de Solo, Água e Nutrientes Por Erosão Em Latossolo Vermelho-Escuro Dos Cerrados Em Diferentes Cultivos Sob Chuva Natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 265–271, 1986.

DEFEO, L. F.; ESQUERDO, J. C. D. M. Utilização de índices de vegetação NDVI e EVI do sensor MODIS para caracterização espectro-temporal de coberturas vegetais do Pantanal. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, São José dos Campos. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 18 Nov. 2016. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1056598>. Acesso em: 17 jan. 2019.

DENARDIN, J. E. et al. **Manejo de enxurrada em sistema plantio direto**. Porto Alegre: Fórum Estadual de Solo e Água, 2005.

DENARDIN, J. E. et al. **Diretrizes do Sistema Plantio Direto no contexto da agricultura conservacionistaDocumentos On-Line: Embrapa Trigo**Passo FundoEmbrapa Trigo, , 2012. . Disponível em: <www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do141.pdf>.

DERPSCH, R. No - Tillage and Conservation Agriculture : A Progress Report. In: GODDARD, T. et al. (Ed.). **No-till farming systems.** Bangkok: World Association of Soil and Water Conservation, 2008. p. 7–39.

DERPSCH, R. et al. Why Do We Need to Standardize No-Tillage Research? **Soil and Tillage Research**, v. 137, p. 16–22, Apr. 2014. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198713001992>.

DIDONÉ, E. J. **Erosão bruta e produção de sedimentos em bacia hidrográfica sob plantio direto no planalto do rio grande do sul (Gross erosion and sediment yield in a no-tillage catchment on the Rio Grande do Sul plateau)**. 2013. Universidade Federal de Santa Maria, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/5573>. Acesso em: 18 jan. 2019.

DOMINGUES, A. F. et al. Quantificação Dos Benefícios Ambientais e Compensações Financeiras Do "Programa Do Produtor de Água" (ANA): II. Aplicação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 3, p. 15–21, 2004a. Disponível em:

<http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=31&SUMARIO=496>.

DOMINGUES, A. F. et al. Quantificação Dos Benefícios Ambientais e Compensações Financeiras Do “Programa Do Produtor de Água” (ANA): I. Teoria. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 3, p. 5–14, 1 Jan. 2004b. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=31&SUMARIO=465>.

DOUGLAS, I. Ecosystems and Human Well-Being. In: **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**. [s.l.] Elsevier, 2015.

DREVER, J. I. **The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments**. 3. ed. [s.l.] Prentice-Hall. Inc., 1997.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perdas de Solo e Água Em Entressulcos Em Um Argissolo Vermelho-Amarelo Submetido a Quatro Padrões de Chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 485–493, Jun. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832001000200024&lng=pt&tlng=pt>.

ELVIDGE, C. D.; LYON, R. J. P. Influence of Rock-Soil Spectral Variation on the Assessment of Green Biomass. **Remote Sensing of Environment**, v. 17, n. 3, p. 265–279, 1 Jun. 1985. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0034425785900999?via%3Dihub>. Acesso em: 17 jan. 2019.

EMBRAPA INFORMÁTICA. **SATVeg - Sistema de Análise Temporal da Vegetação**. Disponível em: <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html>. Acesso em: 19 dec. 2018.

EMBRAPA MEIO AMBIENTE. **Condutividade**. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/ecoagua/eco/condu.html>. Acesso em: 15 aug. 2019.

EMBRAPA SOLOS. **Simplificação do Plantio Direto reduz eficiência da lavoura**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1909275/simplificacao-do-plantio-direto-reduz-eficiencia-da-lavoura>. Acesso em: 24 may. 2018.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. **Technical Guidelines for Irrigation Suitability Land Classification Technical Guidelines for Irrigation Suitability Land ClassificationReclamation - Managing Water in West**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/mands-pdfs/TechnicalGuidelinesForIrrigationSuitabilityLandClass_2005.pdf>.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Environment in the European Union at the turn of Century**. Copenhagen: EEA, 1999.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO E IRRIGAÇÃO. **Metodologia**

Participativa para avaliação da qualidade do Sistema Plantio Direto. Disponível em: <https://www.plantiodireto.org/sites/default/files/documentos/ANEXO II - Cartilha IQP.pdf>. Acesso em: 4 apr. 2019a.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO E IRRIGAÇÃO. **Área do Sistema Plantio Direto no Brasil.** Disponível em: <https://febrapdp.org.br/download/area-PD-Brasil-e-estados.pdf>. Acesso em: 24 may. 2018b.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO E IRRIGAÇÃO. **BRASIL - EVOLUÇÃO DA ÁREA CULTIVADA EM PLANTIO DIRETO**. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/download/BREvolucaoPD92a02.pdf>. Acesso em: 24 may. 2018c.

FENZL, N.; RAMOS, J. F. **Introdução à hidrogeoquímica**. Belém, PA: Universidade Federal do Pará, 1986.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. A Framework for Land Evaluation. **FAO soil bulletin 32, Rome**, 1976.

FRANCHINI, J. C. et al. Manejo Do Solo Para Redução Das Perdas de Produtividade Pela Seca. **Embrapa, Documentos 314**, n. 314, p. 39, 1 Feb. 2009. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/631857>. Acesso em: 17 jan. 2019.

FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R.; KASSAM, A. Overview Od the Global Spread of Conservation Agriculture. **Field Actions Science Reports**, 2012.

GIPPEL, C. J. The Use of Turbidimeters in Suspended Sediment Research. **Hydrobiologia**, v. 176–177, n. 1, p. 465–480, Jul. 1989. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/BF00026582>.

GOOGLE LLC. **Google Earth Pro**, 2019. . Disponível em: <https://www.google.com.br/earth/versions/#download-pro>.

GORTE, T. et al. Qualidade de solo e índice de qualidade participativo no plantio direto: existe correlação? In: ANAIS DA XX REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, Foz do Iguaçu. **Anais**... Foz do Iguaçu: SBCS, 2016.

GRAY, J. R.; GARTNER, J. W. Technological Advances in Suspended-Sediment Surrogate Monitoring. **Water Resources Research**, v. 45, n. 4, 1 Apr. 2009. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1029/2008WR007063>. Acesso em: 18 jan. 2019.

GUADAGNIN, J. C. et al. Perdas de Solo, Água e Nitrogênio Por Erosão Hídrica Em Diferentes Sistemas de Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 277–286, Apr. 2005. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832005000200013&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 25 apr. 2019.

GUERESCHI, R. M.; FONSECA-GESSNER, A. A. Análise de variáveis físicas e químicas da água e do sedimento de três córregos da Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio, SP, Brasil. In: SANTOS, J. E. DOS; PIRES, J. S. R. (Ed.). **Estação Ecológica de Jataí**. São Carlos: Editora Rima, 2000. p. 387–402.

GUILHERME, A. P. et al. USO DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO PARA CARACTERIZAR A MUDANÇA NO USO DO SOLO EM COARI-AM. **Sociedade & Natureza**, v. 28, n. 2, p. 301–310, Aug. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-45132016000200301&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 22 oct. 2018.

GUIMARÃES, J. C. R. **Medida de concentração de sedimentos e turbidez na Bacia Hidrográfica do Lajeado Grande, São Martinho da Serra (RS)**. 2010. Universidade Federal de Santa Maria, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7530>. Acesso em: 23 jan. 2019.

HERNANI, L. C. et al. Perdas Por Erosão e Rendimentos de Soja e de Trigo Em Diferentes Sistemas de Preparo de Um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 4, p. 667–676, Dec. 1997. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06831997000400018&lng=pt&tlng=pt>.

HOLBEN, B. N.; TUCKER, C. J.; FAN, C. J. Spectral Assessment of Soybean Leaf Area and Leaf Biomass. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 46, n. 5, p. 651–656, 1 May 1980. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19800051129>. Acesso em: 17 jan. 2019.

HOROWITZ, A. J. Determining Annual Suspended Sediment and Sediment-Associated Trace Element and Nutrient Fluxes. **Science of The Total Environment**, v. 400, n. 1–3, p. 315–343, Aug. 2008. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969708004543>.

HUDSON, N. **Soil conservation: fully revised and updated.** 3. ed. New Delhi, Índia: New India Publishing Agency, 2015.

HUETE, A. R.; JUSTICE, C.; LIU, H. Development of Vegetation and Soil Indices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 3, p. 224–234, 1 Sep. 1994. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0034425794900183?via%3Dihub>. Acesso em: 17 jan. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em: 24 nov. 2018.

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting Vegetation Indices. **Preventive Veterinary Medicine**, 1991.

JIANG-HONG, Z.; TINGWU, L. Research on the Process of Runoff and Sediment-Production in the Shunjiagou Small Watershed by Applying Automatic Measurement System. **Journal of American Science**, v. 2, n. 4, p. 12–17, 2006. Disponível em: <http://www.jofamericanscience.org/journals/am-sci/0204/03-0191-zhoujianghong-am.pdf>.

KASSAM, A. et al. The Spread of Conservation Agriculture: Justification, Sustainability and Uptake. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 7, n. 4, p. 292–320, 8 Nov. 2009. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3763/ijas.2009.0477>. Acesso em: 17 jan. 2019.

KIBBLEWHITE, M. .; RITZ, K.; SWIFT, M. . Soil Health in Agricultural Systems. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1492, p. 685–701, 27 Feb. 2008. Disponível em: <http://www.royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2007.2178>.

KOCHENDERFER, J. N.; AUBERTIN, G. M. Effects of Management Practices on Water Quality and Quantity: Fernow Experimental Forest, West Virginia. **USDA For Serv Gen Tech Rep NE US Dep Agric For Serv Northeast For Exp Stn**, 1975. Disponível em: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201303078385>. Acesso em: 8 feb. 2019.

KOWAL, J.; KASSAM, A. Energy Load and Instantaneous Intensity of Rainstorms at Samaru, Northern Nigeria. **Tropical Agriculture (UK)**, 1976. Disponível em: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XE76A0893>.

KRONKA, F. J. N. et al. **Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo**. 1ed. ed. São Paulo: Imprensa Oficial, 2005.

LANNA, A.; MARTINI, L. C. P. Medidas Compensatórias Aplicáveis à Questão Da Poluição Hídrica de Origem Agrícola. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 111–136, 2003. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=37&SUMARIO=571>.

LEITE, M. H. S. et al. Perdas de Solo e Nutrientes Num Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico Típico, Com Diferentes Sistemas de Preparo e Sob Chuva Natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 3, p. 689–699, Jun. 2009. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000300021&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 14 mar. 2019.

LEONARDO, H. C. L. **Indicadores de qualidade de solo e água para a avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do Rio Passo Cue, região oeste do estado do Paraná**. 2003. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-27112003-094029/>. Acesso em: 22 oct. 2018.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso.** 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

LEWIS, J. Estimation of suspended sediment flux in streams using continuous turbidity and flow data coupled with laboratory concentrations. In: Proceedings of the turbidity and other sediment …, **Anais**...2002. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/7812>. Acesso em: 31 jul. 2019.

LIMA, G. C. et al. Evaluation of Vegetation Cover Using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n. 2, p. 204–214, 29 Aug. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1980-993X2013000200020&lng=en&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 17 jan. 2019.

LINO, J. S. **Evolução do sistema plantio direto e produção de sedimentos no Rio Grande do Sul**. 2010. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-17092010-181206/>. Acesso em: 18 jan. 2019.

LINSLEY, R. K.; FRANZINI, J. B. **Engenharia de Recursos Hídricos.** São Paulo, SP: USP/McGraw-Hill, 1978.

LOMBARDI NETO, F. et al. Efeito Da Quantidade de Resíduos Culturais de Milho Nas Perdas de Solo e Água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas**, v. 12, n. 1, p. 71–75, 1988.

LOMBARDI NETO, F.; PASTANA, F. I. Relação Chuva-Perdas Por Erosão. **Bragantia**, v. 31, n. unico, p. 227–234, 1972. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87051972000100019&lng=pt&tlng=pt>.

LOPES, E. F. et al. Avaliação Da Qualidade Da Água Em Microbacias Hidrográficas de Uma Unidade de Conservação Do Nordeste Do Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 9, n. 3, p. 371, 21 Sep. 2011. Disponível em:

<http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/1758>. Acesso em: 8 feb. 2019.

LUCIANO, R. V. et al. Propriedades Físicas e Carbono Orgânico Do Solo Sob Plantio Direto Comparados à Mata Natural , Num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 9, n. 1, p. 9–19, 2010.

LUÍZ, Â. M. E.; PINTO, M. L. C.; SCHEFFER, E. W. de O. Parâmetros de Cor e Turbidez Como Indicadores de Impactos Resultantes Do Uso Do Solo, Na Bacia Hidrográfica Do Rio Taquaral, São Mateus Do Sul-PR. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 24, 28 Mar. 2012. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/raega/article/view/26264>. Acesso em: 23 jan. 2019.

LYON, D. et al. Achievements and future challenges in conservation tillage. In: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress., Brisbane, Austrália. **Anais**... Brisbane, Austrália: Crop Science, 2004. Disponível em: <www.cropscience.org.au/icsc2004/symposia>.

MACHADO, J. A. **Efeito dos sistemas de cultivo reduzido e convencional na alteração de algumas propriedades físicas e químicas do solo.** 1976. Santa Maria, Tese Livre Docência, 1976.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A. Simulação Da Produção de Sedimentos Para a Microbacia Hidrográfica Do Ribeirão Dos Marins (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 735–741, Aug. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000400018&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 8 apr. 2019.

MARQUES, R. P. **PTC3421 – Instrumentação Industrial: Nível - Parte II**. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4466673/mod_resource/content/1/05b - Nível - V2017a.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2019.

MARTINS, A. L. da S. et al. Avaliação Ex Ante Do Índice de Qualidade Participativo Do Plantio Direto (IQP) Com Produtores Do Centro-Sul Do Brasil. **Documentos Embrapa Solos**, n. 203, p. 52, 2018. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1104307>. Acesso em: 17 jan. 2019.

MARTINS, S. G. et al. Fator Cobertura e Manejo Do Solo e Perdas de Solo e Água Em Cultivo de Eucalipto e Em Mata Atlântica Nos Tabuleiros Costeiros Do Estado Do Espírito Santo. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 517–526, 2010.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; DE OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação Do Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada (NDVI) Para Análise Da Degradação Ambiental Da Microbacia Hidrográfica Do Riacho Dos Cavalos, Crateús-CE. **RA'E GA - O Espaco Geografico em Analise**, 2011.

METZGER, J. P. O Que é Ecologia de Paisagens? **Biota Neotropica**, v. 1, n. 1–2, p. 1–9, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032001000100006&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 22 apr. 2019.

MINELLA, J. P. G. et al. Estimating Suspended Sediment Concentrations from Turbidity Measurements and the Calibration Problem. **Hydrological Processes**, v. 22, n. 12, p. 1819–1830, 15 Jun. 2008. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/hyp.6763>.

MINELLA, J. P. G.; WALLING, D. E.; MERTEN, G. H. Combining Sediment Source Tracing Techniques with Traditional Monitoring to Assess the Impact of Improved Land Management on Catchment Sediment Yields. **Journal of Hydrology**, v. 348, n. 3–4, p. 546–563, Jan. 2008. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169407006208>.

MONTEIRO, J. E. B. de A. **Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. 1ed. ed. Brasília, DF: INMET, 2009.

MOTTER, P.; ALMEIDA, H. G. de. **Plantio direto: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira**. Fóz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015.

NASA. **MODIS - MODERATE RESOLUTION IMAGING SPECTRORADIOMETER**. Disponível em: <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>. Acesso em: 24 may. 2018.

NETO, O. C. P. et al. Análise Do Tempo de Consolidação Do Sistema de Plantio Direto. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 489–496, 2007.

OLIVEIRA, L. C. de et al. Perdas de Solo, Água e Nutrientes Por Erosão Hídrica Em Uma Estrada Florestal Na Serra Catarinense. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 655–665, 30 Sep. 2015. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/19616>. Acesso em: 21 jan. 2019.

OLIVEIRA, P. T. S. de et al. Spatial Variability of the Rainfall Erosive Potential in the State of Mato Grosso Do Sul, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 1, p. 69–79, Feb. 2012a. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162012000100008&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 18 feb. 2019.

OLIVEIRA, J. G. R. et al. Erosão No Plantio Direto: Perda de Solo, Água e Nutrientes. **Boletim de Geografia**, v. 30, n. 3, p. 91–98, 27 Aug. 2012b. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/17644>. Acesso em: 1 mar. 2019.

PANACHUKI, E. et al. Perdas de Solo e de Água e Infiltração de Água Em Latossolo Vermelho Sob Sistemas de Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1777–1786, Oct. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-

06832011000500032&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 17 dec. 2018.

PANARELLI, E. A.; NOGUEIRA, M. G.; HENRY, R. Short-Term Variability of Copepod Abundance in Jurumirim Reservoir, São Paulo, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 61, n. 4, p. 577–598, Nov. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842001000400007&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 2 apr. 2018.

PELLEGRINI, A. **Índices de desempenho ambiental e comportamento hidrossedimentológico em duas bacias hidrográficas rurais**. 2013. Universidade Federal de Santa Maria, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3349>. Acesso em: 18 jan. 2019.

PERES, J. G. **Hidráulica Agrícola**. 1. ed. São Carlos: EdUFSCar - Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2015.

PIMENTA, C. M. M. **Evolução temporal da composição iônica e do carbono orgânico durante a decomposição anaeróbia de folhas, galhos e serapilheira**. 2007. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=94842>. Acesso em: 8 feb. 2019.

PINHEIRO, E. A. R. et al. Calibração de Turbidímetro e Análise de Confiabilidade Das Estimativas de Sedimento Suspenso Em Bacia Semiárida. **Water Res. Irrig. Manag**, v. 2, n. 2, p. 103–110, 2013. Disponível em: <http://www2.ufrb.edu.br/wrim/wrim-v-2-n-2-2013>.

PORTOCARRERO, H. **Avaliação do Efeito de Técnicas de Bioengenharia em Parâmetros Hidrossedimentológicos Utilizando Instrumentação Automatizada**. 2009. I Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://www.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0421305_09_pretextual.pdf>.

PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. de M.; FERREIRA, C. E. G. MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DOS FATORES FISIOGRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DE CONTRIBUIÇÃO PARA O RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA–SP. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 36, 2010. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16172>.

PRUSKI, F. F.; DOS SANTOS BRANDÃO, V.; DA SILVA, D. D. **Escoamento superficial**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003.

RALISCH, R. et al. Morphostructural Characterization of Soil Conventionally Tilled with Mechanized and Animal Traction with and without Cover Crop. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1795–1802, Dec. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-

06832010000600003&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 17 jan. 2019.

RANZINI, M.; LIMA, W. de P. Comportamento Hidrológico, Balanço de Nutrientes e Perdas de Solo Em Duas Microbacias Reflorestadas Com Eucalyptus, No Vale Do Paraíba, SP. **Scientia Forestalis**, v. 61, p. 144–159, 2002.

RAPOSO, A. A.; BARROS, L.; MAGALHÃES JUNIOR, A. O PARÂMETRO DE TURBIDEZ DAS ÁGUAS COMO INDICADOR DE IMPACTOS HUMANOS NA DINÂMICA FLUVIAL DA BACIA DO RIO MARACUJÁ – QUADRILÁTERO FERRÍFERO/MG. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada., Viçosa, MG. **Anais**... Viçosa, MG: 1 Jul. 2009. Disponível em: <http://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo3/007.pdf>.

REID, W. V et al. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. **World Resources Institute, Washington, DC**, 2005.

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 4. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002.

ROLIM, G.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas No Ambiente EXCEL Para Os Cálculos de Balanços Hídricos: Normal, Sequencial, de Cultura e de Produtividade Real e Potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 1, p. 133–137, 1 Jan. 1998. Disponível em: <https://www.scienceopen.com/document?vid=12973ada-b434-4691-8f75-80ebe2f590c0>. Acesso em: 18 jan. 2019.

ROLOFF, G. et al. Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto-IQP. (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo., Ed.) In: Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Florianópolis. **Anais**... Florianópolis: 2013. Disponível em: <https://www.sbcs.org.br/cbcs2013/anais/>.

ROLOFF, G.; LUTZ, R. M. A. de T.; MELLO, I. Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto. In: **federação Brasileira de Plantio Direto na Palha – Metodologia participativa para avaliação da qualidade do sistema de Plantio Direto implantado na bacia hidrográfica Paraná 3.** Ponta Grossa: FEBRAPDP, 2011a. p. 4–26.

ROLOFF, G.; LUTZ, R. M. A. de T.; MELLO, I. Validação Do Índice de Qualidade Participativo Do Plantio Direto. **Boletim Técnico. FEBRAPDP**, p. 16p, 2011b. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/peqp3/publicacoes/Validacao_Indicie_de_Qualidade_do_Plantio_%0ADireto,_2011..pdf>.

ROSSI, M. Mapa Pedológico Do Estado de São Paulo: Revisado e Ampliado. **São Paulo: Instituto Florestal**, v. 1, 2017.

ROUSE, J. W. J. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). In: Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Washington. **Anais**... Washington: NASA, 1973. Disponível em:

<https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19740022614>.

SABINO, H. et al. Delimitação e caracterização morfométrica das microbacias monitoradas pela rede de pesquisa Solovivo. In: Workshop da Rede Solo Vivo, Curitiba. **Anais**... Curitiba: Embrapa Solos, 2018.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema PLantio Direto. O produtor pergunta, a Embrapa responde**. [s.l.] Embrapa Produção de Informação; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1998.

SANCHEZ, P. A. **Properties and Management of Soils in the Tropics**. Cambridge: Cambridge University Press, 2019.

SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasilia: Embrapa, 2018.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Chuvas Intensas Relacionadas à Erosão Hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 115–123, Feb. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662010000200001&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 22 apr. 2019.

SÃO PAULO. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico - Município: Itaí.** Disponível em: <http://www.saneamento.sp.gov.br/PMS/UGRHI 14/Itai.pdf>.

SÃO PAULO. **Mapa Florestal dos Municípios do Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www2.ambiente.sp.gov.br/sifesp/mapas-municipais>. Acesso em: 24 may. 2018.

SAVITZKY, A.; GOLAY, M. J. E. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. **Analytical Chemistry**, v. 36, n. 8, p. 1627–1639, 1 Jul. 1964. Disponível em: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ac60214a047>.

SCHOELLHAMER, D. H. Use of optical properties to monitor turbidity and suspended-sediment concentration. (J. R. Gray, G. D. Glysson, Eds.) In: Proceedings of the federal interagency workshop on turbidity and other sediment surrogates, Reno, Nevada. **Anais**... Reno, Nevada: Federal Interagency Subcommittee on Sedimentation (U.S.), 2002.

SEEGER, M. et al. Catchment Soil Moisture and Rainfall Characteristics as Determinant Factors for Discharge/Suspended Sediment Hysteretic Loops in a Small Headwater Catchment in the Spanish Pyrenees. **Journal of Hydrology**, v. 288, n. 3–4, p. 299–311, 30 Mar. 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002216940300430X>. Acesso em: 21 jan. 2019.

SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. de. Perdas de Solo, Água e Nutrientes Por Erosão Em Sistemas de Culturas Em Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 2, p. 287–291, 1997.

SHERRIFF, S. C. et al. Investigating Suspended Sediment Dynamics in Contrasting Agricultural Catchments Using Ex Situ Turbidity-Based Suspended Sediment Monitoring. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 19, n. 8, p. 3349–3363, 3 Aug. 2015. Disponível em: <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/19/3349/2015/>.

SILVA, R. M. da; SANTOS, C. A. G.; SUZANA MARIA GICO LIMA MONTENEGRO. **Identificação de Áreas Críticas de Erosão e Estimativa do Potencial Natural de Erosão Mediante SIG e Sensoriamento RemotoRevista Brasileira de Cartografia**Sociedad Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, , 2013. . Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/714>. Acesso em: 17 jan. 2019.

SILVA, M. M. P.; OLIVEIRA, N. F.; CAVALCANTI, N. B. Probabilidade de Ocorrência de Dias Secos e Chuvosos. **Boletim Técnico do Instituto Nacional de Meteorologia**, v. 20, n. 146, 1981.

SILVA, R. L. e; DE MARIA, I. C. Erosão Em Sistema Plantio Direto: Influência Do Comprimento de Rampa e Da Direção de Semeadura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 554–561, Jun. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011000600003&lng=pt&tlng=pt>.

SOUSA, A. B. O. et al. **Hidrologia (Série didática 18)**. 2ed. ed. Piracicaba: Departamento de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, 2014.

SOUSA, R. S.; VALLADARES, G. S.; ESPÍNDOLA, G. M. de. Analysis of Vegetation Index (NDVI) and Environmental Vulnerability of Coastal Plain Piauí State. **Revista Casa da Geografia de Sobral**, v. 18, n. 2, p. 82–99, 12 Sep. 2016. Disponível em: <http://www.uvanet.br/rcgs/index.php/RCGS/article/view/304>. Acesso em: 17 jan. 2019.

SOUZA, N. S.; SOUZA, W. de J.; CARDOSO, J. M. S. Caracterização Hidrológica e Influência Da Cobertura Do Solo Nos Parâmetros de Vazão Do Rio Das Fêmeas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 453–462, May 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522017000300453&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 22 apr. 2019.

SUK, N. S.; GUO, Q.; PSUTY, N. P. Feasibility of Using a Turbidimeter to Quantify Suspended Solids Concentration in a Tidal Saltmarsh Creek. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 46, n. 3, p. 383–391, Mar. 1998. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272771497902845>.

TOMAZONI, J. C. et al. Utilização de Medidas de Turbidez Na Quantificação Da Movimentação de Sólidos Por Veiculação Hídrica Nas Bacias Dos Rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau - Sudoeste Do Estado Do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 57, 31 Dec. 2005. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/geociencias/article/view/6044>.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines. **Water Resources Research**, 1980.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impactos Das Mudanças Da Cobertura Vegetal No Escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 135–152, 1997. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=57&SUMARIO=763>. Acesso em: 22 oct. 2018.

TUCKER, C. J. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, n. 2, p. 127–150, 1 May 1979. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0034425779900130?via%3Dihub>. Acesso em: 22 oct. 2018.

VAISALA INC. **QHR104 Radar Water Level Sensor**. Disponível em: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/QHR104-Datasheet-B210932EN.pdf>. Acesso em: 16 aug. 2018.

VAN DEN ELSEN, E. et al. Intensive Water Content and Discharge Measurement System in a Hillslope Gully in China. **CATENA**, v. 54, n. 1–2, p. 93–115, Nov. 2003. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0341816203000596>.

VENTURA, A. Problemas Técnicos Da Silvicultura Paulista. **Silvicultura em São Paulo**, v. 3, p. 61–80, 1964.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; SILVEIRA, J. M. F. J. da. Mudança Tecnológica Na Agricultura: Uma Revisão Crítica Da Literatura e o Papel Das Economias de Aprendizado.

Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 50, n. 4, p. 721–742, Dec. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032012000400008&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 8 apr. 2019.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. In: **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. p. 245.

VOLK, L. B. da S.; COGO, N. P. Relações Entre Tamanho de Sedimentos Erodidos, Velocidade Da Enxurrada, Rugosidade Superficial Criada Pelo Preparo e Tamanho de Agregados Em Solo Submetido a Diferentes Manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1459–1471, Oct. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000500036&lng=pt&tlng=pt>.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão Hídrica Influenciada Por Condições Físicas de Superfície e Subsuperfície Do Solo Resultantes Do Seu Manejo, Na Ausência de Cobertura Vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 763–774, Aug. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832004000400016&lng=pt&tlng=pt>.

WADT, P. G. S. et al. Práticas de Conservação Do Solo e Recuperação de Áreas Degradadas. **Embrapa Acre, Documentos 90**, n. 90, p. 29, 2003. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/498802/praticas-de-conservacao-do-solo-e-recuperacao-de-areas-degradadas>.

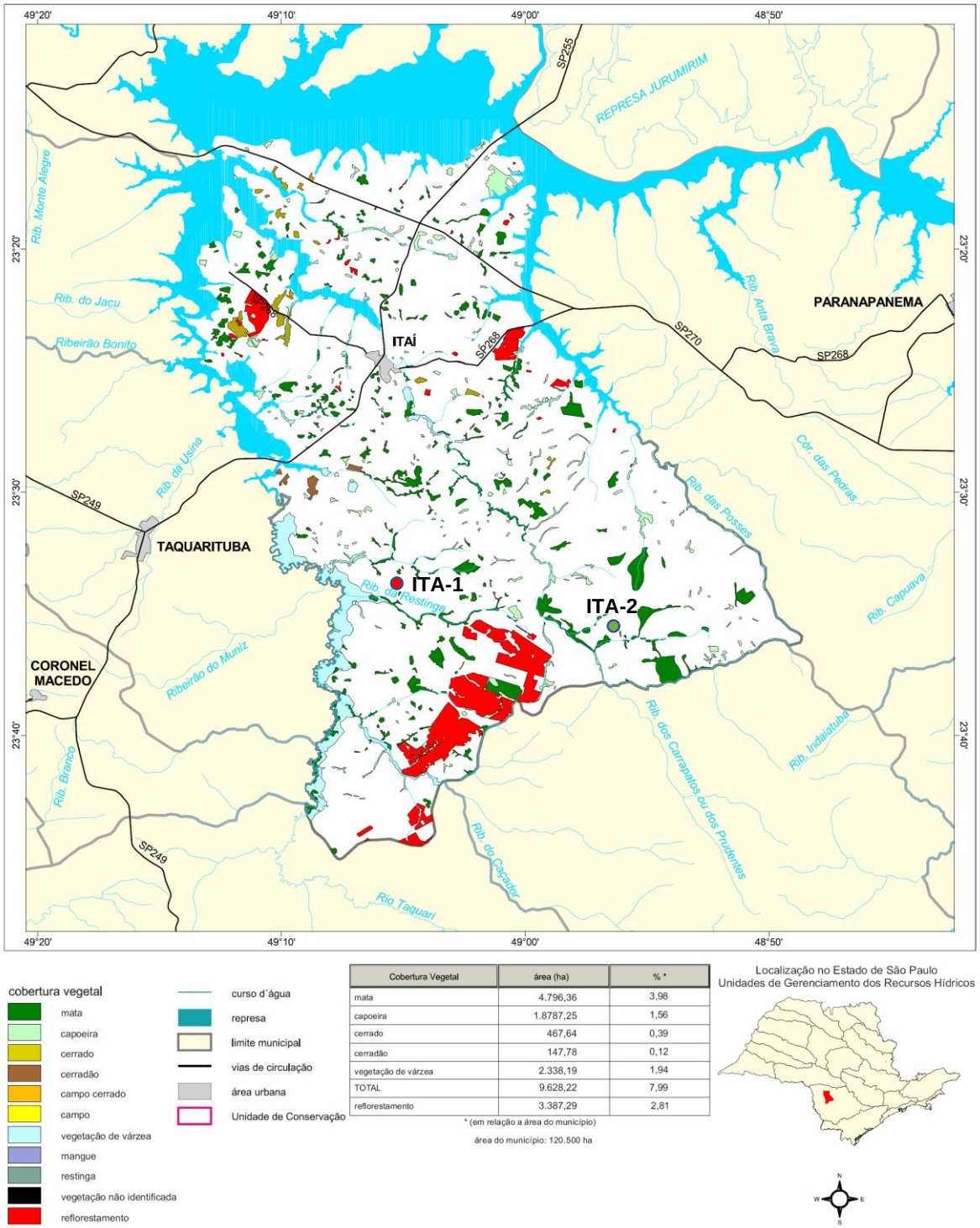
WISCHMEIER, W. H. A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil-Loss Equation1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 23, n. 3, p. 246, 13 Nov. 1959. Disponível em: <https://www.soils.org/publications/sssaj/abstracts/23/3/SS0230030246>. Acesso em: 8 apr. 2019.

WISCHMEIER, W. H. Rainfall Erosion Potential. **Agric. Eng**, v. 43, n. 4, p. 212–225, 1962.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. In: **Agriculture Handbook No. 537**. [s.l.] U.S. Department of Agriculture, 1978.

ZIEGLER, A. Issues related to use of turbidity measurements as a surrogate for suspended sediment. Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop. In: Proceedings of the Federal Interagency Workshop on Turbidity and other sediment surrogates, **Anais**...Reno, NV, USA, 2002.

ANEXOS



Cobertura Vegetal	área (ha)	% *
mata	4.796,36	3,98
capoeira	1.8787,25	1,56
cerrado	467,64	0,39
cerradão	147,78	0,12
vegetação de várzea	2.338,19	1,94
TOTAL	9.628,22	7,99
reflorestamento	3.387,29	2,81

* (em relação a área do município)

área do município: 120.500 ha

Figura 39: Cobertura vegetal do município de Itaí (SP).
Fonte: Adaptado de SÃO PAULO (2018)

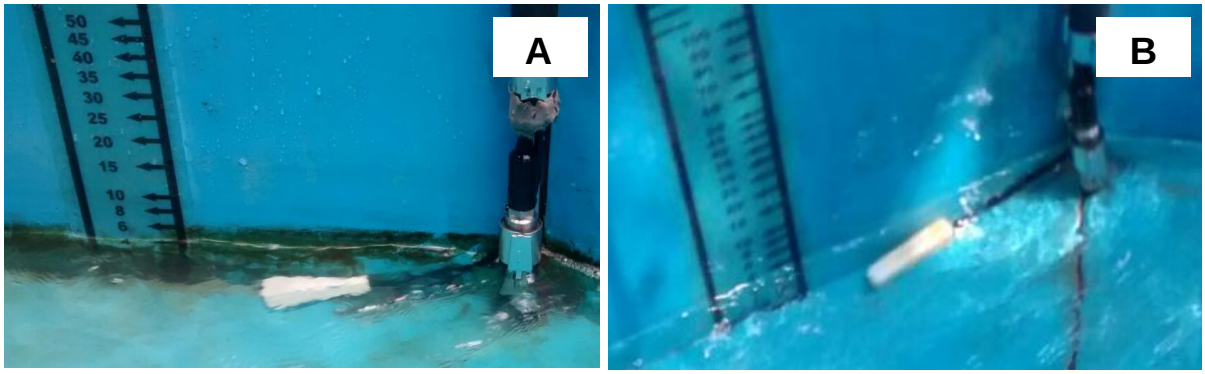


Figura 40: Leitura das réguas de vazão (L s^{-1}) nas calhas “H”. Em (A) ITA-1 e (B) em ITA-2.

Figura 41: Sensor de conteúdo de água no solo em ITA-1. Em (A) se tem condição em que o sensor fora soterrado por solo proveniente da parte superior da topossequência; em (B) e (C – detalhe) se tem solo removido de sobre o sensor.

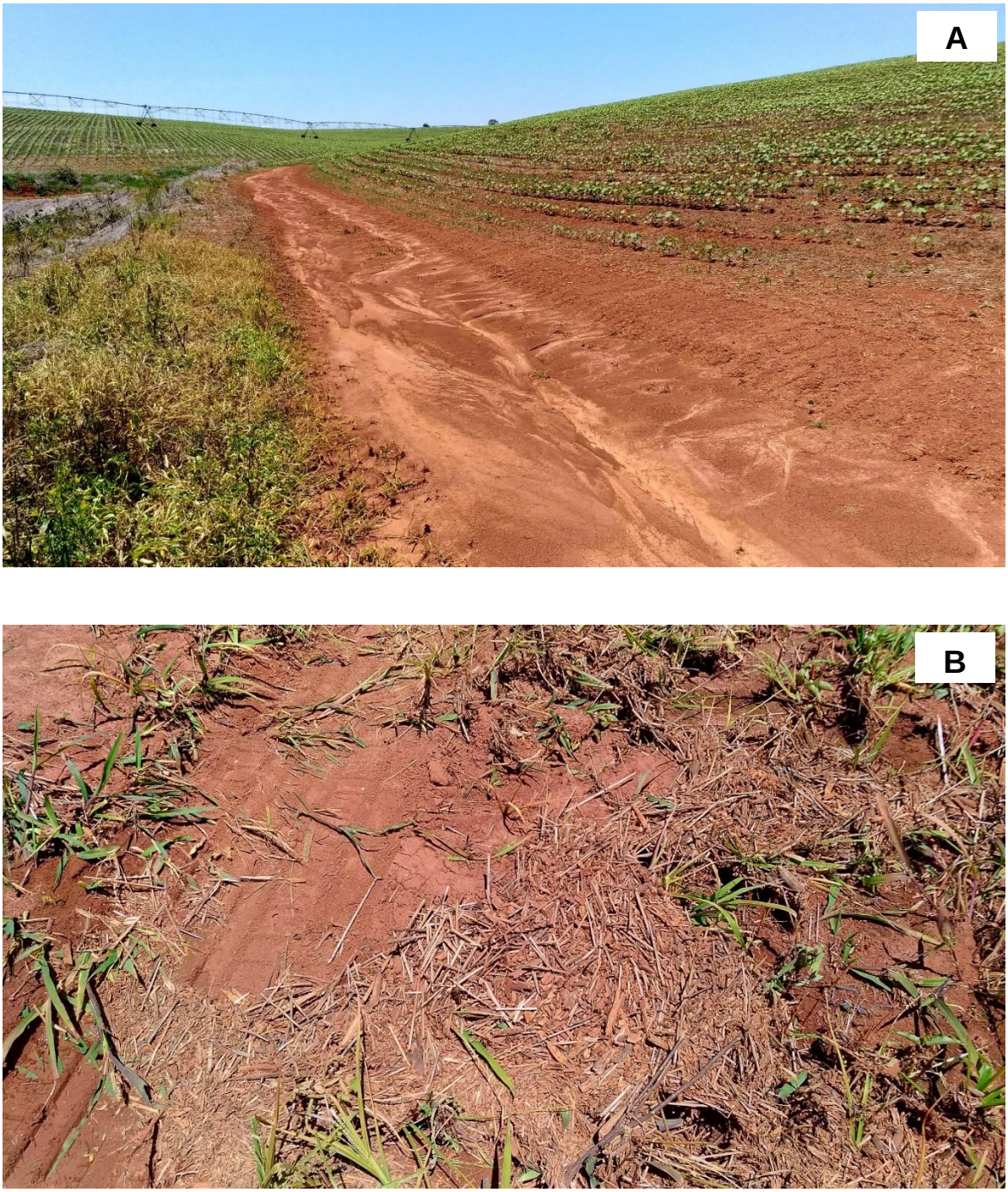


Figura 42: Presença de escoamento superficial na EHS ITA-2 (A) - em área cultivada com algodão; e em (B) “palhada” da cultura anterior (trigo) carreada da lavoura.

Figura 43: Área cultivada com algodão em ITA-1: Em (A) panorama da área e em (B) detalhe da cobertura do solo com “palhada” da cultura anterior – trigo.

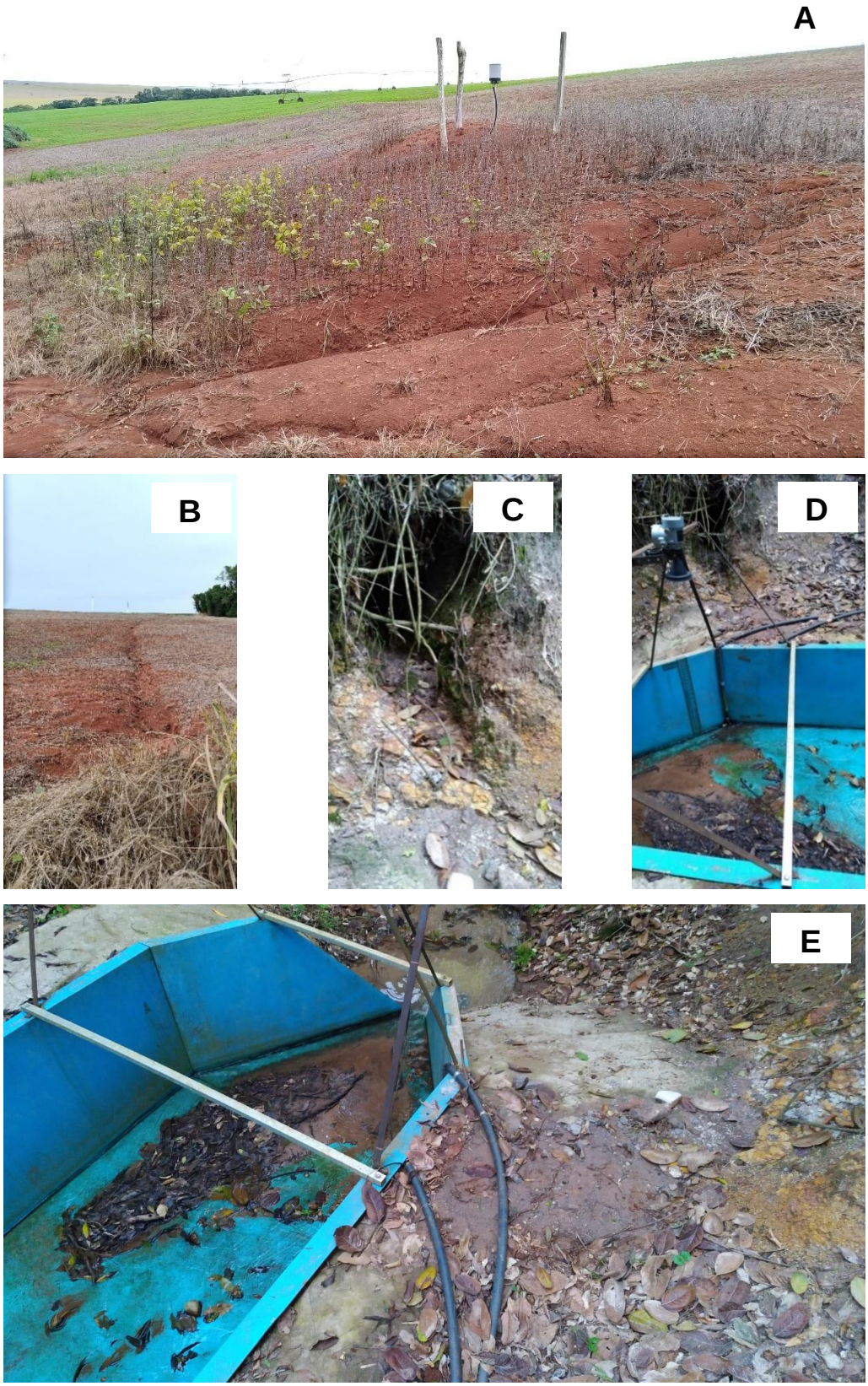


Figura 44: Entrada de água oriunda do escoamento da estrada de acesso em ITA-1. Em (A) e (B) detalhe da entrada da água na lavoura, em (C), (D) e (E) material transportado que atingiu o ponto de monitoramento.

Tabela 12: Análise física e química de perfil de solo na área de abrangência da MBH ITA-1.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: P.2 (ITA-1)
Amostras de Laboratório: 18.0461-0466
Solo: LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO TÍPICO TEXTURA MUITO ARGILOSA

Horizonte		Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra fina g/kg				Argila dispersa em água g /kg	Grau de floculação %	Relação Silte/Argila	Densidade g cm^3		Porosidade cm^3 100cm^{-3}
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm				Solo	Partículas	
Ap1		0	0	1000	52	90	170	688	413	40	0,25			
Ap2		0	0	1000	46	104	142	708	477	33	0,20			
BA		0	0	1000	35	96	160	709	0	100	0,23			
Bw1		0	0	1000	30	98	148	724	0	100	0,20			
Bw2		0	0	1000	27	108	179	686	0	100	0,26			
Bw3		0	0	1000	29	116	148	707	0	100	0,21			

Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo cmol$_c$/kg								Valor V (sat. porbases) %	100.Al^{3+}/S + Al^{3+} %	P assimilável mg kg^{-1}
	Água	KCl 1N	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	Valor S (soma)	Al^{3+}	H$^+$	Valor T			
Ap1	4,7	3,9	2,8	0,9	0,59	0,02	4,3	0,5	8,8	13,6	32	10	72
Ap2	6,0	4,8	4,1	1,5	0,36	0,03	6,0	0	4,8	10,8	56	0	11
BA	5,0	4,1	1,4	0,8	0,10	0,01	2,3	0,8	5,8	8,9	26	26	1
Bw1	5,0	4,1	1,3	0,9	0,09	0,06	2,3	0,6	5,0	7,9	29	21	<1
Bw2	5,2	4,3	1,4	1,1	0,03	0,02	2,5	0,3	3,8	6,6	38	11	<1
Bw3	4,7	4,2	0,9		0,02	0,01	0,9	0,7	4,0	5,6	16	44	<1

Horizonte	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico g/kg						Relações Moleculares			Fe_2O_3 livre g kg^{-1}	Equivalente de $CaCO_3$ g/kg
				SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/Fe_2O_3		
Ap1	21,7	2,1	10											
Ap2	14,6	1,4	10											
BA	11,0	0,9	12											
Bw1	8,6	0,7	12	244	208	136	25,1			1,99	1,41	2,40		
Bw2	4,8	0,5	10											
Bw3	4,1	0,4	10											

Horizonte	100.Na$^+$/T %	Pasta saturada		Sais solúveis cmol$_c$/kg							Constantes hídricas g/100g		
		C.E. do extrato mS/cm 25°C	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	HCO_3^- CO_3^{2-}	Cl$^-$	SO_4^{2-}	Umidade 0,033 MPa	Umidade 1,5 MPa	Água disponível máxima
Ap1	<1												
Ap2	<1												
BA	<1												
Bw1	<1												
Bw2	<1												
Bw3	<1												

Tabela 13: Análise física e química de perfil de solo na área de abrangência da MBH ITA-2.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: P.1 (ITA-2)

Amostras de Laboratório: 18.0454-0460

Solo: LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO TÍPICO TEXTURA ARGILOSA EPIEUTRÓFICO

Horizonte		Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra fina g/kg				Argila dispersa em água g//kg	Grau de floculação %	Relação Silte/Argila	Densidade g/cm³		Porosidade cm³/100cm³
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partículas	
Ap1		0	0	1000	157	159	169	515	392	24	0,33			
Ap2		0	0	1000	167	163	114	556	474	15	0,20			
BA		0	0	1000	140	167	115	578	475	18	0,20			
Bw1		0	0	1000	128	145	118	609	0	100	0,19			
Bw2		0	0	1000	120	143	137	600	0	100	0,23			
Bw3		0	0	1000	109	138	146	607	0	100	0,24			
Bw4		0	0	1000	105	142	134	619	392	37	0,22			

Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo cmol$_c$/kg								Valor V (sat. porbases) %	100.Al^{3+}/S + Al^{3+} %	P assimilável mg/kg
	Água	KCl 1N	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Valor S (soma)	Al^{3+}	H^+	Valor T			
Ap1	6,9	6,2	8,9	2,0	0,39	0,02	11,3	0	1,6	12,9	88	0	107
Ap2	6,3	5,1	4,0	1,4	0,15	0,02	5,6	0	3,1	8,7	64	0	14
BA	6,0	4,8	2,8	1,2	0,14	0,01	4,1	0,1	3,6	7,8	53	2	2
Bw1	4,9	4,1	1,0	0,5	0,09	0,02	1,6	0,8	4,4	6,8	24	33	<1
Bw2	5,0	4,2	1,1	0,8	0,06	0,01	2,0	0,6	4,0	6,6	30	23	<1
Bw3	4,7	4,1	0,5		0,03	0,01	0,5	0,9	3,6	5,0	10	64	<1
Bw4	4,5	4,1	0,5		0,05	0,01	0,6	0,7	3,7	5,0	12	54	<1

Horizonte	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico g/kg						Relações Moleculares			Fe_2O_3 livre g/kg	Equivalente de $CaCO_3$ g/kg
				SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/Fe_2O_3		
Ap1	20,6	1,9	11											
Ap2	10,2	1,0	10											
BA	9,5	0,8	12											
Bw1	8,2	0,6	14	212	194	63	8,3			1,86	1,54	4,83		
Bw2	5,6	0,5	11											
Bw3	4,1	0,4	10											
Bw4	3,2	0,3	11											

Horizonte	100.Na$^+$/T %	Pasta saturada		Sais solúveis cmol$_c$/kg							Constantes hídricas g/100g		
		C.E. do extrato mS/cm 25°C	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	HCO_3^- CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	Umidade 0,033 MPa	Umidade 1,5 MPa	Água disponível máxima
Ap1	<1												
Ap2	<1												
BA	<1												
Bw1	<1												
Bw2	<1												
Bw3	<1												
Bw4	<1												

Tabela 14: Culturas implantadas na microbacia ITA-1, durante o monitoramento.

PIVÔ	PLANTIO	COLHEITA	CULTURA
P-18A	08/10/2014	10/02/2015	SOJA
P-18A	13/08/2015	03/12/2015	FEIJÃO
P-18A	18/12/2015	23/05/2016	MILHO
P-18A	27/05/2016	19/10/2016	TRIGO
P-18A	24/10/2016	13/03/2017	MILHO
P-18A	30/07/2017	24/11/2017	FEIJÃO
P-18A	25/11/2017	05/04/2018	SOJA
P-18A	11/05/2018	1/11/2018	TRIGO
P-18A	02/11/2018		ALGODÃO
P-20	13/05/2015	05/10/2015	CEVADA
P-20	25/09/2015	05/02/2016	SOJA
P-20	01/02/2016	06/08/2016	MILHO
P-20	17/08/2016	16/12/2016	FEIJÃO
P-20	23/12/2016	05/05/2017	MILHO
P-20	23/05/2017	28/09/2017	TRIGO
P-20	16/10/2017	02/03/2018	MILHO
P-20	27/04/2018	21/07/2018	MILHETO+AVEIA
P-20	22/07/2018	22/11/2018	FEIJÃO
P-20	07/11/2018		SOJA
P-22A	02/05/2015	20/09/2015	TRIGO
P-22A	21/09/2015	24/01/2016	SOJA
P-22A	22/01/2016	21/07/2016	MILHO
P-22A	17/09/2016	10/02/2017	SOJA
P-22A	11/02/2017	11/07/2017	MILHO
P-22A	11/09/2017	22/01/2018	SOJA
P-22A	05/02/2018	10/06/2018	MILHO
P-22A	13/05/2018	-	TRIGO
P-22A	24/09/2018	27/01/2019	SOJA

Tabela 15: Culturas implantadas na microbacia ITA-2, durante o monitoramento.

DATA PLANTIO	DATA COLHEITA	CULTURA
25/10/2016	09/06/2017	ALGODÃO
05/07/2017	02/11/2017	FEIJÃO
10/11/2017	15/03/2018	SOJA
13/04/2018	25/08/2018	TRIGO
10/10/2018		ALGODÃO

Tabela 16: Estimativa da produção mensal de sedimentos nas microbacias ITA-1 e ITA-2 ao longo período de monitoramento.

	MASSA DE SÓLIDOS (kg)	
Mês/Ano	**ITA-1**	**ITA-2**
OUT/17	98,6	26,8
NOV/17	280,9	23,9
DEZ/17	237,9	67,1
JAN/18	178,2	179,5
FEV/18	38,5	18,4
MAR/18	134,5	35,7
MAI/18	52,9	7,1
JUN/18	11,0	2,6
JUL/18	2,1	0,3
AGO/18	22,7	4,1
SET/18	43,5	4,6
OUT/18	38,4	4,3
NOV/18	16,2	14,3
DEZ/18	15,1	30,2
JAN/19	12,6	49,8
TOTAL (kg)	**1183,1**	**468,9**
TOTAL (kg ha^{-1})	**15,98**	**9,97**
TAXA ANUAL (kg ha^{-1} ano^{-1})	**12**	**7,5**

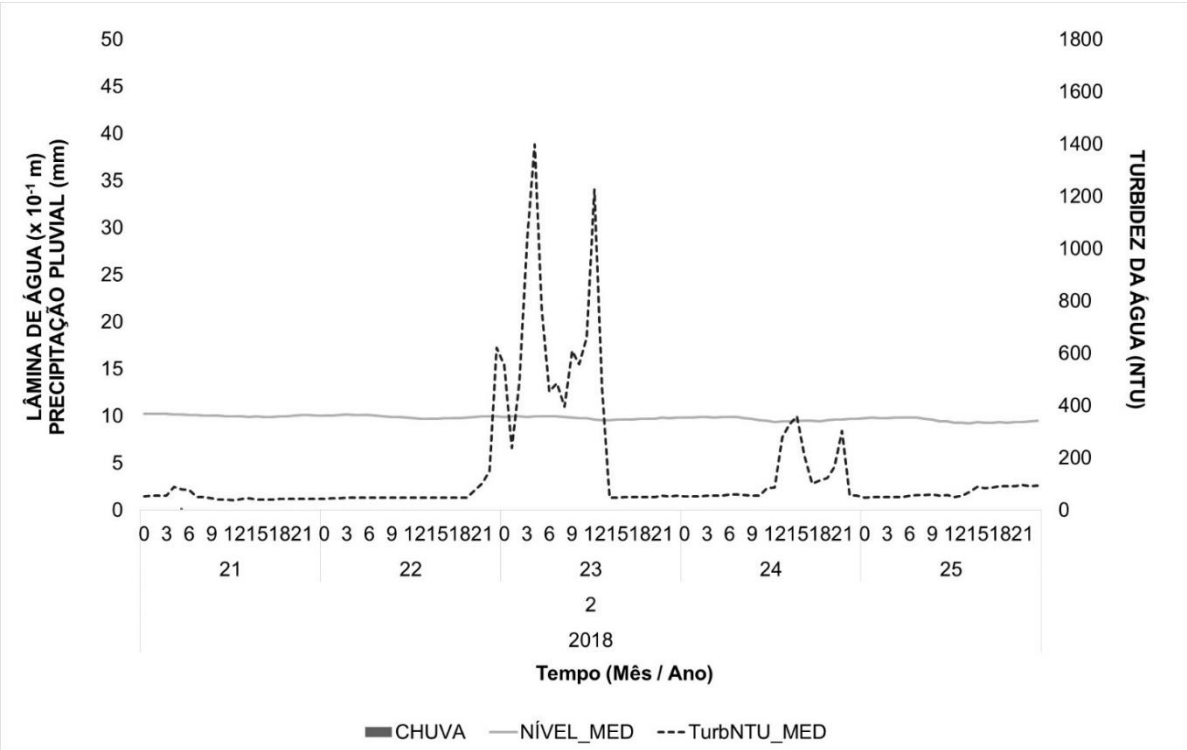


Figura 45: Exemplo de distúrbio causado nas medidas de turbidez da água (sem que houvesse condições de carreamento de sedimentos) devido à obstrução do sensor de turbidez da água.

Tabela 17: Composição e cálculo do efeito da rotação de culturas, para um período de 3 anos, no cômputo do IQP.

Parâmetro	Dado de entrada	Unidade de medida	Base	Fórmula	Crítico	Ideal
Intensidade da Rotação (IR)	NM = número de meses com cobertura viva em três anos (exceto pousio e plantas espontâneas)	Número de meses	36	IR = NM/36	0,75 (NM = 27)	1
Diversificação de rotação (DR)	FD = famílias diferentes que ocorrem na rotação	Número de famílias	3	DR = FD/3	0,67 (FD = 2)	1
Persistência de resíduos (PR)	GR = número de gramíneas na rotação (exceto gramíneas para fenação ou silagem)	Número de gramíneas	6	PR = GR/6	0,5 (GR = 3)	1

Fonte: Martins et al. (2018)

Tabela 18: Composição e cálculo do efeito da ocorrência do preparo do solo no cômputo do IQP.

Parâmetro	Dado de entrada*	Unidade de medida	Base**	Fórmula	Crítico	Ideal
Frequência do preparo do solo (FP)	*Sem Preparo:* IEP = Base *Preparo apenas na cabeceira:* IEP = Base x 0,8 (suposição: 80% da área sem preparo) *Preparo nos canais de terraços:* IEP = Base x 1,0	Número de anos	12	FP = IEP/12	0,5	1

* IEP = Intervalo entre preparos (anos)
** Obs.: Adotaram-se 12 anos como o período de tempo para quase estabilização do SPD.
Definidos os intervalos segue:

- 0 a 2 anos: Pontuação = 0.
- Igual/acima de 3 anos e abaixo de 6: Pontuação = 0,25.
- Igual/acima de 6 anos e abaixo de 9 anos: Pontuação = 0,50.
- Igual/acima de 9 e abaixo de 12 anos: Pontuação = 0,75.
- Igual e acima de 12: Pontuação = 1.

Fonte: Fonte: Martins et al. (2018)

Tabela 19: Composição e cálculo do efeito de práticas conservacionistas no cômputo do IQP.

Parâmetro	Dado de entrada				Unidade de medida	Base	Fórmula	Crítico	Ideal
Terraceamento (TE)	**Com terraços/frequência do transbordamento em 5 anos**			**Sem terraços**	Número de pontos obtidos em dado de entrada	1	TE = ITE/1	0,5 (ITE = 0,5)	1
	Nunca ou 1 vez	**2 ou 3 vezes**	**>3 vezes**						
	ITE = 1	ITE* = 0,5	ITE = 0	ITE=0					
Avaliação da conservação (AC)	**Operações em nível**	**Solo compactado**		**Ausência de sinais visíveis de erosão**	Número de pontos obtidos em dado de entrada	4	AC = ΣICi/4	AC = 0,5	1
	Sim: Semeadura ICi = 0,7 Pulverização ICi = 0,3 Não: ICi = 0	Não ICi** = 2 Sim, nas cabeceiras ICi = 1 Sim, toda lavoura ICi = 0		Sim ICi = 1 Não ICi = 0					

* ITE = indicador de Terraceamento; ICi = indicador de Conservação

Fonte: Martins et al. (2018)

Tabela 20: Composição e cálculo do efeito da Fertilização Equilibrada (sem uso de adubação orgânica) no cômputo do IQP.

Parâmetro	Dado de entrada		Unidade de medida	Base	Fórmula	Crítico	Ideal
Fertilização equilibrada (FE)	Se baseadas em análise de solo (se não: IFEi = 0)		Número de pontos obtidos em dado de entrada	1	FE = ΣIFEi/1	0,5 (IFE= 1)	1
	Calagem IFEi = 0,5	Adubação química IFEi = 0,5					

* IFEi = indicador fertilização i
Fonte: Fonte: Martins et al. (2018)

Tabela 21: Composição e cálculo do efeito do tempo de adoção do SPD no cômputo do IQP.

Parâmetro	Dado de entrada	Unidade de medida	Base	Fórmula	Crítico	Ideal
Tempo de adoção (TA)	T = Tempo de adoção	anos	25	TA = T/25	0,3 (TA=7)	1

Fonte: Martins et al. (2018)

Tabela 22: Indicadores do IQP e respectivos fatores de ponderação no cômputo do IQP.

Indicadores do IQP	Fator de ponderação (pesos)
Intensidade de rotação (IR)	1,5
Diversidade da rotação (DR)	1,5
Persistência da palhada (PR)	1,5
Frequência de preparo (FP)	1,5
Terraceamento correto (TC)	1
Avaliação da conservação (AC)	1
Fertilização ou nutrição equilibrada (FE)	1
Tempo de adoção (TA)	1

Fonte: Martins et al. (2018)