



MÁRCIA PEREIRA DA SILVA MANOEL

**ÍNDICES DE MANEJO DO SOLO PARA ANÁLISE DA FRAGILIZAÇÃO
AMBIENTAL EM ÁREAS AGROSSILVIPASTORIS UTILIZANDO
ANÁLISE DIMENSIONAL**

SOROCABA

2020

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

ciências ambientais

MÁRCIA PEREIRA DA SILVA MANOEL

**ÍNDICES DE MANEJO DO SOLO PARA ANÁLISE DA FRAGILIZAÇÃO
AMBIENTAL EM ÁREAS AGROSSILVIPASTORIS UTILIZANDO
ANÁLISE DIMENSIONAL**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, na Área de Concentração: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Admilson Írio Ribeiro

SOROCABA

2020

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

ciências
ambientais

unesp
Sorocaba

M285i Manoel, Márcia Pereira da Silva,
 Índices de manejo do solo para análise da fragilização ambiental em áreas
agrossilvipastoris utilizando análise dimensional / Márcia Pereira da Silva
Manoel. -- Sorocaba, 2020 123 p.

 Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba.
Orientador: Admilson Írio Ribeiro

 1. Modelagem. 2. Uso da terra. 3. Suscetibilidade Erosiva. 4.
Indicadores Ambientais. 5. Degradação Ambiental. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ÍNDICES DE MANEJO DO SOLO PARA ANÁLISE DA FRAGILIZAÇÃO AMBIENTAL EM ÁREAS AGROSSILVIPASTORIS UTILIZANDO ANÁLISE DIMENSIONAL.

AUTORA: MÁRCIA PEREIRA DA SILVA MANOEL

ORIENTADOR: ADMILSON ÍRIO RIBEIRO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRA em CIÊNCIAS AMBIENTAIS. Área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:



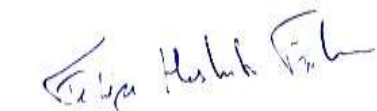
Prof. Dr. ADMILSON IRIO RIBEIRO

Universidade Estadual Paulista - Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT-Unesp)
Departamento de Engenharia Ambiental - Câmpus de Sorocaba



Prof. Dr. DANIEL ALBIERO

Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP)



Prof. Dr. FELIPE HASHIMOTO FENGLER

ICT-Unesp Sorocaba - Departamento de Engenharia Ambiental / Departamento de Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia de Sorocaba (FACENS)

Data da Aprovação: Sorocaba, 10 de julho de 2020.

Aos meus pais Gerson e Juracy e Geraldo (em memória),
que me proporcionaram chegar até aqui com apoio,
incentivo e, acima de tudo, AMOR.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter me fornecido capacidade de alcançar um sonho.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, na pessoa do diretor do Instituto de Ciência e Tecnologia - ICT de Sorocaba, Prof. Dr. Alexandre da Silva Simões, pela possibilidade de realização do Mestrado na referida Universidade.

Ao meu professor, orientador e amigo Prof. Dr. Admilson Írio Ribeiro pelo apoio, ensinamentos, orientações e compreensão nesses dois anos.

Ao meu companheiro Douglas pela força, amor, apoio e auxílio na pesquisa e na caminhada diária.

A minha família (pais, irmãos, cunhados e sobrinhos) por me fornecerem a condição psicológica necessária para conseguir percorrer essa trajetória, que sabemos não ser fácil.

Ao coordenador da Pós-Graduação em Ciências Ambientais Prof. Dr. José Arnaldo Frutuoso Roveda pela simplicidade, humildade e solicitude diante de qualquer dúvida ou problema que tenha surgido durante o curso.

A todo o corpo docente e discente do programa, que atuaram para o meu crescimento pessoal e profissional, em especial a minha amiga Camila Albuquerque que enfrentou todos os dramas da pós-graduação ao meu lado e se tornou uma amiga para a vida.

A Coordenação de pós-graduação que sempre esteve à disposição para realizar as ações necessárias para a continuidade tranquila do curso.

A todos os trabalhadores e trabalhadoras do campus, que sempre proporcionaram um ambiente saudável e harmonioso de trabalho e estudo.

À CAPES pela concessão de bolsa durante a realização da pesquisa, me conferindo a possibilidade de dedicação exclusiva à pesquisa, sem a qual a realização deste estudo não teria sido possível.

Obrigada a todos!

“Entre as imagens que mais profundamente marcaram minha mente, nenhuma excede a grandeza das florestas primitivas, poupadas da mutilação pela mão do homem. Ninguém pode passar por essas solidões intocado, sem sentir que existe mais dentro do homem do que a mera respiração do seu corpo”.

Charles Darwin

RESUMO

As relações econômicas voltadas aos consumos e trocas, como ocorrem atualmente, resultam em ações antrópicas diversas ao meio ambiente, que podem desencadear impactos positivos ao crescimento econômico, em contrapartida, a consequência é a contínua exploração dos recursos naturais, fragilizando áreas produtivas e naturais, principalmente em regiões geograficamente vulneráveis. Ao considerar a exploração antrópica do meio, normalmente relacionada ao uso da terra, o solo acaba sendo o recurso natural mais afetado nesse processo. Assim, é possível considerar que a degradação oriunda do manejo interfere ativamente, na maioria das vezes de modo negativo, nas características intrínsecas e extrínsecas do solo. Deste modo, utilizar indicadores relacionados ao manejo dos solos pode ser uma alternativa na caracterização da fragilização de áreas agrossilvipastoris dentro de bacias hidrográficas. Contudo, a determinação de indicadores e índices com capacidade de identificar o grau de fragilização devido ao manejo de diferentes ocupações e usos da terra ainda carecem de estudos. Diante da importância dessas questões, vislumbrou-se a possibilidade de associar variáveis indicadoras relativas ao manejo do solo (diâmetro médio geométrico dos agregados do solo, resistência mecânica à penetração, coeficiente de permeabilidade, cobertura natural, matéria orgânica do solo, profundidade efetiva do solo, área de solo exposto e pressão antrópica no manejo do solo), para a construção de índices de fragilização ambiental em áreas de manejo agrossilvipastoril. Os resultados mostraram que foi possível propor índices adimensionais utilizando as variáveis anteriormente descritas. Assim, por meio do método da análise dimensional foi possível estabelecer seis índices, sendo dois com aplicabilidade em análise relacional de áreas e os outros quatro com aplicabilidade na análise de manejo de solos.

Palavras-chave: Modelagem. Uso da terra. Suscetibilidade Erosiva. Indicadores Ambientais. Degradação Ambiental.

ABSTRACT

Economic relations aimed at consumption and exchanges, as currently occurring, result in diverse human actions to the environment, which can trigger positive impacts on economic growth, in contrast, the consequence is the continuous exploitation of natural resources, weakening productive and natural areas, mainly in geographically vulnerable regions. When considering the anthropic exploration of the environment, normally related to land use, soil ends up being the most affected natural resource in this process. Thus, it is possible to consider that the degradation arising from the management actively interferes, most of the time in a negative way, in the intrinsic and extrinsic characteristics of the soil. Thus, using indicators related to soil management can be an alternative in characterizing the fragility of agroforestry areas within hydrographic basins. However, the determination of indicators and indices capable of identifying the degree of fragility due to the management of different occupations and land uses still needs to be studied. Given the importance of these issues, the possibility of associating indicator variables related to soil management (geometric mean diameter of soil aggregates, mechanical resistance to penetration, permeability coefficient, natural cover, soil organic matter, effective soil depth) , area of exposed soil and anthropic pressure in soil management), for the construction of indices of environmental fragility in areas of agrosilvipastoral management. The results showed that it was possible to propose dimensionless indices using the variables previously described. Thus, through the method of dimensional analysis it was possible to establish six indexes, two with applicability in relational analysis of areas and the other four with applicability in soil management analysis.

Keywords: Modeling. Land use. Erosive susceptibility. Environmental Indicators. Environmental degradation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Agregados do solo de diferentes tamanhos.....	26
Figura 2 - Perfil de formação dos solos.....	32
Figura 3 - Troca catiônica (CTC) exercida pela matéria orgânica.....	33
Figura 4 - Efeito da profundidade de preparo do solo na distribuição radicular do eucalipto.....	35
Figura 5 - Localização da Bacia Hidrográfica Córrego do Pitangal (BH-CP).....	52
Figura 6 - Uso e cobertura da terra para a Bacia Hidrográfica Córrego do Pitangal (BH-CP).....	60
Figura 7 - Índice Relativo à Área Natural (IRAN) aplicado na Bacia Hidrográfica Córrego do Pitangal (BH-CP).....	62
Figura 8 - Índice Relativo de Solo Exposto (IRSE) para a Bacia Hidrográfica Córrego do Pitangal (BH-CP).....	65
Figura 9 - Simulação do Índice de Degradação Estrutural do Manejo (IDEM).....	71
Figura 10 - Simulação do Índice de Qualidade da Profundidade Efetiva do Manejo do Solo (IQPEMS).....	76
Figura 11 - Simulação crescente dos quartis do valor mínimo, quartis até o valor máximo para o fator que divide a raiz quadrada da matéria orgânica no solo (MOS) pela raiz quadrada da resistência mecânica à penetração do solo (RMPS).....	81
Figura 12 - Simulação inversa do fator que divide o valor mínimo, quartis e valor máximo da raiz quadrada da matéria orgânica no solo (MOS) pelo valor máximo, quartis e valor mínimo da raiz quadrada da resistência mecânica à penetração do solo (RMPS).....	82
Figura 13 - Simulação inversa do fator que divide o valor máximo, quartis e valor mínimo da raiz quadrada da matéria orgânica no solo (MOS) pelo valor mínimo, quartis e valor máximo da raiz quadrada da resistência mecânica à penetração do solo (RMPS).....	83
Figura 14 - Simulação do Índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS) a partir dos valores crescentes mínimos, quartis e valores máximos de matéria orgânica do solo em razão da resistência mecânica a penetração do solo relacionado ao comportamento do coeficiente de permeabilidade típica de solos argilosos.....	85
Figura 15 - Simulação do índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS) partindo dos valores crescentes mínimos, quartis e valores máximos de matéria orgânica do solo em razão da resistência mecânica a penetração do solo relacionado ao	

comportamento do coeficiente de permeabilidade típica de solos arenosos.....	86
--	----

Figura 16 - Simulação do Índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS) a partir do valor mínimo, quartis e valor máximo de matéria orgânica do solo dividida pelo valor máximo, quartis e valor mínimo da resistência mecânica a penetração do solo no comportamento do coeficiente de permeabilidade em solos argilosos.....	88
--	----

Figura 17 - Simulação do índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS) a partir do valor máximo, quartis e valor mínimo de matéria orgânica do solo dividida pelo valor mínimo, quartis e valor máximo de resistência mecânica à penetração do solo no comportamento do coeficiente de permeabilidade em solos argilosos.....	90
--	----

Figura 18 - Simulação do Índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS) a partir do valor mínimo, quartis e valor máximo de matéria orgânica do solo dividida pelo valor máximo, quartis e valor mínimo de resistência mecânica a penetração do solo no comportamento do coeficiente de permeabilidade em solos arenosos.....	91
---	----

Figura 19 - Simulação do índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS) a partir do valor máximo, quartis e valor mínimo de matéria orgânica do solo dividida pelo valor mínimo, quartis e valor máximo de resistência mecânica a penetração do solo no comportamento do coeficiente de permeabilidade de solos arenosos.....	92
---	----

Figura 20 - Simulação do índice da Intensidade da Pressão Antrópica no Manejo do Solo analógica partindo dos valores crescentes mínimos, quartis até os valores máximos.....	99
---	----

Figura 21 - Simulação do Índice da Intensidade da Pressão Antrópica no Manejo Solo a partir dos valores, mínimo, quartis e máximo de Pressão Antrópica no Manejo do Solo analógica pelos valores máximo, quartis e mínimo de RMPS.....	101
---	-----

Figura 22 - Simulação do Índice da Intensidade da Pressão Antrópica no Manejo Solo a partir dos valores máximo, quartis e mínimo de Pressão Antrópica no Manejo do Solo analógica pelos valores mínimo, quartis e máximo de RMPS.....	102
--	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sistema Internacional de Unidades Físicas (SI).....	45
Tabela 2 - Variáveis indicadoras de fragilização ambiental.....	46
Tabela 3 - Subespaço selecionado.....	49
Tabela 4 - Matriz solução com o resultado nos Π -termos.....	50
Tabela 5 - Ponderação estabelecida pelo método “Ad Hoc” na discussão com os especialistas referente a variável pressão antrópica no manejo do solo com analogia.....	56
Tabela 6 - Nomenclatura dos índices adimensionais (Π -termos).....	58
Tabela 7 - Estatística descritiva do Índice Relativo à Área Natural (IRAN) para a Bacia Hidrográfica Córrego do Pitangal (BH-CP).....	64
Tabela 8 - Estatística descritiva do Índice Relativo de Solo Exposto (IRSE) para a Bacia Hidrográfica Córrego do Pitangal (BH-CP).....	68
Tabela 9 - Valor mínimo, quartis e valor máximo para o indicador DMG.....	70
Tabela 10 - Valor mínimo, quartis e valor máximo para o indicador profundidade efetiva do solo (PES)	75
Tabela 11 - Valores mínimos, quartis e valores máximos extraídos da literatura para os indicadores de fragilização k, MOS e RMPS	79
Tabela 12 - Quartis e valores mínimos e máximos da pressão antrópica no manejo do solo analógica (PAMS) e a resistência mecânica a penetração do solo (RMPS).....	97

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 -	46
Equação 2 -	47
Equação 3 -	48
Equação 4 -	48
Equação 5 -	48
Equação 6 -	48
Equação 7 -	48
Equação 8 -	49
Equação 9 -	50
Equação 10-.....	61
Equação 11 -	65
Equação 12 -	69
Equação 13 -	74
Equação 14 -	78
Equação 15 -	96

SUMÁRIO

RESUMO.....	23
1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	19
2.1 GERAL.....	19
2.2 ESPECÍFICOS	19
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	20
3.1 FRAGILIZAÇÃO AMBIENTAL PROVOCADA PELO MANEJO AGROSSILVIPASTORIL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS	20
3.2 ERODIBILIDADE E MANEJO DO SOLO.....	25
3.2.1 Variáveis associadas a erodibilidade e ao manejo do solo no meio Físico	27
3.2.1.1 Diâmetro Médio Geométrico [DMG].....	27
3.2.1.2 Resistência Mecânica à Penetração do Solo [RMPS]	29
3.2.1.3 Coeficiente de Permeabilidade do solo [k]	31
3.2.2 Variáveis associadas a erodibilidade e ao manejo do solo no meio Biótico	32
3.2.2.1 Cobertura Natural [CN].....	32
3.2.2.2 Matéria Orgânica do Solo [MOS]	33
3.2.2.3 Profundidade Efetiva do Solo [PES].....	36
3.2.3 Variáveis associadas a erodibilidade e ao manejo do solo no meio Antrópico....	38
3.2.3.1 Área de Manejo Agrossilvipastoril [AMA]	38
3.2.3.2 Área de Solo Exposto [ASE].....	40
3.2.3.3 Pressão Antrópica no Manejo do Solo [PAMS]	41
3.2.3.3.1 MÉTODO “Ad Hoc”	42
3.2.3.3.2 TEORIA DA SIMILARIDADE	43
3.3 ANÁLISE DIMENSIONAL	43
3.4 ESTATÍSTICA DE QUARTIS	45
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
4.1 SELEÇÃO DOS INDICADORES DE FRAGILIZAÇÃO AMBIENTAL.....	46
4.2 APLICAÇÃO DA ANÁLISE DIMENSIONAL NOS INDICADORES AMBIENTAIS.....	47
4.2.1 APLICAÇÃO DO TEOREMA DOS Π -TERMS DE VASCHY BUCKINGHAM NOS INDICADORES DE FRAGILIZAÇÃO AMBIENTAL	49
4.2.2 DEFINIÇÃO DA NOMENCLATURA DOS Π -TERMS RESULTANTES DA ANÁLISE DIMENSIONAL ...	53
4.3 APLICABILIDADE E SENSIBILIDADE DOS Π -TERMS ESTABELECIDOS PELO MÉTODO DA ANÁLISE DIMENSIONAL.....	53
4.3.1 Aplicabilidade e sensibilidade dos Π -terms relacionais de áreas de manejo	53

4.3.2	<i>Aplicabilidade e sensibilidade dos Π-termos relativos a fragilidade promovida por manejos agrossilvipastoris</i>	55
4.3.2.1	Valores extremos para o indicador diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do solo	56
4.3.2.2	Valores extremos para o indicador Profundidade Efetiva do Solo (PES)	56
4.3.2.3	Valores extremos para o indicador Coeficiente de Permeabilidade do Solo (k)	57
4.3.2.4	Valores extremos para o indicador Matéria Orgânicos no Solo (MOS)	57
4.3.2.5	Valores extremos para o indicador Resistência Mecânica à Penetração do Solo (RMPS)	57
4.3.2.6	Valores extremos para o indicador Pressão Antrópica no Manejo do Solo (PAMS)	58
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
5.1	NOMENCLATURA DOS Π -TERMOS RESULTANTES DO MÉTODO DE ANÁLISE DIMENSIONAL	60
5.2	RESULTADOS DOS ÍNDICES ADIMENSIONAIS RESULTANTES DA ANÁLISE DIMENSIONAL	60
5.2.1	<i>Resultados da aplicabilidade e sensibilidade dos índices adimensionais relacionais de áreas de manejo</i>	61
5.2.1.1	Resultado da aplicabilidade e sensibilidade do Índice Relativo à Área Natural (IRAN)	63
5.2.1.2	Resultado da aplicabilidade e sensibilidade do Índice Relativo ao Solo Exposto (IRSE)	66
5.2.2	<i>Resultados da aplicabilidade e sensibilidade dos índices adimensionais relacionados à fragilidade promovida por manejos agrossilvipastoris</i>	70
5.2.2.1	Resultado da aplicabilidade e sensibilidade do Índice de Degradação Estrutural do Manejo (IDEM)	71
5.2.2.2	Resultado da aplicabilidade e sensibilidade do Índice de Qualidade da Profundidade Efetiva no Manejo do Solo (IQPEMS)	76
5.2.2.3	Resultado da aplicabilidade e sensibilidade do Índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS)	80
5.2.2.4	Resultado da aplicabilidade e sensibilidade do Índice de Influência da Pressão Antrópica no Manejo do Solo (IIPAMS)	98
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
	APÊNDICE 0	120
	APÊNDICE 1	121
	APÊNDICE 2	122
	APÊNDICE 3	123

1. INTRODUÇÃO

Ao considerar a economia com base em consumo e trocas, as ações antrópicas nos diferentes usos da terra desencadeiam impactos positivos ao crescimento e desenvolvimento econômico. No entanto, os avanços exploratórios contínuos ao meio ambiente têm fragilizado muitas áreas produtivas e naturais, principalmente em regiões geograficamente vulneráveis.

Nesse escopo, a ausência de critérios para o planejamento do ambiente urbano e rural culmina no surgimento de degradações ambientais oriundas das necessidades e explorações dos recursos naturais.

Dessa forma, conhecer os limites impostos pela natureza do meio pode contribuir para a gestão racional dos recursos naturais. Essa gestão tem sido realizada sempre dentro da bacia hidrográfica, definida como unidade básica de planejamento ambiental determinada pela lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), inciso V (BRASIL, 1997). Caracterizando-se como uma das principais unidades de gerenciamento territorial, a bacia hidrográfica se dispõe para as atividades agrossilvipastoris, sendo modelada pelas condições geológicas e climáticas locais (VANACKER et al., 2005; GUERRA et al., 2015), sendo assim, dentro dela ocorrem diferentes ocupações e usos da terra, o que contribui para formação de diferentes cenários.

Cavalli et al. (2001) dizem que a maioria das práticas contribuem para o preparo do solo, porém fragilizam a sua superfície e causam impactos manifestados em diferentes graus dependendo da classe de solo e das condições de relevo.

Assim, eles afirmam que os estudos relacionados com o planejamento agroambiental, principalmente os que preveem os impactos agrícolas, tornam-se cada vez mais importantes para o planejamento e desenvolvimento rural, com base em microbacias hidrográficas, assim, a utilização de Sistemas de Informações Geográficas no planejamento agroambiental contribui para o desenvolvimento de técnicas auxiliares que podem ser utilizadas em relação a estudos dos mais diferentes ambientes agrícolas.

Considerando a complexidade desses cenários existe a necessidade de determinar indicadores e índices para a análise das condições ambientais, principalmente do meio físico. Dentre os modelos utilizados para a análise dos

processos erosivos está a equação de perda de solo (USLE) proposta por Wischmeier & Smith (1978) e suas variantes. Essa Equação tem sido largamente aplicada (BAGARELLO et al., 2017; BLANCO & LETELIER, 2017; PHAM et al., 2018).

No entanto, ela apresenta algumas restrições ou críticas, assim, uma das críticas associadas a esse modelo, consiste na generalização dos fatores da Equação o que auxilia na interpretação, no entanto, perde em fundamentação individual dos mesmos (CÂRDEI, 2010; CHAVES, 2010; GOULD et al., 2016). Ahmed (2009) complementa que a USLE tem sido muito utilizada para estimar o valor da erodibilidade, entretanto sua elaboração foi realizada para o estudo de solos norte-americanos o que, possivelmente, não viabiliza a predição de valores condizentes com a realidade dos solos brasileiros.

A partir dessas considerações, acredita-se que trabalhar variáveis associadas a resposta do manejo dos solos pode contribuir para diferentes desdobramentos na análise e discussão da condição de fragilização do meio. Dessa forma, proporcionar bases para um modelo de gestão capaz de auxiliar no planejamento e ações nos diferentes usos e ocupações da terra em relação à condição natural do ambiente (TRICART, 1977, 1982; ROSS, 1994, 2011; SILVA, REINERT e REICHERT, 2000; KLEIN & LIBARDI, 2002; STEFANOSKI et al., 2013; VALLE et al., 2016; GARCIA e MAIA, 2019).

Em relação as propriedades físicas do solo, Ahmed (2009) complementa que elas possuem grande influência no processo de erosão, uma vez que alguns desses fatores como a estrutura e a textura contribuem para a maior ou menor quantidade de solo carregado no processo erosivo, também a permeabilidade visto que, quanto maior ela for maior será a infiltração, diminuindo o escoamento superficial, além disso a profundidade efetiva do solo, que quanto maior a camada de solo, maior será o acúmulo de água reduzindo o escoamento superficial. Deste modo, as propriedades do solo consideradas mais importantes em relação ao comportamento da suscetibilidade erosiva são, a textura, estrutura, densidade aparente, porosidade, permeabilidade, teor de matéria orgânica e a estabilidade dos agregados.

Diante do exposto, é possível notar que a associação de alguns desses indicadores dos solos relacionados à suscetibilidade erosiva, pode gerar índices com potencial de utilização na identificação da fragilidade ambiental ao serem

relacionados ao uso da terra em áreas de manejos agrossilvipastoris. Nessa inserção, um dos problemas pertinentes a construção de índices ocorre a partir da escolha das variáveis determinantes para o estudo e, ainda, na maneira como podem ser associadas e na qualidade de informações que elas expressam ou corrompem nas suas agregações.

Nesse escopo, o presente estudo associou os indicadores de manejo do solo relacionados ao uso da terra em áreas de manejos agrossilvipastoris por meio da análise dimensional. Análise dimensional se configura como uma técnica analítica que propicia a obtenção de equações que podem representar modelos físicos, a partir de considerações sobre a dimensionalidade das grandezas envolvidas no fenômeno (DAW, 2008), além de sintetizar os dados observados para que sejam lidos de maneira simplificada, porém integradora, auxiliando na construção de índices apropriados e relevantes para cada situação (LEGENDRE E LEGENDRE, 2012).

Diante dessas considerações e vislumbrando a necessidade crescente de gerar metodologias que determinem e avaliem as condições que o manejo de solo promove na fragilidade ambiental relacionadas com as atividades antrópicas. Nessa dissertação foi realizada a aplicação do método de análise dimensional, onde foi possível definir índices que foram capazes de auxiliar na determinação da condição da fragilidade de áreas sob o uso de manejos agrossilvipastoris. Sendo assim, essa proposta de trabalho foi desenvolvida visando contribuir positivamente para a gestão ambiental de bacias hidrográficas com áreas de uso e ocupação agrossilvipastoris nas dimensões do meio físico, biótico e antrópico.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Propor índices de manejo do solo para análise da fragilização ambiental em áreas agrossilvipastoris utilizando análise dimensional.

2.2 Específicos

- 2.2.1 Determinar um conjunto de variáveis indicadoras de fragilização;
- 2.2.2 Aplicar o método de análise dimensional no conjunto de indicadores;
- 2.2.3 Gerar os índices adimensionais de manejo relativo aos indicadores;
- 2.2.4 Descrever o alcance e a sensibilidade dos índices adimensionais.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Fragilização ambiental provocada pelo manejo agrossilvipastoril em bacias hidrográficas

A fragilidade ambiental caracteriza-se pela influência antrópica nos ambientes naturais, visto que a princípio a natureza apresentava-se em equilíbrio dinâmico, entretanto com o progressivo avanço e intervenção das sociedades humanas ocorreram modificações intensas na apropriação dos recursos naturais. A partir dos avanços tecnológicos, científicos e econômicos, ocorreram rápidas transformações nos sistemas de produção resultando em uma grande pressão sobre os recursos naturais, modificando-os de maneira irreversível (SPORL, 2001; SPÖRL e ROSS, 2004).

Pensando nesse processo, Ross (1994) estabeleceu dois tipos de fragilidade ambiental, a potencial e a emergente, sendo a fragilidade potencial caracterizada pela suscetibilidade ou vulnerabilidade natural a que uma determinada área está submetida, que é observada a partir de suas características físicas, por outro lado, a fragilidade emergente considera além dos fatores ambientais, o elemento humano, representado sob as características de ocupação e uso da terra.

Considerando os diversos usos da terra praticados em bacias hidrográficas, Follmann et al. (2018) afirmam que analisar a fragilidade desses ambientes contribui nas tomadas de decisões estratégicas, com intuito de reduzir os impactos potenciais existentes, além de subsidiar o planejamento e a gestão ambiental.

Nesse sentido, conhecer as diversas práticas de manejos exercidas em bacias hidrográficas se torna necessário para equilibrar as relações ecossistêmicas entre o meio físico, biótico e antrópico, visando contribuir para o desenvolvimento econômico agrícola, além da determinação de potenciais fragilidades ambientais decorrentes dos processos de uso e ocupação da terra no interior dessas unidades territoriais.

Dentre os diversos tipos de uso da terra em bacias hidrográficas, destacam-se os manejos agrossilvipastoris, compostos por agricultura (permanente e temporária), silvicultura e pastagens, que através de suas peculiaridades atuam para a fragilização de áreas. Diante dessa problemática é importante analisar as

perturbações ambientais advindas da produção agrícola em bacias hidrográficas, com o intuito de melhorar a organização do espaço, além de permitir a redução das degradações ambientais relacionadas à essas práticas.

Sobre a produção agrícola Buainain e Garcia (2015) afirmam que ao longo da formação econômica do Brasil, o uso do solo para atividades agropecuárias ocupa papel central, particularmente a partir da “Revolução Verde”, constituindo-se como uma atividade econômica estratégica em diversos momentos da história econômica brasileira, sendo reflexo de uma produção que normalmente faz uso intenso da produção mecanizada, o que afeta as cadeias produtivas acelerando o processo, em contrapartida degrada os solos em decorrência da intensidade da produção e do uso de maquinários na colheita e no preparo do solo.

Soares et al. (2008) complementam que o uso intensivo do solo, tem por objetivo a maior produção agrícola, que é reflexo do aumento da demanda por alimento em virtude do crescimento populacional. Para tanto é necessária a utilização da terra de forma adequada, respeitando seus limites, viabilizando a conservação desse recurso natural, uma vez que o ordenamento do território deve respeitar às limitações e potencialidades das terras, considerando, não somente o aspecto econômico, mas também o ambiental e, sabe-se que a avaliação do potencial de uso da terra a fragilidade ambiental são ferramentas notáveis de planejamento territorial visando o desenvolvimento econômico sustentado.

Considerando essas questões, Quadros e Rebollar (2009) afirmam que a gestão da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas é necessária, em virtude da interação entre os componentes aquáticos, terrestres e atmosféricos com a variedade e multiplicidade de problemas relacionados à degradação dos recursos naturais, normalmente ocasionado por ações antrópicas. As ações antrópicas nesses ambientes estão relacionadas, principalmente, com as atividades agrícolas caracterizadas pelo uso da terra voltado aos manejos agrossilvipastoris.

Sobre esses tipos de manejo, Siqueira e Vanzela (2018) afirmam que eles provocam inúmeros problemas relacionados com a degradação das matas ciliares e a precária conservação do solo, reduzindo a disponibilidade e qualidade hídrica, assim, entre os principais fatores que causam a degradação hídrica destaca-se a produção excessiva de sedimentos, associada aos processos de deslocamento, transporte, deposição e compactação, obedecendo o sentido natural do terreno, o

que normalmente é potencializado em locais com modificação constante do uso e ocupação da terra. Os autores complementam que a cobertura vegetal do solo permite dissipar a energia cinética do impacto direto das gotas da chuva sobre a superfície, diminuindo a desagregação inicial das partículas de solo e, conseqüentemente, a concentração de sedimentos na enxurrada.

De acordo com Pinheiro, Teixeira e Kaufmann (2009) grande partes dos estudos realizados com relação aos efeitos do uso da terra e das práticas de manejo agrossilvipastoris são realizadas em parcelas experimentais, em que existe o controle das condições de contorno e das técnicas empregadas. Entretanto, em bacias hidrográficas as ações dos produtores agrícolas podem ser diferentes daquelas desenvolvidas em parcelas experimentais.

Nesse sentido Carmo (2015) explica que para exercer atividades agrossilvipastoris em bacias hidrográficas, é necessário identificar o tipo de manejo explorado, isto é, manejo permanente ou manejo temporário, uma vez que os manejos temporários são aqueles sujeitos ao replantio após a colheita (geralmente possuem período de vida curto), depois são arrancados do solo para que seja realizado novo plantio. Os manejos permanentes, por sua vez, permanecem vinculados ao solo e proporcionam mais de uma colheita ou produção, normalmente, são assim considerados quando possuem uma duração mínima de quatro anos.

Ambos atuam na fragilização ambiental de bacias hidrográficas, entretanto os manejos permanentes, na maioria das vezes, são menos influentes na degradação da condição física do solo em relação aos manejos temporários, visto que a cultura permanente mantém o solo coberto por mais tempo e a cultura temporária, por sua vez, degrada a qualidade do solo em virtude do tempo de manipulação e da exposição as intempéries ambientais entre as rotações de culturas, o que aumenta a erodibilidade e favorece os processos erosivos.

Essas considerações mostram que a falta de planejamento do manejo agrícola (permanente ou temporário) em bacias hidrográficas, como afirma Brizzi, Souza e Costa (2017) torna mais complexa a relação Homem-Natureza, visto que o desconhecimento e a utilização indiscriminada de manejos voltados a produção agrícola sem um estudo prévio das potencialidades e vulnerabilidades do solo, afetam o gerenciamento dos recursos hídricos, dos ecossistemas e reduz a produtividade dos solos.

Uma das atividades agrícolas permanentes que podemos destacar é a silvicultura, que Mateus e Padilha (2017) afirmam caracterizar atualmente pela diversidade de produtos e serviços, que compreendem um conjunto de atividades que incluem desde a produção e a colheita, até a transformação da madeira em produto final, essa expansão favoreceu a procura por matérias-primas de base florestal, trazendo à tona as discussões que envolvem a sustentabilidade ambiental nessas atividades.

Conforme os dados da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF (2016) as plantações de eucalipto ocupam 5,56 milhões de hectares da área de florestas plantadas no Brasil, envolvendo silvicultores em mais de 15 estados, nessa lista Minas Gerais ocupa a primeira colocação, com 25,2%, seguido de São Paulo, com 17,6%, e Mato Grosso do Sul, com 14,5%.

Moura e Zaidan (2017) dizem que a silvicultura se trata de uma alternativa para atender a grande demanda por produtos de origem florestais, para tanto o eucalipto é utilizado como fonte de matéria prima para suprir setores moveleiros e de construção civil, bem como para atender a produção de carvão vegetal, celulose, papel, óleos, aglomerados, entre outros produtos. Eles complementam que essa prática atrai polêmicas e tem despertado intensos debates frente aos impactos que geram ao meio ambiente, principalmente sobre o solo (empobrecimento e erosão), a água (impacto sobre a umidade do solo, os aquíferos e nível freático) e a baixa biodiversidade.

Entretanto Naresi et al. (2017) dizem que esse tipo de cultivo quando realizado em áreas de florestas nativas, como a mata atlântica, acarretam redução da biodiversidade, mas se produzidas em região de cerrado ou em áreas anteriormente cobertas por mata atlântica em situação de desmate, faz aumentar a biodiversidade da flora e fauna locais.

Souza, Xavier e Justiniano (2018) complementam que apesar disso, algumas espécies de eucaliptos, em regiões de baixa umidade e relativa escassez de nutrientes podem ter efeitos negativos sobre a vegetação local e até mesmo sobre plantas mais jovens da mesma espécie, resultado da competição por água e nutrientes.

Com relação aos efeitos desse tipo de manejo Dick e Schumacher (2019) relatam que, geralmente, os monocultivos de eucalipto são produzidos em solos de

baixa fertilidade, tornando necessárias predições quanto ao manejo de resíduos resultantes da colheita que irão permanecer sobre o piso florestal, configurando-se como uma estratégia para evitar a exaustão nutricional, além de conservar a manutenção da capacidade de produção do solo.

Outro tipo de manejo permanente como a silvicultura muito comum no Brasil, são as pastagens para criação de animais, que como declaram Pereira, Ferreira e Guimarães (2017) muitos estudos abordam a origem, evolução ou quantificação da degradação das pastagens no Brasil, são relatados altos índices de degradação, impactos ambientais e perdas econômicas, além disso, são mostrados que os índices de vegetação e de crescimento de pastagens apresentam alta variabilidade em relação à precipitação mensal.

Assim, a degradação das pastagens, como corrobora Guimarães et al. (2016) está associada a fatores como manejo, pragas, regime de chuvas, fertilidade, drenagem do solo e à distribuição espacial dos atributos químicos e físicos do solo. E algumas dessas propriedades físicas podem sofrer modificações, visto que a intensidade do pisoteio de animais em áreas de pastagem pode alterar a infiltração de água no solo e, conseqüentemente, a quantidade de água que chega até o lençol freático, além de atuar negativamente sobre a resistência mecânica a penetração do solo.

Com relação à degradação presente nas pastagens Carvalho et al. (2017) dizem que elas são um grande problema para a pecuária brasileira, visto que é desenvolvida basicamente sob pasto e, segundo estimativas, 80% dos 50 a 60 milhões de hectares de pastagens cultivadas no Brasil encontram-se em algum estágio de degradação, sem possibilidade de recuperação natural e incapazes de sustentar os níveis de produção e qualidade exigida pelos animais, bem como de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e plantas invasoras. Isso decorre de vários fatores que atuam isoladamente ou em conjunto, a saber, o preparo incorreto do solo, a escolha incorreta da espécie forrageira, o uso de sementes de baixa qualidade, a má formação inicial, o manejo inadequado e, principalmente, em razão da não reposição dos nutrientes perdidos no processo produtivo, acarretando processos erosivos, lixiviação e volatilização ao longo dos anos.

Colombo et al. (2017) dizem que em áreas destinadas a pastagem, a pressão do casco dos animais sobre o solo tende a comprometer a qualidade física na

camada superficial, em razão do aumento da densidade do solo e redução da porosidade, que é mais afetada nos primeiros 15 centímetros de profundidade do solo.

Essas considerações mostram que os manejos agrossilvipastoris sem tratamento adequado levam a degradação ambiental e geram prejuízos às atividades econômicas de produção, uma vez que, dependem do modo exploratório empregado. Para tanto, são necessários estudos voltados a gestão dos manejos agrossilvipastoris e do uso da terra, em busca de preservar a sadia qualidade do solo em bacias hidrográficas, reduzir a fragilização ambiental e aumentar a produtividade agrossilvipastoril.

Para tanto, as propriedades físicas dos solos são características importantes a serem consideradas com relação ao processo de degradação ambiental de bacias hidrográficas voltadas ao manejo agrossilvipastoril, assim, algumas dessas propriedades possuem relação com a erodibilidade e o manejo dos solos e podem ter atuação significativa em relação aos processos erosivos, uma vez que podem contribuir para atenuar ou intensificar o potencial erosivo de um solo.

Devidos a relevância das propriedades relacionadas a erodibilidade e o manejo dos solos como indicadores de fragilização ambiental, salienta-se a importância de preservar esses atributos, com o intuito de reduzir os processos erosivos e aumentar a produtividade de manejos agrossilvipastoris em bacias hidrográficas.

3.2 Erodibilidade e Manejo do Solo

A fragilidade ambiental de uma área possui relação direta com os usos da terra imprimidos no manejo. Nesse sentido, o uso da terra deve ser considerado essencial na elaboração de estudos que pretendam preservar a capacidade de produção agrossilvipastoril, atrelada à conservação e preservação dos atributos físicos do solo e consequente preservação ambiental.

Ações tais podem auxiliar na diminuição do escoamento superficial causado por processos erosivos, para que isso aconteça, as atividades agrossilvipastoris devem estar comprometidas em manter o equilíbrio ambiental amparado em utilização de técnicas adequadas à produção das áreas de manejo.

A partir dessas considerações, é importante determinar os fatores relacionados a erodibilidade e ao manejo do solo que podem interferir na qualidade e preservação dos atributos físicos do solo, levando em consideração a influência e as modificações imprimidas pelo uso da terra no manejo agrossilvipastoril, que podem atuar na intensificação de processos erosivos em bacias hidrográficas e, consequentemente, na fragilização desses ambientes.

Nesse sentido, a erodibilidade caracteriza-se pela passividade ou suscetibilidade do solo em expressar processos erosivos e a recíproca de sua resistência ao processo. O que significa que um solo com alto valor de erodibilidade sofrerá mais erosão do que um solo com baixo valor de erodibilidade, se considerada a mesma precipitação (AQUINO, 2017).

Esse fator pode ser estimado por meio da representação gráfica, com base na combinação dos atributos físicos dos solos (textura, estrutura e permeabilidade), com porcentagem de matéria orgânica (WISCHMEIER ET AL., 1971), além de representar o efeito dos processos que regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto da gota de chuva e a resistência mecânica a penetração do solo ao transporte pelo fluxo superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do solo em relação aos processos erosivos (AQUINO, 2017).

Conforme Fonseca et al. (2016) a erodibilidade de um solo pode ser influenciada por suas propriedades físicas e químicas, pelas características geométricas das encostas, pela cobertura vegetal e pelo regime de chuvas, sendo que a combinação desses fatores na dinâmica espacial, podem interferir na energia cinética das chuvas sobre os solos, além de interferir na capacidade de infiltração e armazenagem de água no solo.

Sobre isso, Guerra e Botelho (1996) afirmam que a estabilidade dos agregados age diretamente sobre a erodibilidade dos solos, visto que quanto maior for a estabilidade à ação da água, menor as taxas de erodibilidade e vice-versa. Essa estabilidade é dada pela resistência que alguns agregados possuem tanto à ação da água, diretamente através do *splash*, como pela água que se infiltra e encharca os solos.

Deste modo, os autores complementam que os solos que apresentam baixos teores de estabilidade de agregados são mais susceptíveis aos processos erosivos, o que faz chamar atenção para as atividades de manejo agrossilvipastoril que,

normalmente, contribuem com a perda e diminuição dos teores de matéria orgânica dos solos, diminuindo a estabilidade dos agregados do solo e, conseqüentemente, a produção, atuando para a fragilização ambiental da bacia hidrográfica.

É possível perceber a importância de algumas propriedades relacionadas a erodibilidade e ao manejo do solo (matéria orgânica, estabilidade dos agregados, resistência mecânica a penetração, entre outros), sendo essas propriedades variáveis indicadoras com capacidade de demonstrar a intensidade da fragilização de áreas de manejo agrossilvipastoril a partir do uso da terra.

3.2.1 Variáveis associadas a erodibilidade e ao manejo do solo no meio Físico

3.2.1.1 Diâmetro Médio Geométrico [DMG]

Diversos atributos físicos do solo respondem pela caracterização da erodibilidade e do manejo do solo como indicadores de fragilização ambiental, dentre eles a estrutura de agregação é fundamental, uma vez que ela é essencial para manter a porosidade do solo, permitir as trocas gasosas, a infiltração de água e facilitar os ciclos biogeoquímicos. A complexa dinâmica de agregação do solo é resultado da interação de muitos fatores físicos, químicos e biológicos, entre esses últimos, a influência das plantas e da atividade microbiana (RUBIN & STÜRMER, 2015).

A agregação do solo de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) resulta das forças de aproximação e cimentação de partículas orgânicas e minerais no solo, sendo que a união de agregados menores, formam os macroagregados ($> 0,25$ mm) do solo.

Ainda de acordo com a EMBRAPA, em solos tropicais a cimentação resulta, principalmente, da matéria orgânica e da ação metabólica de organismos vivos sobre ela, gerando substâncias agregantes, possuindo papel relevante na secreção de compostos orgânicos pelas raízes e a presença de elementos químicos minerais como cálcio, magnésio, entre outros. Deste modo, a agregação indica a condição do solo ou sua habilidade em relação a aeração (entrada e saída do ar), infiltração da água, retenção de água e nutrientes e desenvolvimento de raízes.

A estrutura do solo é composta por seus agregados de diferentes tamanhos (**Figura 1**), sendo responsável, entre outras, pelo armazenamento e distribuição de água no sistema solo-planta (RAPOSO et al., 2018).

Figura 1: Agregados do solo de diferentes tamanhos



Fonte: EMBRAPA.

Teixeira et al (2017) dizem que a agregação se trata de um dos principais componentes da fertilidade do solo, refletindo, de forma imediata, os efeitos do manejo ao qual esse recurso natural é submetido, diagnosticando as relações de causa e efeito, possibilitando a identificação e definição de estratégias a serem adotadas em um sistema de produção agropecuário visando a melhoria da qualidade estrutural e, portanto, a fertilidade do solo. Além disso, o manejo conservacionista, pode ajudar a preservar e/ou, na medida do possível, melhorar a estrutura natural do solo.

Souza et al (2016) comenta que a qualidade do solo pode ser medida pela agregação das partículas do solo, pois a manutenção de sua estrutura facilita a aeração e a infiltração de água e reduz a erodibilidade.

Quando ocorre a degradação da estrutura do solo, há modificações no arranjo das partículas, levando a redução no tamanho dos poros, especialmente nos macroporos, o que diminui a infiltração pela presença de macroporos inferiores a $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$, que limitam o crescimento radicular, em decorrência da baixa aeração e aumento da resistência mecânica à penetração do solo (NICODEMO et al., 2018).

Conforme Da Rocha et al. (2016) a qualidade estrutural do solo pode ser avaliada por meio da estabilidade dos agregados, uma vez que ela possui relação com a resistência dos agregados pela influência da água, do vento e de forças mecânicas. Agregados maiores e mais estáveis conferem maior resistência à erosão e maior infiltração de água, em contrapartida os agregados menores e menos estáveis tendem a desaparecer e dispersarem levando a redução da taxa de infiltração da água, aumento do encrostamento e do escoamento superficial, podendo afetar o crescimento radicular das plantas.

Assim, percebe-se que as mudanças na estrutura de agregação podem levar a compactação do solo, danificando os processos de infiltração, que além de limitar o crescimento das plantas e diminuir a fertilidade do solo, atua sobre os processos erosivos em atividades de manejo agrossilvipastoril. Em virtude disso, nota-se a importância em preservar a agregação do solo com a intenção de atenuar os processos erosivos que atuam para a fragilização em bacias hidrográficas.

3.2.1.2 Resistência Mecânica à Penetração do Solo [RMPS]

Outra propriedade importante a ser considerada é a resistência mecânica do solo à penetração, uma vez que ela pode ser responsável por diversos problemas ambientais, isso em virtude de sua interferência que ela possui no desenvolvimento radicular das plantas, podendo alterar o equilíbrio entre solo-água-planta e contribuir para a ocorrência de processos erosivos em áreas de manejo agrossilvipastoril, fragilizando esses ambientes.

Dentre as diversas alterações provocadas pela resistência do solo à penetração, está a compactação do solo, que conforme Ribon et al. (2017) é

reconhecidamente, um entrave para a agricultura sustentável, podendo levar a significativa redução da produção agrícola. A ação deteriorante da compactação resultante da resistência do solo à penetração ocorre, principalmente, por intermédio de alterações na relação solo-água-planta, promovendo aumento na densidade do solo e consequentemente redução da porosidade total e da penetração de raízes no solo, alterado o equilíbrio na quantidade de gases e disponibilidade de água e nutrientes às plantas.

Drescher et al. (2016) dizem que no cenário agrícola brasileiro, áreas manejadas em plantio direto ocupam mais de 30 milhões do total de 48,8 milhões de hectares cultivados com espécies temporárias, e nessas áreas os registros mostraram o aumento da compactação do solo na camada localizada entre 0,07 e 0,15 metros, que é resultado das práticas inadequadas de manejo por ausência de diversificação de culturas, excesso de calagem, uso de semeadoras desprovidas de hastes sulcadoras com deposição de adubo na superfície ou na camada subsuperficial do solo, pastejo intensivo e aumento da frequência de tráfego de máquinas agrícolas.

Segundo Nagahama et al. (2016) a compactação do solo é uma importante causa de perdas de produtividade, em razão de modificações físicas no ambiente radicular, as modificações englobam a redução das disponibilidades de oxigênio e de água e o aumento da resistência do solo ao crescimento radicular.

A resistência mecânica do solo à penetração é utilizada para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele. Essa resistência geralmente aumenta com a compactação, reduzindo a umidade do solo e prejudicando o desenvolvimento do sistema radicular dos cultivos, prejudicando a produtividade (MARCONDELLI *et al.*, 2018).

Para Silva, Reinert e Reichert (2000) os valores de resistência à penetração de 2,8 a 3,2 MPa retardam o desenvolvimento das raízes e com 4 MPa não há crescimento radicular. Em vista disso, é importante observar a condição da resistência mecânica à penetração do solo, uma vez que sua condição pode interferir no crescimento radicular das culturas em manejo agrossilvipastoril, afetando a produtividade.

Esses argumentos demonstram a importância de evitar a degradação dos solos pelo aumento de sua resistência mecânica à penetração em áreas de manejo

agrossilvipastoril, que podem ser evitadas a partir da utilização de práticas adequadas de manejo, que atem sobre a redução do escoamento superficial que lixivia e empobrece o solo.

3.2.1.3 Coeficiente de Permeabilidade do solo [k]

Outro indicador essencial na análise da fragilização de áreas de manejo agrossilvipastoril, é a permeabilidade do solo, assim Gomes e Costa (2016) afirmam que a permeabilidade se caracteriza pela capacidade de escoamento da água através do solo, sendo expresso numericamente pelo coeficiente de permeabilidade (k) estudado pelo engenheiro francês Henry Darcy em 1856.

Define-se o coeficiente de permeabilidade (k) como sendo a velocidade média aparente “v” de escoamento da água através da área total (sólidos e vazios) da seção transversal do solo, sob um gradiente unitário ($i = 1$) (CAVALCANTE & CASAGRANDE, 2006).

Conforme Gomes e Costa (2016) a permeabilidade se configura como uma das propriedades do solo que sofre grande taxa de variação em seus valores, o que ocorre em função de diversos fatores (índice de vazios, a temperatura, a estrutura do solo, o grau de saturação e estratificação do terreno). Entretanto, considera-se impermeável o solo com $k = 1,3 \times 10^{-8} \text{cm/s}$ (CAVALCANTE & CASAGRANDE, 2006).

A variação da permeabilidade do solo de acordo com Marangon (2013) é importante, uma vez que ela interfere em um grande número de problemas práticos (drenagem, rebaixamento do nível d'água, cálculo de vazões, análise de recalques, estudo de estabilidade, entre outros).

Para que esse indicador de fragilização ambiental de áreas de manejo agrossilvipastoril seja preservado, Veras et al. (2016) dizem que o teor de matéria orgânica no solo (MOS) é importante para o aumento do coeficiente de permeabilidade, uma vez que pode auxiliar no controle da erosão acelerada e da umidade do solo.

Sobre essa relação Lopes, Marenzi e Almeida (2018) afirmam que a condutividade hidráulica da permeabilidade segue a mesma tendência do teor de matéria orgânica no solo, posto que suas análises apresentaram correlações significativas entre o teor de matéria orgânica (MOS) e os atributos físicos do solo,

com o aumento da porosidade que atua para a preservação da permeabilidade dos solos.

Essas colocações mostram que a permeabilidade do solo possui relação com os processos erosivos. Nesse sentido, quando a permeabilidade é comprometida por práticas de manejo inadequadas, pode favorecer os processos erosivos em áreas de manejos agrossilvipastoril, isso em virtude da redução da porosidade do solo, da quantidade de matéria orgânica no solo e, conseqüentemente, atenuação da percolação da água resultando em acúmulo de água sobre a superfície. Essas situações favorecem o transporte da água e outros materiais pelo perfil de escoamento, acarretando no empobrecimento do solo, redução da produção do manejo agrossilvipastoril, poluição e assoreamento dos cursos d'água em bacias hidrográficas.

3.2.2. Variáveis associadas a erodibilidade e ao manejo do solo no meio Biótico

3.2.2.1 Cobertura Natural [CN]

Um modo de preservar os atributos que compõem os solos, é a conservação das áreas naturais, em relação a isso Freitas (2018) afirma que o processo de substituição de áreas de cobertura natural por áreas com diferentes manejos se intensificou nos últimos anos e teve por consequência a aceleração dos processos de degradação e fragilização de bacias hidrográficas devido as práticas de manejo inadequadas.

Assim, Lima, Ferreira e Ferreira (2018) afirmam que a presença de biomassa vegetal (nativa ou não) controla a erosão hídrica, visto que permite a interceptação pluviométrica, reduzindo a energia gerada pelo impacto das gotas de chuva na superfície, resultando em aumento da infiltração da água no solo por meio das raízes das plantas e reduzindo o escoamento superficial.

Tambosi et al. (2015) confirmam que a presença de florestas nativas pode desempenhar diversas funções, como a regulação da quantidade de água, o

controle da erosão e aporte de sedimentos em bacias hidrográficas e, além disso, são relevantes em relação a disposição que se encontram no relevo.

Assim, quando a vegetação nativa se localiza no topo de morro, na região de encostas, ao longo dos cursos e reservatórios d'água, ou nos intervalos, ela normalmente atenua os processos erosivos em áreas de risco e reduzem a fragilização de áreas de manejos agrossilvipastoril dentro de bacias hidrográficas.

3.2.2.2 Matéria Orgânica do Solo [MOS]

O indicador matéria orgânica nos solos (MOS) em quantidade e qualidade pode responder pela fragilização de ambientes, uma vez que sua maior ou menor composição no solo pode auxiliar para a degradação ou preservação do solo e dos cultivos empregados, o que pode caracterizar a fragilização ambiental em bacias hidrográficas.

Em relação a esse atributo, a adição de matéria orgânica no solo acontece a partir da deposição de resíduos orgânicos, de origem principalmente vegetal (**Figura 2**).

Figura 2: Perfil de formação dos solos, com evidência para as camadas O e A com presença de matéria orgânica e húmus.

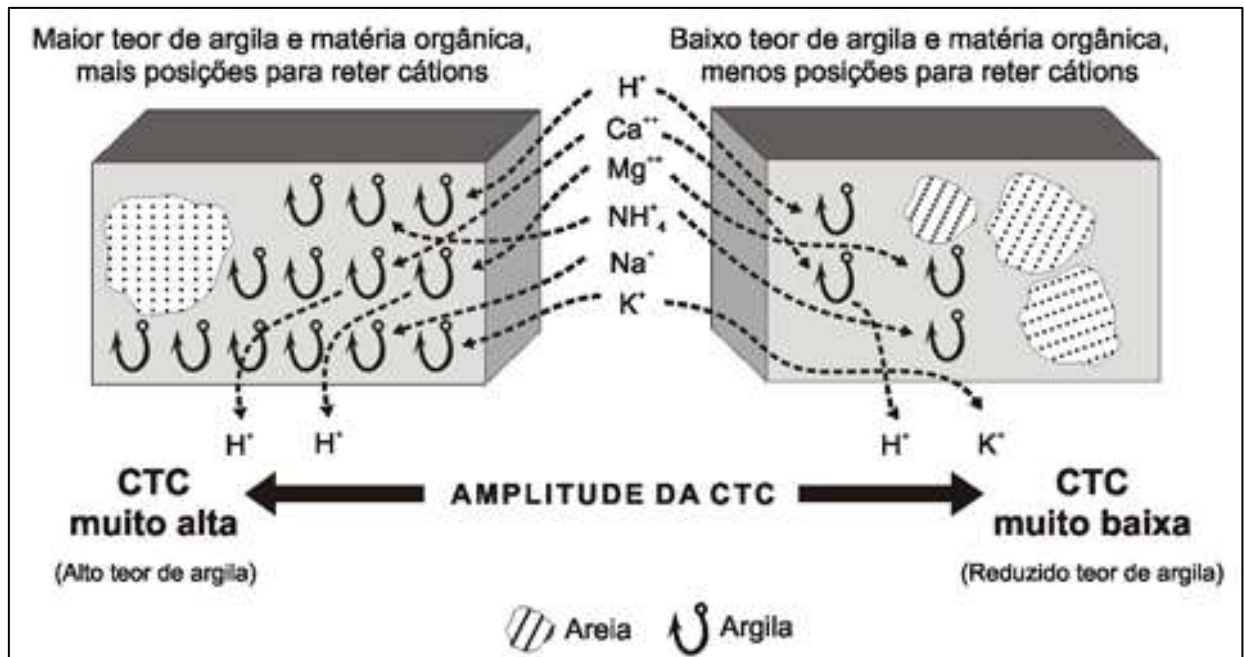


Fonte: Agualuza (2017).

No horizonte O (orgânico) da **Figura 2**, predomina os restos vegetais e animais e é na camada A que ocorre a maior quantidade de acumulação desse material e também de materiais inorgânicos. O processo de sua formação nos horizontes do solo ocorre desde a incorporação da matéria orgânica no solo fresca (horizonte O), até a formação das frações mais estáveis, os húmus (horizonte A) (CUNHA et al., 2015).

A matéria orgânica no solo (MOS) está relacionada às propriedades físicas, biológicas e químicas do solo, sendo a principal responsável pelas trocas catiônicas (CTCs) (**Figura 3**) de solos tropicais e subtropicais, podendo atuar na diminuição da toxidez de elementos às plantas, além de ser fonte de energia e nutrientes para a biota do solo (SOUZA et al., 2018), e como é possível observar na **Figura 3** as trocas catiônicas irão depender do teor e da quantidade de argila presente no solo.

Figura 3: Troca catiônica (CTC) exercida pela matéria orgânica em dois tipos diferentes de solo.



Fonte: Pedologia Fácil (PRADO, CARVALHO e CHRISTOFFOLETI, 2019).

Guareschi et al. (2012) e Cunha (2015) afirmam que a interação desse elemento com as diversas propriedades inerentes ao solo, fazem da matéria orgânica no solo um indicador muito utilizado na avaliação da qualidade do solo, principalmente nos manejos agrícolas, devido a sua sensibilidade desse indicador a essas práticas, o que propicia o monitoramento de mudanças da qualidade do solo no decorrer do tempo.

Conforme o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), o teor de matéria orgânica é útil para dar ideia da textura do solo, nesse sentido, valores até de 15 g/dm³ caracterizam solos arenosos, entre 16 e 30 g/dm³ são solos de textura média e de 31 a 60 g/dm³ caracterizam solos argilosos. Valores muito acima de 60 g/dm³ indicam acúmulo de matéria orgânica no solo por condições localizadas, em geral por má drenagem ou acidez elevada.

Segundo Rangel e Silva (2007) as maiores taxas de decomposição da matéria orgânica no solo observadas em áreas sob cultivo ocorrem devido às perturbações físicas do solo, que implicam rompimento dos macroagregados, reduzindo a proteção física da matéria orgânica no solo, expondo-a aos processos microbianos, contribuindo para o aumento as taxas de emissão de CO₂ para a atmosfera.

Esses argumentos mostram que a matéria orgânica no solo se configura como um indicador de extrema importância para determinar a fertilidade e a qualidade do solo em manejos agrossilvipastoris.

3.2.2.3 Profundidade Efetiva do Solo [PES]

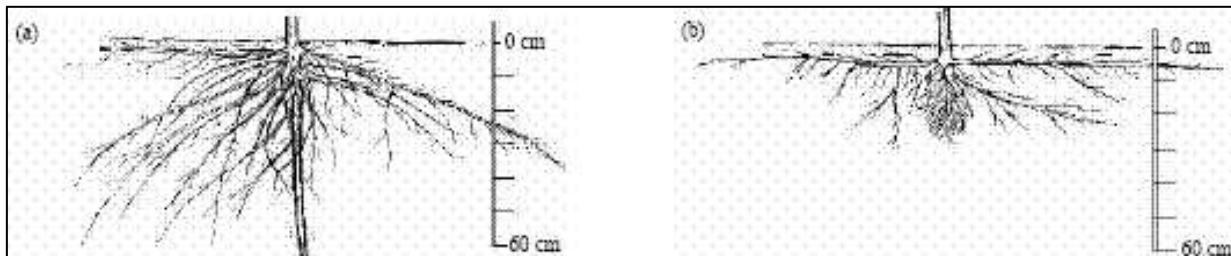
A profundidade efetiva do solo refere-se à profundidade máxima na qual as raízes penetram no solo em número razoável, sem impedimento de qualquer natureza, proporcionando às plantas suporte físico e meio para absorção de água e nutriente, além de ar. Nem sempre a profundidade efetiva se limita à profundidade do solo (A + B), podendo ultrapassá-lo, principalmente quando o material de origem dos solos é mais facilmente intemperizável e/ou muito fraturado (basalto, arenito etc.). São exemplos de impedimentos, a presença de lençol freático, substrato rochoso, camadas compactadas, pedregosidade, fragipans e outras (FLORES et al., 2009).

Conforme Spera et al. (2002) e EMBRAPA (1999) a profundidade efetiva do solo pode ser classificada como solos rasos (menor ou igual a 50 cm), pouco profundo (>50 cm e menor ou igual a 100 cm), profundo (>100 e menor ou igual a 200 cm) e muito profundo (>200 cm).

Spera et al. (2002) ainda afirmam que em solos rasos as plantas, normalmente, apresentam dificuldade em expandir o sistema radicular, o que as deixa vulneráveis a situações em que há deficiência hídrica. Essa propriedade além de verificar o grau de deficiência hídrica, pode demonstrar a fertilidade do solo e sua suscetibilidade a erosão.

Silva et al. (2017) complementam que a profundidade efetiva do solo se trata da profundidade máxima na qual não existem impedimentos físicos e químicos restritivos para as raízes crescerem. Um exemplo pode ser observado em dois tipos de solos com plantio de eucalipto mostrados na **Figura 4**.

Figura 4: Efeito da profundidade de preparo do solo na distribuição radicular do eucalipto. (a) preparo a 0.40 m de profundidade. (b) preparo a 0.20 m de profundidade.



Fonte: Bentivenha et al. (2003)

Bentivenha et al. (2003) estudando o efeito de duas profundidades de preparo de solo em solo arenoso – Neossolo Quartzarenico (RQ) e textura média – Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), em plantios de eucalipto (**Figura 4**), observou diferenças quanto ao volume de solo preparado com os dados de altura (H) e diâmetro de colo (DC) dos plantios. No solo com maior teor de argila observou-se menor mobilização de solo, em parte devido também a maior quantidade de resíduo. Na comparação entre as profundidades de preparo do solo – 0,20 e 0,40 m, só foram verificadas diferenças no RQ – DC 29% e H 30% de aumento, na profundidade de 0,40 m aos 6 meses. A explicação para não ter havido diferenças no crescimento no LVA se deve a maior capacidade de retenção de água, disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica, dentre outros, o que compensaram o menor volume de solo preparado. Neste mesmo trabalho, os autores acompanharam ainda a forma e o crescimento do sistema radicular das plantas e no preparo a 0,20 metros foi observado tortuosidade, mudança na direção e redução do crescimento radicular (SIXEL, 2009).

Em relação a profundidade efetiva do solo (PES) Miotti et al. (2013) afirmam que ela pode influenciar no desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, na absorção de água e nutrientes e, ainda, no potencial produtivo do solo.

A profundidade efetiva do solo trata-se de um indicador importante para caracterizar a fragilização de áreas de manejo agrossilvipastoril, uma vez que sua menor ou maior espessura pode ser um fator limitante ao crescimento e desenvolvimento radicular dos cultivos imprimidos no manejo.

3.2.3. Variáveis associadas a erodibilidade e ao manejo do solo no meio Antrópico

3.2.3.1 Área de Manejo Agrossilvipastoril [AMA]

A condição apresentada pela área de manejo agrossilvipastoril pode demonstrar a fragilização ambiental de áreas cultivadas e sobre isso Miqueloni, Gianello e Bueno (2015) afirmam que se tratam de áreas passíveis de receber práticas agronômicas em virtude do potencial de resposta e da dependência com relação aos riscos e limitações do uso agrícola. São áreas voltadas a produtividade, sendo necessário adequar o manejo às especificidades ambientais da área, considerando as características a partir da variabilidade espacial dos atributos do solo.

Em relação a utilização de áreas para as práticas de manejo, Alves et al. (2016) afirmam que as atividades de agricultura e pecuária em larga escala tem resultado na redução das áreas de vegetação nativa, sobretudo nas margens dos rios.

Almeida et al. (2016) confirma isso ao dizer que no Brasil, a área de cultivo de pastagem ocupa cerca de 173 milhões de hectares, em que 117 milhões de hectares são de pastagens plantadas e dentro dessa área, 70% possuem algum tipo de degradação em estágio avançado, complementa que o processo erosivo é afetado por muitos fatores, que entre os mais influentes estão a cobertura do solo e as práticas de manejo adotadas, que na maioria das vezes não são conservacionistas.

Paes et al. (2013) alega que das áreas de manejo, a pastagem não é que mais contribui para a degradação dos ambientes, entretanto as práticas silviculturais realizadas durante o ciclo de produção de madeira, de todo tipo de colheita florestal, é considerada a operação mais impactante em termos de prejuízos aos talhões, se agravando pelas rotações de culturas mais curtas e exportação de nutrientes, levando à remoção de nutrientes resultante do processo de exploração florestal, causando balanço nutricional negativo do sistema solo-planta e reduzindo o potencial produtivo da área de manejo.

As atividades de manejo interferem e atuam para a degradação e fragilização dos solos, entretanto algumas delas evidenciam o problema, com relação a esse

assunto Portugal et al. (2006) afirmam que o sistema de manejo convencional de preparo do solo proporciona o aumento do volume de poros, atuando para a melhoria da permeabilidade do solo e armazenamento de ar dentro da camada preparada, todavia, na camada seguinte, o comportamento é o inverso da superfície.

Assim, a degradação resultante das práticas de manejo, principalmente as convencionais, muito utilizadas no Brasil, melhora a camada superficial e degrada a próxima camada, além de expor o solo entre as rotações de culturas, trata-se de uma prática de manejo adotada em bacias hidrográficas muito comum, entretanto não é considerada a mais adequada.

Nesse sentido, é possível notar a necessidade da utilização de técnicas voltadas ao manejo conservacionista, com o intuito de atenuar a fragilização inevitável oriunda das práticas de manejo agrossilvipastoril, isso a partir da conservação da produtividade do solo e dos cultivos e redução dos processos erosivos superficiais.

Com relação as práticas de manejo conservacionistas, Paes et al. (2013) dizem que a técnica de cultivo mínimo pode contribuir para o aumento da produtividade, uma vez que nesse tipo de preparo do solo a maioria dos resíduos culturais são mantidos sobre sua superfície. Algumas vantagens dessa prática estão relacionadas a manutenção prolongada do resíduo orgânico na superfície do solo, que protege o solo do impacto direto das gotas de chuva e atenua a velocidade da água superficial, atuando para a conservação da umidade do solo na região da superfície e melhoraria das condições da micro e mesofauna, e ainda contribui positivamente para a fertilidade e conservação das propriedades físicas do solo.

Além das práticas citadas, o sistema de plantio direto (SPD) é outro exemplo de prática de manejo conservacionista, que conforme Tiecher et al. (2014) configura-se como uma maiores evoluções da agricultura brasileira desde a Revolução Verde, uma vez que trata-se de uma prática que pode reduzir ou eliminar o revolvimento do solo, a partir da cobertura permanente com resíduos vegetais ou plantas vivas pelo maior tempo possível, além da diversificação de culturas, mediante o cultivo de múltiplas espécies, em rotação, sucessão e, ou, em consorciação de culturas e utilização de práticas mecânicas de conservação do solo. O SPD se configura como um sistema de manejo sustentável e altamente produtivo, que atua para a melhoria da estrutura, agregação e porosidade do solo, além de maximizar a ciclagem de

nutrientes e estimular a atividade biológica, protegendo o solo contra os processos erosivos em bacias hidrográficas.

Oliveira et al. (2015) dizem que no Brasil se encontram áreas manejadas comumente sob sistema convencional, plantio direto, cultivo mínimo e sistema de pastagem, assim, a utilização de diferentes sistemas de manejo pode alterar, principalmente, a estrutura do solo.

3.2.3.2 Área de Solo Exposto [ASE]

Outro problema recorrente para degradação ambiental e fragilidade de áreas é a exposição dos solos às intempéries ambientais. Pinto et al. (2014) declaram que erosão é um problema ambiental crítico para os ecossistemas terrestres em todo o mundo e a presença de vegetação possui relação com o processo de erosão, atenuando a ação das chuvas que provocam a erosão acelerada do solo, todavia a remoção da vegetação pode acelerar esses processos. Fonsêca et al. (2017) complementam que as áreas de maior instabilidade morfodinâmica e mais propensas à degradação, são as que apresentam solo exposto, seja pelo abandono ou pela abertura de novas áreas.

Em áreas de solo exposto Freitas (2018) reitera que ocorre o aumento da densidade do solo pela compactação da superfície, resultando no aumento da quantidade de matéria orgânica junto aos sedimentos carregados para a zona mais baixa da bacia hidrográfica. Nesse sentido, em áreas de solo exposto a matéria orgânica entra no sistema solo ao mesmo tempo que a densidade aumenta, corroborando uma correlação negativa entre porosidade total e matéria orgânica do solo.

Sendo assim, Cunha e Bacani (2016) afirmam que a classe de uso da terra com maior grau de fragilidade é a de solo exposto, uma vez que a sua principal característica é a falta de cobertura vegetal, o que torna o solo totalmente vulnerável às ações das chuvas, podendo resultar em processos erosivos acelerados. O Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2007) afirma que essas localidades devem ser tratadas como áreas de extrema prioridade de conservação.

3.2.3.3 Pressão Antrópica no Manejo do Solo [PAMS]

A pressão antrópica no manejo do solo configura-se como o principal agente de fragilização ambiental de áreas agrícolas, sobre isso Oliveira et al. (2017) destacam que o aumento da densidade e da resistência à penetração das raízes no solo é frequentemente presente em áreas agrícolas que utilizam de maquinários e implementos pesados ou, ainda, em áreas de pisoteio intenso de animais, que resulta em restrição ao desenvolvimento das raízes das plantas.

De acordo com o Ministério do Desenvolvimento Agrário (2010), dentre os diversos impactos causados pela agricultura e pecuária pode-se citar: desmatamento de áreas nativas e queimadas, erosão dos solos, assoreamento dos cursos d'água, desequilíbrio ecológico poluição das águas e dos solos e compactação dos solos (AMORIM et al., 2017).

Silva (2016) corrobora ser a pressão antrópica no manejo do solo um dos grandes desafios da agricultura em relação a manutenção da alta produtividade vegetal e animal sem degradar os solos e o meio ambiente. E na agropecuária brasileira, em que predomina um sistema de produção extrativista que preza pela extração sem reposição e manutenção das características do solo, as práticas agropecuárias não conservacionistas, com o pastoreio intensivo, tráfego de máquinas, intenso revolvimento do solo, arações, gradagens e solo desprotegido, tornam-se os principais responsáveis pela degradação dos solos e fragilização ambiental de áreas de manejo agrossilvipastoris.

Silva (2016) complementa que a médio e longo prazo solos agrícolas tendem a diminuir a capacidade produtiva aumentando os custos de produção, além de gerar pressão sobre áreas de matas, diminuindo a capacidade de armazenamento de água e reabastecimento do lençol freático, interferindo negativamente na bacia hidrográfica como um todo.

Nesse sentido Silva et al. (2019) afirma que a análise do uso e cobertura da terra em uma área trata-se do primeiro passo para orientar uma gestão eficaz em relação ao desenvolvimento de práticas de conservação em conjunção com o manejo agrossilvipastoril, aliando o desenvolvimento econômico e produtivo, mas considerando os impactos ao meio ambiente e ao recurso natural solo.

A negligência com relação ao uso da capacidade da terra é a razão pela qual propriedades rurais tendem a ocupar solos pobres e propensos à erosão, em que os objetivos de produtividade são alcançados com utilização excessiva de insumos agrícolas, com a aplicação de fertilizantes facilmente lixiviáveis, podendo comprometer a qualidade dos recursos hídricos (SILVA et al., 2019).

Nesse contexto, a pressão antrópica no manejo do solo, quanto maior ela for gera degradação e, conseqüente, fragilização ambiental, corriqueiramente presente nos usos da terra voltado aos manejos agrossilvipastoris em bacias hidrográficas e propriedades rurais.

Em virtude desses problemas, percebe-se a importância de criar indicadores e índices com capacidade de quantificar e auxiliar na determinação da intensidade da pressão antrópica no manejo do solo e sua influência no processo de fragilização ambiental de bacias hidrográficas e propriedades rurais.

3.2.3.3.1 Método “Ad Hoc”

O método espontâneo ou “Ad Hoc” segundo Moraes e Aquino (2016) utiliza o conhecimento empírico dos profissionais envolvidos sobre o tema que se deseja analisar. O mais conhecido é o método Delphi ou Delfos, que tem por base uma pesquisa qualitativa constituída de perguntas e questionamentos voltados a uma equipe multidisciplinar que irá descrever suas impressões sobre determinado projeto em um relatório descritivo.

Lourenço (2011) afirma que o método de Delphi pode ser utilizado para auxílio na resolução de problemas complexos cuja literatura é escassa, uma vez que o método permite explorar o conhecimento dos especialistas da área, sem formalização via documentos.

De acordo com Turmina et al. (2018) um ponto positivo desse método constitui-se no envolvimento direto dos interessados, uma vez que especialistas de diversas áreas realizam debates por meio da prática de reuniões.

Diante da dificuldade de analisar uma variável analógica como a pressão antrópica no manejo do solo, vislumbrou-se na utilização do método “Ad Hoc” uma possibilidade de estabelecer os critérios para essa avaliação.

3.2.3.3.2 Teoria da Similaridade

A Similaridade conforme Angeles (2003) permite prever o comportamento de um fenômeno real (protótipo) através da observação de um Modelo similar que pode partir de um experimento físico, matemático, numérico, entre outros.

Os maiores benefícios do uso de modelos como afirma Szirtes (1997) ocorre em casos em que a expressão analítica das características das variáveis procuradas está indisponível ou são imprecisas. Nesse sentido, a modelagem é garantida quando se deseja obter dados experimentais válidos para o protótipo ou prever o comportamento de um sistema físico. Szirtes (1997) complementa que em termos gerais, o protótipo e seu modelo são geometricamente semelhantes, ou seja, são homólogos (correspondentes), são similares.

A similaridade se relaciona com a analogia, Szucs (1980) coloca que a analogia busca abranger vários fenômenos, entretanto irá selecionar os fenômenos que irão permitir a medição mais precisa e mais conveniente do objeto de estudo, de maneira que o modelo seja similar com a realidade.

Em virtude da pressão antrópica no manejo do solo ser uma variável analógica, buscou-se prever o seu comportamento com auxílio da similaridade do modelo com a realidade a partir de um valor dimensional analógico desse indicador.

3.3 Análise Dimensional

O método de análise dimensional consiste numa importante ferramenta de estudo para as diversas áreas do conhecimento e gera índices adimensionais (Π -termos) que podem ser aplicados na explicação de problemas complexo.

Trancanelli (2016) afirma que a aplicação do método de análise dimensional gera índices a partir do emprego de dimensões primitivas ou derivadas para a resolução de problemas.

Assim, Pacífico (2017) complementa que toda grandeza física contém uma informação qualitativa (unidade de medida) e uma quantitativa (valor numérico), com isso, a informação qualitativa possui grandeza primaria ao ser expressa em unidades de medidas fundamentais (metro, quilograma e segundo no Sistema

Internacional); ou secundária quando é expressa em unidades de medidas derivadas (combinadas) das fundamentais (m/s, kg/m³, Pa, etc. no Sistema Internacional)

Conforme Fengler (2018) e Freitas et al. (2015) os grupos adimensionais constituem uma ferramenta de uso simplificado, entretanto são fundamentais em sua praticidade, possibilitando conhecer as propriedades fundamentais de uma análise antes mesmo de realizar experiências.

Os índices adimensionais, como citam os autores, são obtidos por princípios baseados no Teorema Π de Vaschy Buckingham que são relacionando de forma adimensional (com nulidade dos termos) as propriedades intrínsecas do objeto de estudo, organizando indicadores dependentes em termos independentes (índices). Assim, pode ser possível estabelecer diversos parâmetros para as diversas áreas, obtendo constantes importantes, que são frequentemente empregadas de modo conceitual.

Albiero (2006) e Maciel (1993) esclarecem que a análise dimensional tem a função de imprimir a dedução lógica dos grupos de variáveis envolvidas em um processo, com aplicação de conhecimentos básicos de álgebra linear em espaços e subespaços lineares independentes, em que as dimensões se encontram coerentes dimensionalmente. O método, ainda, se aplica em variáveis físicas de um fenômeno relativamente conhecido, embora o modelo seja desconhecido, o que possibilita a obtenção de modelos altamente precisos e significativos para o objeto estudado, levando sempre em consideração as condições do meio em que está inserido, ou seja, descrevendo o objeto a que o modelo se restringe.

Buzzi (2010) alega que uma vantagem da análise dimensional é que ela permite uma experimentação inteligente, carecendo de um o número de testes reduzidos na caracterização de um fenômeno físico. Esta possibilidade ocorre através do uso de parâmetros adimensionais, obtidos a partir do teorema Π de Buckingham, o qual define que uma primeira Equação envolvendo N parâmetros independentes e dimensões P , pode ser reduzida a uma Equação adimensional envolvendo apenas $N-P$ parâmetros adimensionais. Os produtos adimensionais homogêneos resultantes desse teorema de acordo com Carricoba et al. (2011) são representados pela letra grega Π (Π) e por este motivo os índices adimensionais resultantes são denominados de Π -termos.

Os princípios básicos da análise dimensional são dois, as equações devem ser dimensionalmente homogêneas, isto é, todos os termos da Equação devem ter as mesmas unidades e, além disso, a razão entre duas grandezas deve ser independente das unidades em que são medidas, ou seja, ambas devem ter a mesma unidade (MOTTA, 1972; CURTIS et al., 1982; ALBIERO, 2006; TRANCANELLI, 2016).

Sabe-se que o método de análise dimensional é muito aplicado na mecânica de fluídos e hidrodinâmica, originalmente aplicada, entretanto, dentro da problemática de desenvolver novas metodologias que auxiliem na gestão ambiental de bacias hidrográficas, verificou-se a potencialidade que o método possui de criar índices que possam auxiliar na determinação da fragilização ambiental de bacias hidrográficas constituídas de áreas de manejo agrossilvipastoris.

3.4 Estatística de Quartis

Martins (2014) explica que o método estatístico dos quartis se refere as medidas de localização que dividem a amostra de dados quantitativos ordenados em quatro partes, cada uma com uma porcentagem de dados aproximadamente igual. Assim, o 1º quartil (inferior) representado por Q1 (ou Q_{0,25}) e o 3º quartil (superior) representado por Q3 (ou Q_{0,75}), são pontos na distribuição dos dados que representam aproximadamente 25% dos dados inferiores ou iguais a Q1 e aproximadamente 25% dos dados superiores ou iguais a Q3 e os demais dados aproximadamente 50%, situando-se entre Q1 e Q3.

Os valores máximos e mínimos e os quartis (Q1, Q3, Q2) como expõe o professor Davila, podem ser consideradas medidas importantes na análise do comportamento dos dados, que pode ser simétrica ou assimétrica e, assim possibilitar a construção de box-plots (diagramas em caixa).

Trata-se de um método que pode ser interessante para a simulação de dados relacionados com indicadores ambientais.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Seleção dos Indicadores de Fragilização Ambiental

Para o estudo da fragilização ambiental de áreas de manejo agrossilvipastoris optou-se por utilizar algumas variáveis indicadoras relacionadas com o manejo do solo. A seleção desses indicadores adveio da capacidade que o uso da terra possui de gerar impactos de baixa, média e alta magnitudes relacionadas com as práticas de manejo adotadas em solos agrícolas.

Essas práticas de manejo estão relacionadas com os cultivos, insumos e técnicas empregadas na produção agrícola que podem contribuir para a fragilização de ambientes, principalmente do recurso natural do solo.

Essas preocupações foram elementares para a seleção das variáveis indicadoras para o estudo, em virtude da capacidade que possuem de responder pela fragilização ambiental de áreas de manejo agrossilvipastoris em diversos níveis.

Nesse sentido, foram consideradas as interferências promovidas pelos usos da terra associados, principalmente, aos manejos de agricultura, silvicultura e pastagens, regularmente utilizados em atividades agrícolas no Brasil.

Além disso, é importante salientar que a condição da fragilização pode ser potencializada pela suscetibilidade geográfica do ambiente, que pode ser evidenciada pela má utilização de técnicas, insumos e cultivos agrícolas.

Devido a importância e na necessidade de estudos que auxiliem na determinação da fragilização ambiental em áreas de manejo agrossilvipastoris, foram selecionadas nove variáveis indicadoras de fragilização ambiental relacionadas com o manejo do solo conforme os diagnósticos ambientais do meio físico, biótico e antrópico.

Deste modo, relativo ao meio físico foram utilizadas as variáveis de Resistência Mecânica à Penetração do Solo (Pa), Diâmetro Médio Geométrico (m) e o Coeficiente de Permeabilidade (m/s). No meio biótico foram Cobertura Natural (m²), Matéria Orgânica no Solo (kg/m³), Profundidade Efetiva do Solo (m). Por fim, no meio antrópico foram selecionadas as variáveis de Área de Manejo Agrossilvipastoril (m²), Área de Solo Exposto (m²) e Pressão Antrópica no Manejo do Solo (PAMS).

Esse conjunto de variáveis indicadoras foram associadas pelo método de análise dimensional semelhante a aplicação realizada por Fengler (2018).

A intenção foi utilizar esses indicadores a fim de gerar índices com capacidade de auxiliar no estudo da fragilização de áreas de manejo agrossilvipastoril. Nesse sentido, o método de análise dimensional que dispõe de potencial para a criação de índices adimensionais, foi empregado.

4.2 Aplicação da Análise Dimensional nos indicadores ambientais

O método de análise dimensional, semelhante a Fengler (2018), foi aplicado no conjunto de indicadores de fragilização ambiental apresentados no tópico anterior.

O primeiro passo foi gerar uma matriz que representasse a unidade dimensional de cada variável, sendo imprescindível transformar as unidades básicas das variáveis conforme o Sistema internacional de Unidades Físicas (**Tabela 1**).

Tabela 1: Sistema Internacional de Unidades Físicas e suas respectivas dimensões primitivas (MLT).

Sistema Internacional de Unidades Físicas (SI)		
Grandeza	Unidade	Símbolo
Comprimento	Metro	m
Massa	Quilograma	kg
Tempo	Segundo	s

Fonte: Elaboração própria

Essas unidades iniciais foram decompostas de acordo com o sistema de dimensões primitivas, sendo, a massa (M), o comprimento (L) e o tempo (T), reunindo as variáveis de manejo do solo de acordo com o diagnóstico ambiental (meio físico, biótico e antrópico). As dimensões iniciais foram convertidas para o Sistema Internacional (SI), como apresenta a **Tabela 2**.

Tabela 2: Variáveis indicadoras de fragilização ambiental, unidades iniciais e conversão para o Sistema Internacional.

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	SIGLA	VARIÁVEIS INDICADORAS	DIMENSÃO INICIAL	CONVERSÃO (SI)	M	L	T
MEIO FÍSICO	RMPS	Resistência Mecânica à Penetração do Solo	Pa	N/m ²	1	-1	-2
	DMG	Diâmetro Médio Geométrico	mm	m	0	1	0
	K	Coefficiente de Permeabilidade	cm/s	m/s	0	1	-1
MEIO BIÓTICO	CN	Cobertura Natural	m ²	m ²	0	2	0
	MOS	Matéria Orgânica do Solo	g/dm ³	kg/m ³	1	-3	0
	PES	Profundidade Efetiva do Solo	m	m	0	1	0
MEIO ANTRÓPICO	AMA	Área de Manejo Agrossilvipastoril	m ²	m ²	0	2	0
	ASE	Área de Solo Exposto	m ²	m ²	0	2	0
	PAMS	Pressão Antrópica no Manejo do Solo	Pa	N/m ²	1	-1	-2

Obs: N/m² = kg (m/s²) / m². Fonte: Elaboração própria

A matriz dimensional foi organizada em função das suas respectivas dimensões primitivas (MLT) e os produtos adimensionais (Π -termos) foram calculados conforme Legendre & Legendre (2012) e Fengler (2018).

Foi necessário transpor a matriz em linhas conforme as dimensões MLT para cada coluna de variável indicadora de fragilização ambiental relacionada ao manejo de solos agrossilvipastoris, organizando-se em uma matriz dimensional (**Equação 1**).

$$\begin{matrix} M \\ L \\ T \end{matrix} \begin{matrix} V_1 & V_2 & V_3 & \dots & V_n \\ \left[\begin{matrix} m_{1,1} & m_{1,2} & m_{1,3} & \dots & m_{1,n} \\ l_{1,1} & l_{1,2} & l_{1,3} & \dots & l_{1,n} \\ t_{1,1} & t_{1,2} & t_{1,3} & \dots & t_{1,n} \end{matrix} \right] \end{matrix} \quad (1)$$

Onde:

M , L e T representam as dimensões de massa, comprimento e tempo de cada variável, respectivamente;

V_1 , V_2 , V_3 , ..., V_n representam as variáveis de manejo do solo selecionadas para a avaliação da fragilidade ambiental;

$m_{1,1}; m_{1,2}; m_{1,3}, \dots, m_{1,n}$ representam os expoentes das dimensões da massa das variáveis de manejo do solo V1, V2, V3,... Vn, respectivamente;

$l_{1,1}; l_{1,2}; l_{1,3}, \dots, l_{1,n}$ representam o expoente da dimensão de comprimento das variáveis de manejo do solo V1, V2, V3,... Vn, respectivamente;

$t_{1,1}; t_{1,2}; t_{1,3}, \dots, t_{1,n}$ representam o expoente da dimensão de tempo das variáveis de manejo do solo V1, V2, V3,... Vn, respectivamente.

Os parâmetros adimensionais (Π -termos) foram obtidos com a aplicação do Teorema Π de Buckingham.

4.2.1 Aplicação do Teorema dos Π -termos de Vaschy Buckingham nos indicadores de fragilização ambiental

A aplicação do Teorema dos Π -termos de Vaschy Buckingham nos indicadores de fragilização ambiental (**Tabela 2**) foi necessária para estabelecer a quantidade de índices adimensionais (Π -termos).

Assim, para determinar a quantidade de Π -termos foi realizada a subtração do número de dimensões primitivas (MLT) do conjunto de indicadores utilizados (9), como mostra a **Equação 2**.

$$A = n - r \quad (2)$$

Onde,

A = número de Π -termos resultantes;

n = número de variáveis indicadoras de manejo do solo;

r = número de dimensões primitivas (MLT).

Os Π -termos oriundos da **Equação 2** foram organizados conforme a Equação 3, em uma função que deve ser igual a zero para confirmar a adimensionalidade dos Π -termos.

$$f(\Pi 1, \Pi 2, \Pi 3, \Pi 4, \Pi 5, \Pi 6) = 0 \quad (3)$$

Assim, os expoentes $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ das variáveis de cada índice, foram determinados de modo que o produto (Π -termo) fosse um número adimensional (**Equação 4**).

$$\Pi = V_1^{x_1} * V_2^{x_2} * V_3^{x_3} * \dots * V_n^{x_n} \quad (4)$$

Onde,

Π representa a função adimensional que descreve a fragilidade ambiental de áreas de manejo agrossilvipastoril;

$V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ são, respectivamente, as variáveis de manejo do solo que recebem a mesma dimensão de Π ;

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ representam os expoentes das variáveis de manejo do solo;

A solução para os expoentes $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ das variáveis, resultou da decomposição das dimensões primitivas (**Equação 5**), se repetindo para cada Π -termo resultante.

$$\Pi = [M^a L^b T^c]^x * [M^d L^e T^f]^{x_2} * [M^g L^h T^i]^{x_3} * \dots * [M^w L^y T^z]^{x_n} \quad (5)$$

Ao desenvolver essa potenciação, vem a **Equação 6**.

$$\Pi = [M^{(ax_1+dx_2+gx_3+\dots+wx_n)} L^{(bx_1+ex_2+hx_3+\dots+yx_n)} T^{(cx_1+fx_2+ix_3+\dots+zx_n)}] \quad (6)$$

Como os produtos de Π são adimensionais, os expoentes de cada dimensão (M, L, T) devem ser iguais a zero, resultando em um sistema de equações semelhante a **Equação 7**.

$$\begin{aligned} ax_1 + dx_2 + gx_3 + \dots + wx_n &= 0 \\ bx_1 + ex_2 + hx_3 + \dots + yx_n &= 0 \\ cx_1 + fx_2 + ix_3 + \dots + zx_n &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Os resultados da Equação 7 foram representados em uma matriz, conforme o modelo na **Equação 8**.

$$\begin{bmatrix} a_1 & d_2 & g_3 & \dots & w_n \\ b_1 & e_2 & h_3 & \dots & y_n \\ c_1 & f_2 & i_3 & \dots & z_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = 0 \quad (8)$$

Para encontrar os Π -termos foi necessário selecionar um subespaço entre as variáveis, ou seja, uma parte do conjunto de indicadores que se relacionasse com os demais.

A escolha dessas variáveis indicadoras para compor o subespaço constitui-se em uma fase crucial para as relações que serão estabelecidas nos produtos adimensionais, uma vez que este subgrupo se associará as demais variáveis envolvidas na geração dos Π -termos.

A escolha das variáveis para compor o subespaço normalmente é opcional, porém deve ser criteriosa com relação a dimensão das variáveis e respeitar a condição do determinante ter resultado diferente de zero.

Assim, para compor o subespaço desta análise foram utilizadas três variáveis indicadoras de fragilização ambiental do grupo de indicadores selecionados. Elas foram consideradas conforme o diagnóstico ambiental do meio físico, biótico e antrópico, respectivamente, de modo que as variáveis possuíssem três dimensões, duas dimensões e uma dimensão, respectivamente. O subespaço selecionado se apresenta na **Tabela 3**.

Tabela 3: Subespaço selecionado para a análise da fragilidade ambiental de áreas de manejos agrossilvipastoril, considerando o diagnóstico ambiental relativo ao meio físico, biótico e antrópico, respectivamente.

DIMENSÃO	RMPS (Pa)	MOS (kg/m ³)	AMA (m ²)
M	1	1	0
L	-1	-3	2
T	-2	0	0

Fonte: Elaboração própria

Legenda: Matéria Orgânica do Solo (MOS), Resistência Mecânica à Penetração do Solo (RMPS) e Área de Manejo Agrossilvipastoril (AMA).

O subespaço que deve resultar em um determinante diferente de zero (0), nesta análise foi igual a quatro (4) e pôde ser utilizado. Assim, o subespaço (y) foi invertido e multiplicando com a matriz dimensional excedente (z) que deu origem à matriz solução (X). Esse processo descrito pode ser formulado conforme a **Equação 9**.

$$X = y^{-1} \times (-1 \times z) \quad (9)$$

O processo estabelecido pela **Equação 9** teve como resultado os produtos adimensionais (Π -termos), que foram determinados a partir da combinação da matriz identidade de z com a matriz solução (X) transposta, o resultado desses procedimentos se apresenta na **Tabela 4**.

Tabela 4: Matriz solução com o resultado nos Π -termos (índices adimensionais) a partir do subespaço selecionado (**Tabela 5**).

Π -termos	DMG (m)	CN (m ²)	PES (m)	ASE (m ²)	k (m/s)	PAMS (Pa)	MOS (kg/m ³)	RMPS (Pa)	AMA (m ²)
Π_1	1	0	0	0	0	0	0	0	-0,5
Π_2	0	1	0	0	0	0	0	0	-1,0
Π_3	0	0	1	0	0	0	0	0	-0,5
Π_4	0	0	0	1	0	0	0	0	-1,0
Π_5	0	0	0	0	1	0	0,5	-0,5	0
Π_6	0	0	0	0	0	1	0	-1,0	0

Fonte: Elaboração própria

Legenda: Resistência Mecânica à Penetração do Solo (RMPS), Diâmetro Médio Geométrico (DMG), Coeficiente de Permeabilidade (k), Cobertura Natural (CN), Matéria Orgânica do Solo (MOS), Profundidade Efetiva do Solo (PES), Área de Manejo agrossilvipastoril (AMA), Área de Solo Exposto (ASE) e Pressão Antrópica no Manejo do Solo (PAMS).

Fengler (2018) descreve que o número de produtos adimensionais (Π -termos) é equivalente à dimensão da matriz identidade utilizada para a resolução do sistema de equações. Deste modo, cada Π -termo (índice adimensional) se apresenta de modo independente dos demais, constituindo-se como parâmetros ímpares.

Essas considerações mostram que pode ser possível avaliar as formas gerais das equações, considerando sua organização em índices adimensionais independentes (**Tabela 4**), assim, cada produto adimensional (Π -termo) possui sua particularidade.

4.3 Definição da Nomenclatura dos Π -termos resultantes da análise dimensiona

Os Π -termos resultantes da aplicação do método de análise dimensional foram nomeados conforme suas peculiaridades, considerando que isso pode facilitar o entendimento sobre a utilização dos índices pelos gestores interessados em sua utilização.

4.4 Aplicabilidade e sensibilidade dos Π -termos estabelecidos pelo método da análise dimensional

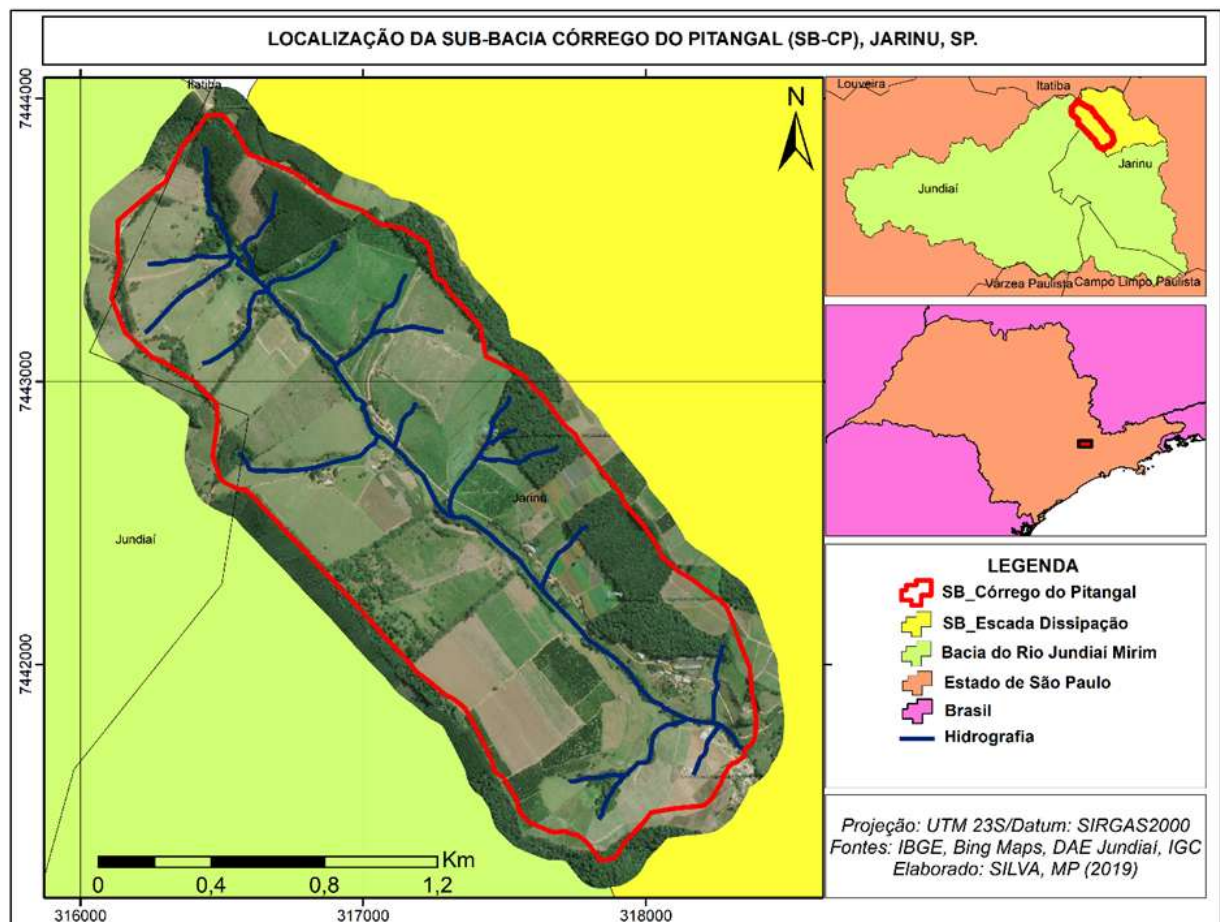
Para analisar a aplicabilidade e sensibilidade dos Π -termos, eles foram separados em dois conjuntos. O primeiro conjunto foi composto por índices relacionais de áreas de manejo e o segundo conjunto foi associado com a fragilização promovida pelo manejo dentro das atividades agrossilvipastoris.

4.4.1 Aplicabilidade e sensibilidade dos Π -termos relacionais de áreas de manejo

O Primeiro conjunto de Π -termos, os relacionais de áreas de manejo compostos pelos indicadores ambientais de cobertura natural (CN), área de solo exposto (ASE) e área de manejo agrossilvipastoril (AMA) foram aplicados experimentalmente com auxílio da ferramenta de Sistema de Informação Geográfica (SIG) na área da Bacia Hidrográfica Córrego do Pitangal (BH-CP).

A Bacia é composta por 261 hectares e está localizada entre os limites municipais de Jundiaí e Jarinu, constituindo-se Sub-Bacia hidrográfica do Rio Jundiaí Mirim no estado de São Paulo (**Figura 5**).

Figura 5: Localização da Bacia Hidrográfica Córrego do Pitangal (BH-CP) utilizada para a experimentação dos Π -termos relacionais de áreas de manejo.



Fonte: Elaboração própria

A área da BH-CP (**Figura 5**) é composta, sobretudo, por atividades relacionadas com os manejos agrossilvipastoris, que é uma condição necessária para testar os índices relacionais de áreas de manejo.

Prado (2005) caracteriza o clima da região de acordo com a classificação de Köppen como mesotérmico brando super-úmido influenciado pela orografia.

As temperaturas anuais são amenas, com médias entre 18°C a 20°C, todavia as máximas entre 34°C a 36°C e mínimas entre 6°C e 10°C.

A precipitação supera 1.300 milímetros anuais com variação de altitude entre 830 a 920 metros na escala de 1:10.000 do Instituto Geográfico e Cartográfico de São Paulo (IGC).

Conforme o IBGE (1977) a vegetação original compõe-se de Floresta Subcaducifólia Tropical, também conhecida como "Floresta Latifoliada Tropical", "Floresta Estacional Tropical Pluvial" e/ou ainda Mata Mesófila.

Os solos da BH-CP são majoritariamente de Cambissolo distrófico A moderado de textura média ou argilosa, seguido de latossolo Vermelho Amarelo distrófico mais ao centro e, em menor quantidade de neossolo litólico distrófico, localizado a montante da bacia hidrográfica, esses dados foram extraídos do mapa de solos confeccionado pelo Diagnóstico Agroambiental (DAE) Jundiaí, na escala de 1:100.000.

A aplicação experimental dos índices relacionais de áreas de manejo por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG), consistiu na elaboração de um mapa temático de uso e cobertura da terra para a área de estudo, formulado a partir de um mosaico utilizando imagens de alta resolução selecionadas da plataforma Bing Maps (1:5.000) com referência temporal no ano de 2019.

O método utilizado para esse mapeamento foi a classificação supervisionada pelo algoritmo vizinho mais próximo que foi elaborado no software de Sistema de Informação Geográfica no programa ArcGIS 10.2.1 e confeccionado na unidade dimensional de área em metros - quadrados [m²].

4.4.2 Aplicabilidade e sensibilidade dos Π -termos relativos a fragilidade promovida por manejos agrossilvipastoris

O segundo grupo de Π -termos, os relacionado com a fragilidade promovida por manejos agrossilvipastoris foram avaliados por análise descritiva e explicativa, considerando a aplicabilidade e sensibilidade conforme os resultados.

Deste modo, a aplicabilidade foi descrita visando identificar os fatores determinantes ou que podem contribuir para a ocorrência dos fenômenos (GIL, 2002).

Para identificar a sensibilidade desse grupo de Π -termos foram analisados os indicadores que os compõe, a saber: diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do solo, resistência mecânica à penetração do solo (RMPS), coeficiente de permeabilidade (k), matéria orgânica no solo (MOS), profundidade efetiva do solo (PES) e Pressão Antrópica no Manejo do Solo (PAMS).

A construção dos vetores de simulação deste grupo de Π -termos foi elaborada a partir dos valores extremos (mínimos e máximos) extraídos da literatura para cada indicador que compõe os Π -termos.

A partir dos valores extremos a sensibilidade desses Π -termos foi avaliada considerando a criação de quartis a partir dos valores extremos (mínimos e máximos) extraídos da literatura.

Assim, a escala de análise considerada para cada um dos indicadores que compõe esse grupo de Π -termos foi, portanto: valor mínimo ($V_{\min}$), primeiro quartil (Q_1), quartil médio ou mediana (Q_2), terceiro quartil (Q_3) e valor máximo ($V_{\max}$).

4.4.2.1 Valores extremos para o indicador diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do solo

Os valores extremos, mínimo e máximo, para o indicador diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do solo foram extraídos dos estudos de Reinert e Reichert (2006), Baumgärtner (2016), Freitas (2017) e Cunha Neto et al. (2018).

Esses valores foram obtidos da literatura na unidade dimensional de milímetros (mm) e assim foram considerados nesta análise. Os valores extremos do DMG foram, portanto, mínimo de 1 mm e máximo de 5 mm.

A determinação dos quartis foi elaborada com base nos valores extremos, com incremento de variação entre eles de 0,1 mm, que capacitou a avaliação do indicador DMG na simulação.

4.4.2.2 Valores extremos para o indicador Profundidade Efetiva do Solo (PES)

Para a avaliação do indicador Profundidade Efetiva do Solo (PES) foram utilizados os estudos de Pires et al. (1991), Souza et al. (2008), Cunha et al. (2010) e Brito et al. (2017) na unidade dimensional de centímetros (cm) que também foi considerada para esta análise.

O valor mínimo estabelecido foi 10 cm e o máximo 220 cm para a PES. A determinação dos quartis foi elaborada com base nos valores extremos, utilizados com um incremento de variação de 10 cm entre o mínimo e máximo. Essa variação foi considerada na construção dos vetores de simulação dos quartis para avaliação deste indicador na simulação.

4.4.2.3 Valores extremos para o indicador Coeficiente de Permeabilidade do Solo (k)

Para a avaliação do Coeficiente de Permeabilidade do Solo (k) foram utilizados os valores extremos extraídos dos estudos de Caputo (1988), Hamada et al. (2004), Cavalcante & Casagrande (2006), Correia et al. (2010) e Pinheiro et al. (2017) adquiridos em centímetro por segundo (cm/s) e assim considerados nesta análise.

O valor mínimo estabelecido foi 1×10^{-7} cm/s e o máximo de 1×10^{-2} cm/s para k. Esses valores extremos foram utilizados com incremento de variação de 10^{-4} cm/s entre o mínimo e máximo. Essa variação foi considerada na construção dos vetores de simulação dos quartis que avaliaram este indicador na simulação.

4.4.2.4 Valores extremos para o indicador Matéria Orgânicos no Solo (MOS)

Para a avaliar os resultados do indicador matéria orgânica do solo (MOS) foram considerados os valores estabelecidos pelo Instituto Agronômico de Campinas - IAC (2015) e discutidos com base nos autores Damatto Junior et al. (2006), Schmidt Filho et al. (2016) e Garcia et al. (2018).

A unidade dimensional utilizada pelos autores e pelo IAC foi o grama por decímetro cúbico (g/dm³), entretanto, neste estudo foram considerados os valores em grama por centímetro cúbico.

O valor mínimo estabelecido foi 0,1 g/cm³ e o máximo de 0,6 g/cm³. Esses valores extremos foram utilizados com incremento de variação de 0,01 g/cm³ para a construção do vetores de simulação dos quartis que avaliaram este indicador.

4.4.2.5 Valores extremos para o indicador Resistência Mecânica à Penetração do Solo (RMPS)

Para a avaliar o indicador resistência mecânica à penetração do solo (RMPS) foram utilizadas as classes de resistência mecânica à penetração do solo conforme os valores estipulados por Arshad et al. (1996) onde os valores de 0,1 a 1,0 MPa

são considerados baixos; 1,0 a 2,0 MPa são moderados; 2,0 a 4,0 MPa são valores altos; 4,0 a 7,0 MPa são muito altos.

Com base nesta escala foram extraídos os valores extremos, mínimo de 0,1 Mpa e o máximo de 7 Mpa. Eles foram utilizados com incremento de variação de 0,1 Mpa e essa escala foi considerada na construção dos vetores que determinaram os quartis para a avaliação deste indicador.

4.4.2.6 Valores extremos para o indicador Pressão Antrópica no Manejo do Solo (PAMS)

Os valores para compor vetor de simulação do indicador análogo de Pressão Antrópica no Manejo do Solo (PAMS) foram obtidos pelo método “Ad Hoc” em que quatro especialistas (Engenheiro Agrícola - Doutor, Agrônomo - Doutor, Engenheiro Ambiental - Doutor e uma Geógrafa) se reuniram para discutir sobre os valores que seriam atribuídos ao indicador analógico de pressão antrópica no manejo do solo.

Os valores foram considerando em ordem crescente com relação a fragilização promovida pelos diferentes cultivos agrossilvipastoris e técnicas imprimidas no manejo do solo sob uma perspectiva de unidade dimensional de megapascal (Mpa). Os valores extraídos da discussão com os especialistas são apresentados na **Tabela 5**.

Tabela 5: Ponderação estabelecida pelo método “Ad Hoc” na discussão com os especialistas referente a variável pressão antrópica no manejo do solo com analogia a fragilização ambiental promovida pelos usos da terra e técnicas agrícolas imprimidas no manejo agrossilvipastoril na unidade de MegaPascal (MPa).

Pressão Analógica no Manejo do Solo (MPa)	Uso agrossilvipastoril
1	Floresta primárias/secundárias
2	Silvicultura com práticas conservacionistas
3	Cultura perene com práticas conservacionistas
4	Silvicultura sem práticas conservacionistas
5	Cultura perene sem práticas conservacionistas
6	Pastagem com práticas conservacionistas
7	Pastagem sem práticas conservacionistas
8	Cultura anual com práticas conservacionistas
9	Cultura anual sem práticas conservacionistas
10	Uso urbano

Fonte: Elaboração própria

Os valores extremos atribuídos à ponderação da Pressão Antrópica no Manejo do Solo (PAMS) analógica foram, portanto, 1 a 10 Megapascal (MPa), mínima e máxima, respectivamente (**Tabela 4**) conforme os especialistas.

Com esses valores extremos foi atribuído um incremento de variação de 1 MPa entre o mínimo e máximo da PAMS, que resultou em uma escala de valores empregados na elaboração dos quartis que permitiram a avaliação deste indicador na simulação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Nomenclatura dos Π -termos resultantes do método de Análise Dimensional

Os Π -termos que são os índices adimensionais, receberam cada qual um nome com o intuito de facilitar a compreensão dos gestores em relação a utilização dos índices conforme o interesse. Esses nomes são apresentados na **Tabela 7** com base nos resultados da **Tabela 6**.

Tabela 6: Nomenclatura dos índices adimensionais (Π -termos) obtidos por análise dimensional (AD).

Π -termos	Nomenclatura do Índice Adimensional
$\Pi 1$	Índice de Degradação Estrutural do Manejo (IDEM)
$\Pi 2$	Índice Relativo de Área Natural (IRAN)
$\Pi 3$	Índice de Qualidade da Profundidade Efetiva no Manejo do Solo (IQPEMS)
$\Pi 4$	Índice Relativo ao Solo Exposto (IRSE)
$\Pi 5$	Índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS)
$\Pi 6$	Índice de Influência da Pressão Antrópica no Manejo do Solo (IIPAMS)

Fonte: Elaboração própria

5.2 Resultados dos Índices adimensionais resultantes da análise dimensional

Os índices adimensionais expostos na **Tabela 6** foram separados em dois grupos distintos de aplicabilidade e sensibilidade. Assim, o primeiro grupo foi composto pelos índices relacionais de áreas de manejo IRAN e IRSE, o segundo grupo pelos índices adimensionais relativos a fragilidade promovida por manejos agrossilvipastoris, sendo eles o IDEM, IQPEMS, IQPMS e IIPAMS. Esses seis índices são discutidos nos tópicos seguintes.

5.2.1 Resultados da aplicabilidade e sensibilidade dos índices adimensionais relacionais de áreas de manejo

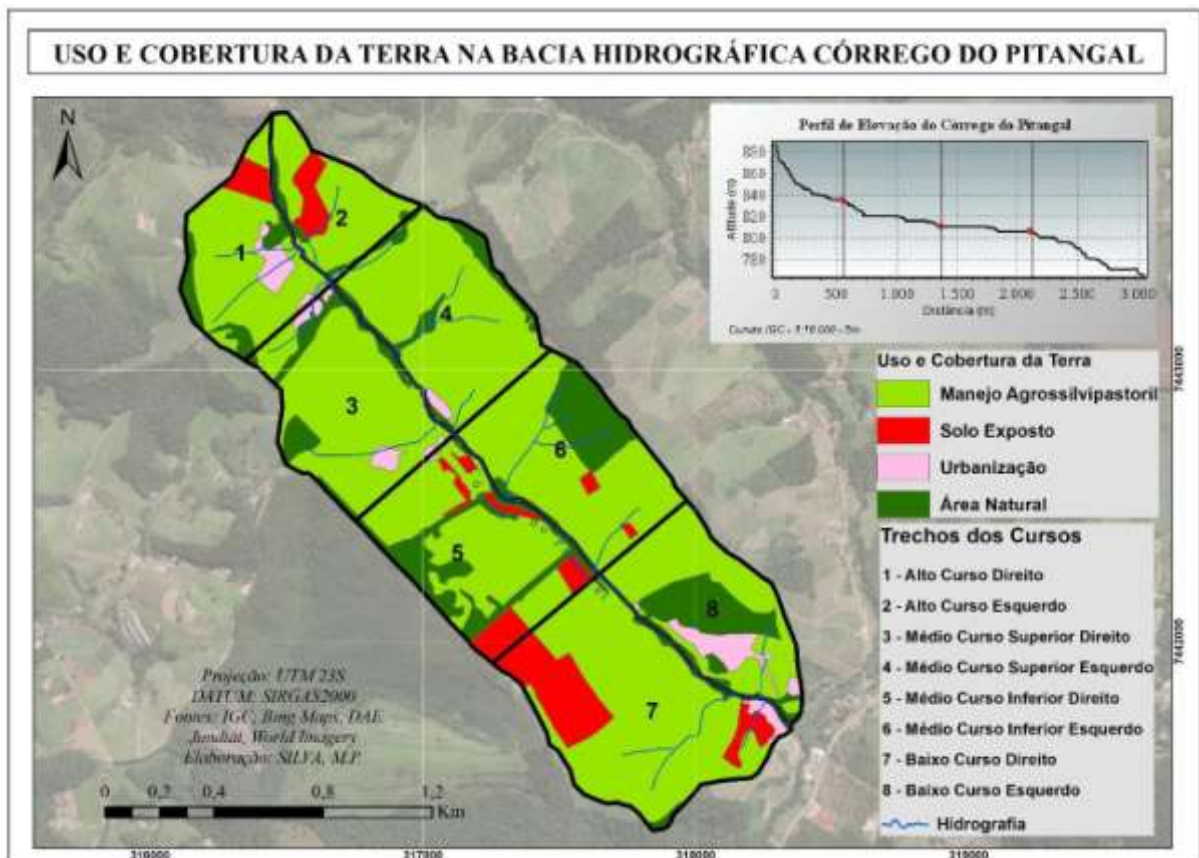
Christofolletti (1999) afirma que a modelagem consiste em uma representação simplificada da realidade, pois possibilita a reconstrução da realidade de modo a prever um comportamento, transformação ou evolução do fenômeno estudado.

A modelagem pode ser elaborada no Sistema de Informação Geográfica (SIG), que se constitui em uma ferramenta que capacita a determinação do local, da temática a ser analisada e a temporalidade da investigação.

O mosaico de imagens de alta resolução utilizado na classificação supervisionada do uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica Córrego do Pitangal (BH-CP) pelo software Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitiu determinar quatro (4) classes de usos da terra para a análise dos índices relacionais de área de manejo IRAN e IRSE (**Tabela 6**).

As classes determinadas no mapeamento do uso e cobertura da terra foram: área natural, solo exposto, manejo agrossilvipastoril e urbanização, como expõe a **Figura 6**.

Figura 6: Uso e cobertura da terra para a Bacia Hidrográfica Córrego do Pitangal (BH-CP).



Fonte: Elaboração própria

O teste dos índices relacionais de área de manejo pelo software Sistema de Informação Geográfica (SIG) consistiu em fornecer mais acessibilidade de informações aos usuários, uma vez que a modelagem ambiental por SIG pode facilitar a visualização dos resultados pela simulação da realidade, capacitando sua utilização para o monitoramento ambiental de áreas de manejo agrossilvipastoris.

A representação das áreas foi estabelecida em metros quadrados (m²), com posterior substituição desses valores nas variáveis que compõe os dois índices relacionais de áreas de manejo IRAN e IRSE.

É importante frisar que o cálculo do IRSE considerou as áreas de solo exposto, também, como áreas de manejo agrossilvipastoril, uma vez que a exposição do solo na área de estudo no momento de aquisição das imagens que compuseram o mosaico utilizado na classificação do uso e cobertura da terra, pode ter relação com períodos de rotações de culturas.

Os resultados dos índices IRAN e IRSE são apresentados a seguir.

5.2.1.1 Resultado da aplicabilidade e sensibilidade do Índice Relativo à Área Natural (IRAN)

O índice relacional de área de manejo, Índice Relativo à Área Natural (IRAN), trata-se da razão entre áreas de cobertura natural e a área de manejo agrossilvipastoril. A **Equação 10** apresenta essa relação.

$$IRAN = \frac{CN}{AMA} \quad (10)$$

Onde:

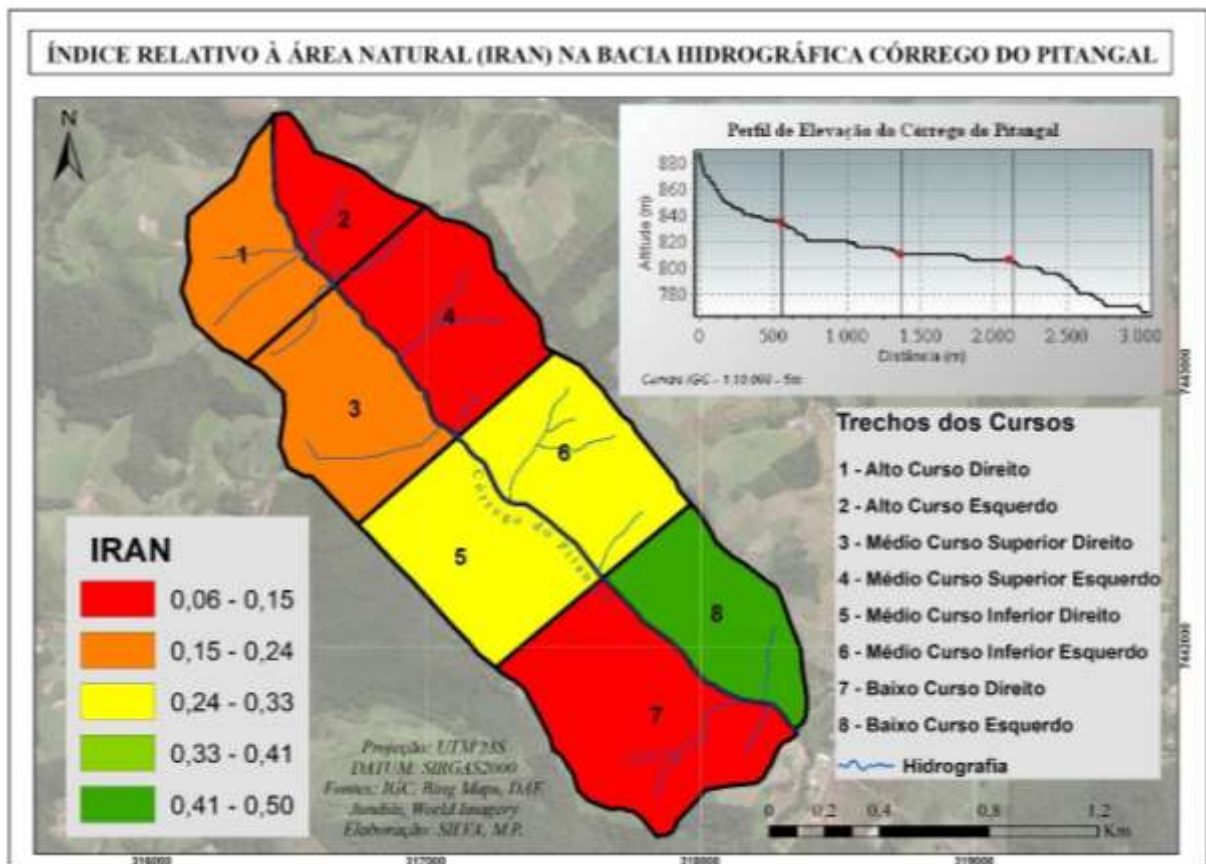
IRAN = Índice Relativo à Área Natural;

CN = Cobertura Natural (m²);

AMA = Área de Manejo Agrossilvipastoril (m²).

A **Equação 10** considerou os valores das áreas naturais e das áreas de manejos agrossilvipastoril na unidade de metros quadrados (m²) e também em (m²) mapeadas pelo uso e cobertura da terra na BH-CP (**Figura 6**). A divisão da área considerou o perfil de elevação do rio principal e a divisão dos intervalos do IRAN foi realizada em intervalos iguais para facilitar a compreensão sobre a variação do índice. A **Figura 7** mostra o resultado do IRAN.

Figura 7: Índice Relativo à Área Natural (IRAN) aplicado na Bacia Hidrográfica Córrego do Pitangal (BH-CP).



Fonte: Elaboração própria

A principal informação obtida pelo IRAN (**Figura 7**) denota que conforme o índice se distancia do zero ocorre a redução da fragilização ambiental, em virtude do aumento de cobertura natural em comparação com as áreas de manejo agrossilvipastoril. Essa situação indica maior conservação ambiental devido a quantidade de áreas naturais em comparação com as áreas de manejo agrossilvipastoril na BH-CP. O oposto indica que à medida que o índice se aproxima de zero o resultado é o aumento da fragilização ambiental da bacia, uma vez que ocorre a intensificação das atividades de manejo agrossilvipastoril corroboradas pela pressão exercida pelo manejo em áreas de vegetação natural na área de estudo.

Observa-se na (**Figura 7**) que o IRAN apresenta o melhor resultado no trecho 8 (0,41 a 0,50) na parcela do baixo curso esquerdo da BH-CP, sendo possível notar a superação da cobertura natural sobre a classe de manejo agrossilvipastoril. Um resultado como esse, pode corroborar a melhor qualidade dos recursos hídricos, além da redução da erosão superficial, uma vez que a maior incidência de cobertura

natural resulta em atenuação da ação mecânica da água da chuva ao tocar o solo, por influência da copa das árvores e da serrapilheira presente no solo.

Nesse sentido, esse trecho 8 pode sofrer menor ação erosiva da chuva devido às condições positivas do relevo, o que pode ajudar na penetração de água no solo por percolação e infiltração, a depender das condições da permeabilidade e da infiltração relacionadas com os espaços porosos do solo e com a quantidade de matéria orgânica no solo. Nota-se que nesse trecho 8 ocorre a superação das áreas naturais em comparação com as áreas de manejo agrossilvipastoril, o que pode atribuir a essas regiões maior equilíbrio ecossistêmico do meio.

Em contrapartida, os piores resultados obtidos do índice (**Figura 7**) podem ser observados no alto curso esquerdo, médio curso superior esquerdo e no baixo curso direito (2, 4 e 7) da BH-CP, nas porções do alto curso direito e médio curso superior direito (1 e 3) os resultados foram melhores (0,15 a 0,24) em comparação com os anteriores, que receberam os menores valores do índice (0,06 a 0,15) e, portanto, caracterizam as áreas mais fragilizadas devido a redução das áreas naturais em detrimento das áreas de manejo agrossilvipastoril.

Esses resultados mostram que as áreas mais fragilizadas, ou seja, aquelas com maior incidência de atividades de manejo, são mais suscetíveis aos processos erosivos, uma vez que a atividade agrossilvipastoril pode, dependendo do tipo e de como é conduzido o manejo, intensificar os processos erosivos em decorrência da diminuição da quantidade de matéria orgânica no solo (MOS) acarretando em perda de qualidade do solo e diminuição da produtividade agrícola.

A situação no médio curso inferior da BH-CP apresentou resultados intermediários (0,24 a 0,33) e demonstraram maior equilíbrio em relação as áreas mais críticas apresentadas anteriormente para o IRAN na BH-CP, portanto, nota-se que existe um equilíbrio entre as áreas de manejo agrossilvipastoril e as áreas de cobertura natural.

Assim, a fim de analisar o comportamento dos resultados exposto pelo IRAN para o perfil da BH-CP, foi realizada a estatística descritiva do índice apresentada na **Tabela 7**.

Tabela 7: Estatística descritiva do Índice Relativo a Área Natural (IRAN) para a Bacia Hidrográfica Córrego do Pitangal (BH-CP).

<i>Estatística Descritiva do IRAN</i>	
Média	0,21
Desvio padrão	0,14
Variância da amostra	0,02
Mínimo	0,07
Máximo	0,50
Soma	1,72
Contagem	8
Nível de confiança	95%

Fonte: Elaboração própria

A análise estatística do IRAN (**Tabela 7**) mostra que sua média é 0,21 apresentando a variação relativamente baixa da amostra (0,02), indicando a distância que os valores do índice estão de um valor médio.

A capacidade do IRAN em demonstrar a proporção existente entre as áreas naturais e as áreas de manejo agrossilvipastoril em bacias hidrográficas a partir de duas categorias de uso da terra, pode simplificar e agilizar o processo de modelagem no SIG.

Apesar disso, a finalidade do índice é evidenciar a pressão do manejo agrossilvipastoril sobre as áreas de cobertura natural, principalmente em relação àquelas de preservação permanente (APP).

Trata-se, portanto, de um índice com potencial para ser utilizado no monitoramento da expansão agrícola sobre as áreas naturais, o que pode ter relação com a fragilização de áreas no tempo e no espaço, nesse sentido, a modelagem espacial de bacias hidrográficas pode facilitar e intensificar a gestão de áreas degradadas pelo manejo agrossilvipastoril e a expansão agrícola desordenada.

5.2.1.2 Resultado da aplicabilidade e sensibilidade do Índice Relativo ao Solo Exposto (IRSE)

O outro índice relacional de área de manejo, o Índice Relativo de Solo Exposto (IRSE) demonstra a intensidade da fragilização ambiental por solo exposto em razão

das áreas utilizadas para o manejo agrossilvipastoril na BH-CP. A **Equação 11** demonstra essa relação.

$$IRSE = \frac{ASE}{AMA} \quad (11)$$

Onde:

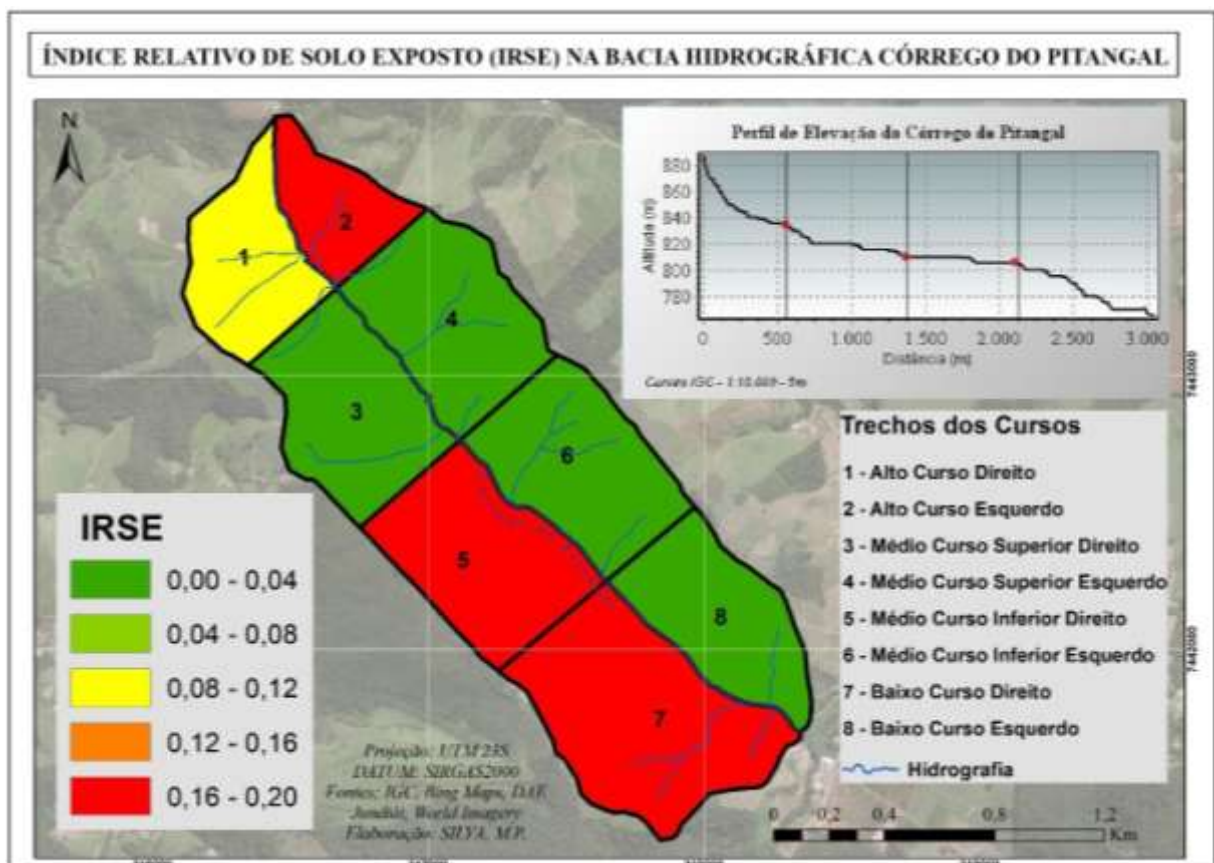
IRSE = Índice Relativo ao Solo Exposto;

ASE = Área de Solo Exposto (m²);

AMA = Área de Manejo Agrossilvipastoril (m²).

A **Equação 11** considerou os valores das áreas de solo exposto na unidade (m²) em razão das áreas de manejos agrossilvipastoril (m²) mapeadas pelo uso e cobertura da terra na BH-CP (**Figura 6**). A divisão da área considerou o perfil de elevação do rio principal e a divisão dos intervalos do IRSE foi realizada em intervalos iguais com a finalidade de facilitar a compreensão sobre a variação do índice, os resultados podem ser conferidos na **Figura 8**.

Figura 8: Índice Relativo de Solo Exposto (IRSE) para a Bacia Hidrográfica Córrego do Pitangal (BH-CP).



Fonte: Elaboração própria

Considerando a classificação de uso e cobertura da terra apresentada na **Figura 8**, observa-se que as áreas de solo exposto podem estar relacionadas com a presença de cultivos temporários em práticas agrícolas de manejo convencionais. Devido a isso, as áreas de solo exposto foram consideradas na análise também como áreas de manejo agrossilvipastoris, estando sob a condição de solo exposto no momento de aquisição das imagens utilizadas na classificação do uso e cobertura da terra na BH-CP.

Portanto, a **Figura 8** mostra a existência de uma relação inversa entre os índices relacionais de área de manejo, IRSE e o IRAN, apresentado no tópico anterior. Isso ocorre, porque, diferente do IRAN, o IRSE mostra que ao aproximar-se do zero, ocorre a redução das áreas de solo exposto em proporção com as áreas de manejo agrossilvipastoril, entretanto, conforme se aproxima de 1 percebe-se o aumento na quantidade de áreas de solo exposto na área estudada.

Assim, uma vez que as áreas de manejo agrossilvipastoril (AMA) podem ser consideradas menos impactantes se comparadas a condição de total exposição do solo, pode-se dizer que o aumento das áreas de solo exposto (ASE) atuam para a intensificação da fragilização ambiental, aproximando o índice de 1.

É importante colocar que a condição de solo exposto pode ter relação com as práticas empregadas no manejo, visto que regiões que apresentam maior quantidade de solo exposto podem estar relacionadas às práticas de manejo inadequadas que podem estar contribuindo para a exposição do solo.

Carmo et al. (2015) confirma isso ao dizer que o solo exposto, aumenta consideravelmente a possibilidade do risco de erosão, principalmente em regiões de encostas íngremes, mesmo que possa ocorrer em terrenos mais suaves, nesse sentido as áreas de cultivos agrícolas podem aumentar o risco à erosão, principalmente em áreas geomorfologicamente mais suscetíveis a esses processos.

Ao analisar a **Figura 8** nota-se que o médio curso superior direito (3) e o lado esquerdo do perfil de elevação da bacia (4, 6 e 8) com exceção do alto curso esquerdo (2), apresentam as regiões do perfil menos fragilizadas pela quantidade de solo exposto, com a menor faixa de valores do índice (0 a 0,04). Esses resultados positivos do IRSE podem estar relacionados com a boa estruturação dos tipos e práticas de manejo agrossilvipastoris adotados na maior parte da área de estudo.

Apesar disso, nota-se (**Figura 8**) fragilização atuante na área da nascente, com maior intensidade no alto curso esquerdo (2) com variação de 0,16 a 0,20 e com menor intensidade no alto curso direito (1), que variou de 0,08 e 0,12. Essa condição pode estar relacionada com o mau uso ou com o uso indevido da terra para a agricultura e, além disso, a implementação inadequada do manejo.

Nesse sentido, a utilização de regiões de nascentes da BH-CP para a agricultura, pode estar contribuindo para a intensificação dos processos erosivos, uma vez que a área compõe-se majoritariamente de solos do tipo cambissolo distrófico.

Conforme a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) o solo do tipo cambissolo distrófico possui restrição ao uso agrícola por influência de relevos acentuados, pequena profundidade do solo, entre outros.

Assim, a degradação provocada pelo manejo na região de nascente costuma ser preocupante, uma vez que os efeitos negativos desses usos e práticas podem contribuir para a fragilização no decorrer do perfil de elevação da bacia hidrográfica.

Assim, a fragilização apresentada pelo índice nas nascentes pode ter intensificado a fragilização nas regiões do médio curso inferior direito e baixo curso direito (5 e 7) com a variação do IRSE de 0,16 a 0,20, apresentando os valores mais altos do índice. A justificativa para isso, é que o processo de erosão provocado pelas chuvas na cabeceira ocasiona no transporte de sedimentos do alto curso para as áreas mais baixas do perfil de elevação da BH-CP, intensificado pelo tipo de solo cambissolo distrófico, que é mais suscetível aos processos erosivos.

Para melhor compreender sobre a variação do IRSE foi realizada a estatística descritiva de seus resultados apresentada na **Tabela 8**.

Tabela 8: Estatística descritiva do Índice Relativo de Solo Exposto (IRSE) para a Bacia Hidrográfica Córrego do Pitangal (BH-CP).

<i>Estatística Descritiva do IRSE</i>	
Média	0,08
Desvio padrão	0,09
Variância da amostra	0,007
Mínimo	0
Máximo	0,2
Soma	0,66
CV	105%
Nível de confiança	95%

Fonte: Elaboração própria

A análise estatística do IRSE (**Tabela 8**) mostra que a média da bacia é de 0,08, entretanto a variação da amostra é de 0,007. Isso significa que a quantidade de solo exposto por influência da área de manejo agrossilvipastoril encontra-se muito distante da média geral da bacia, o que pode ser corroborado pelo coeficiente de variação, que apresentou alta variabilidade do solo exposto na área da bacia hidrográfica como um todo.

Esses resultados demonstram que o tipo de manejo agrossilvipastoril utilizado e as práticas empregadas nos cultivos, podem ter interferências múltiplas na fragilização ambiental dentro da bacia hidrográfica.

O IRSE pode ser utilizado com a função de gerenciar a fragilização promovida pelas atividades de manejo agrossilvipastoris que, normalmente, contribuem para a degradação do recurso natural solo com sua exposição.

Nesse sentido, este índice pode ser utilizado pelos gestores voltado ao planejamento com relação a medidas de recuperação e adequação de áreas de manejo agrossilvipastoris.

5.2.2 Resultados da aplicabilidade e sensibilidade dos índices adimensionais relacionados à fragilidade promovida por manejos agrossilvipastoris

Esse tópico consiste em apresentar os resultados dos índices adimensionais relacionados a fragilidade promovida por manejos agrossilvipastoris (**Tabela 7**). Esse grupo de índices é composto pelo Índice de Degradação Estrutural do Manejo (IDEM), Índice de Qualidade da profundidade Efetiva do Manejo do Solo (IQPEMS),

Índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS) e Índice de Influência da Pressão Antrópica no Manejo do Solo (IIPAMS), que foram, respectivamente, apresentados a seguir.

5.2.2.1 Resultado da aplicabilidade e sensibilidade do Índice de Degradação Estrutural do Manejo (IDEM)

O Índice de Degradação Estrutural do Manejo (IDEM) demonstra a razão entre o diâmetro médio geométrico dos agregados do solo e a raiz quadrada da área de manejo agrossilvipastoril, conforme a **Equação 12**.

$$IDEM = \frac{DMG}{\sqrt{AMA}} \quad (12)$$

Onde:

DMG = diâmetro médio geométrico dos agregados do solo [mm];

AMA = área de manejo agrossilvipastoril [VU].

Esse índice apresenta potencial para a análise da degradação estrutural ocasionada pelo manejo do solo nos diferentes sistemas produtivos agrossilvipastoris.

Observa-se que a variável diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do solo está relacionada com a raiz quadrada da área que se promove a atividade produtiva agrossilvipastoril (AMA).

Pela condição fracionária do índice, à medida que aumenta a dimensão absoluta da área de análise, os valores absolutos do índice diminuem dada sua proporcionalidade inversa.

Nesse escopo, a aplicabilidade deste índice consiste na definição espacial, ou seja, na exatidão em dimensão de área em que seu usuário queira aplicar. Assim, conforme o interesse do usuário, o índice pode ser utilizado em áreas maiores (menos detalhadas) ou caso exista a necessidade de verificar a condição local, podem ser consideradas áreas menores (mais detalhadas).

Para uma análise mais aplicada foi considerada nesta simulação um valor de área unitário (VU) que pode ser expresso em 1cm², 1m², 1ha, 1km² conforme necessidade de aplicação.

Dessa forma, como descrito na capítulo metodológico, a análise da sensibilidade do índice foi proposta dentro de uma simulação com valores (máximo e mínimo) extraídos da literatura apenas para o DMG dos agregados do solo, uma vez que a área de manejo agrossilvipastoril (AMA) assumiu um valor unitário de área.

A partir da definição desses valores, máximo e mínimo, foi possível construir vetores para o DMG dos agregados do solo a partir de incrementos definidos (**APÊNDICE 0**), onde foram considerados o valor mínimo ($V_{mín}$), primeiro quartil (Q1), mediana (Q2), terceiro quartil (Q3) e o valor máximo ($V_{máx}$) para este indicador.

A **Tabela 9** apresenta os vetores com os valores mínimo e máximo e os quartis para o indicador DMG dos agregados do solo. Esses vetores foram utilizados para o estudo da sensibilidade do índice IDEM em detrimento das variáveis que o compõe.

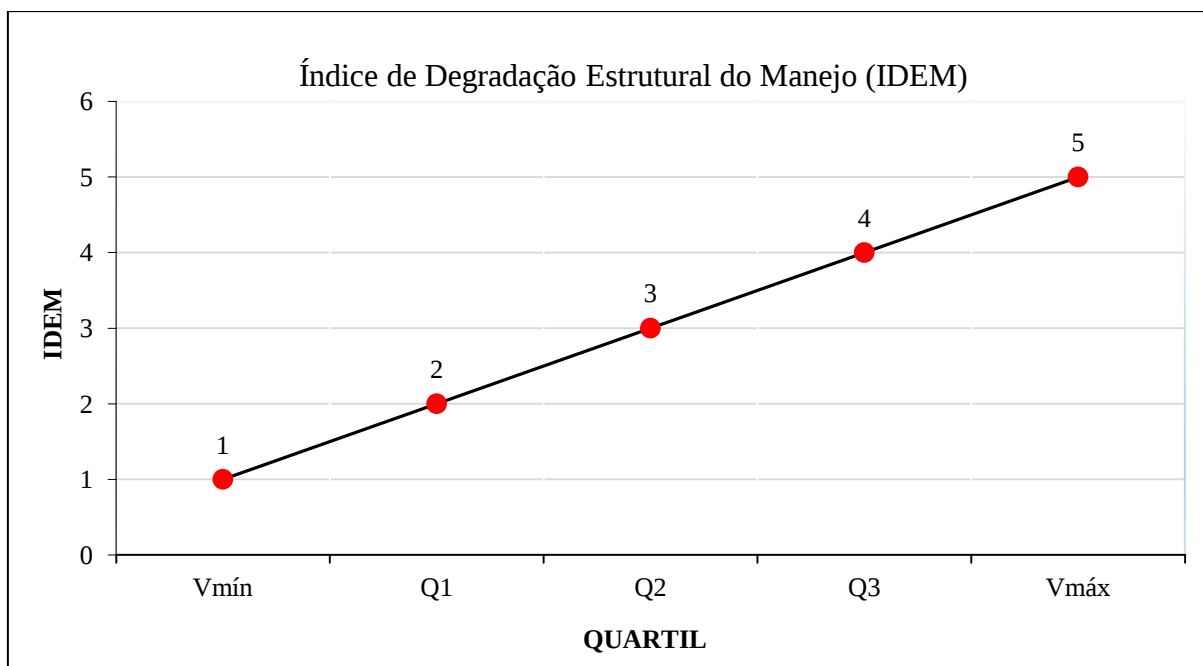
Tabela 9: Valor mínimo, quartis e valor máximo para o indicador DMG dos agregados do solo utilizado na análise da sensibilidade do índice de Degradação Estrutural do Manejo (IDEM).

QUARTIL	DMG (mm)
$V_{mín}$	1
Q1	2
Q2	3
Q3	4
$V_{máx}$	5

Fonte: Elaboração própria

O índice foi simulado a partir da combinação crescente dos quartis do DMG dos agregados do solo ($V_{mín}$, Q1, Q2, Q3 e $V_{máx}$) dividido pela raiz quadrada de um valor unitário de área. O gráfico da **Figura 9** mostra essa relação.

Figura 9: Resultado da simulação do Índice de Degradação Estrutural do Manejo (IDEM), considerando a relação entre as variáveis que o compõem (DMG e AMA).



Fonte: Elaboração própria

O gráfico resultante da simulação do índice de Degradação Estrutural do Manejo (IDEM), exposto pela **Figura 9**, apresenta o valor mínimo ($V_{mín} = 1$) e o valor máximo ($V_{máx} = 5$) com crescimento constante. Essa relação simulada entre o DMG e a área de manejo, atribui ao DMG dos agregados do solo papel determinante no estudo da fragilidade promovida pelas atividades em áreas de manejo agrossilvipastoris.

A simulação mostra que o DMG dos agregados do solo assume o protagonismo na análise do índice de Degradação Estrutural do Manejo (IDEM), nesse sentido indica que a estabilidade estrutural dos agregados do solo pode ser fundamental para determinar o grau da fragilidade ambiental em áreas de manejo agrossilvipastoril.

A finalidade do DMG dos agregados do solo está em estimar as classes de agregados de maior ocorrência no solo, essa variação pode ser de 1 a 5 milímetros (REINERT e REICHERT, 2006; BAUMGÄRTNER, 2016; FREITAS, 2017; CUNHA NETO et al., 2018), portanto os maiores valores do DMG indicam uma melhor estrutura de agregação das partículas do solo.

Deste modo, o DMG dos agregados do solo pode expressar a resistência do solo à desagregação das partículas quando ele é submetido a forças externas (ação de implementos agrícolas, o impacto da gota chuva) ou as forças internas (compressão de ar e a expansão/contração) que tendem a rompê-los. Essas características permitem atribuir a esse indicador a capacidade de influenciar na resistência de um solo em sofrer com processos erosivos em áreas de manejo agrossilvipastoris.

O DMG dos agregados do solo se trata de uma média ponderada e, conforme a literatura, são considerados muito estáveis agregados maiores que 4 milímetros (mm) (SILVA, 2011; FREITAS, 2017). Nesse sentido, valores muito inferiores a 4 mm podem indicar maior fragilização nas áreas de manejo agrossilvipastoril o que pode contribuir para a diminuição da agregação entre as partículas do solo.

A literatura aponta algum padrão de qualidade do DMG dos agregados do solo em áreas de manejos agrossilvipastoris na camada de 0 a 5 centímetros (cm) do solo. Esse padrão mostra que florestas preservadas possuem melhor agregação entre as partículas do solo (5 mm a 3 mm), seguida por pastagens (entre 5 mm e 2 mm), silvicultura (3 mm a 1 mm) e cultivos agrícolas temporários (2 mm a 1 mm), respectivamente (FREITAS, 2017; CUNHA NETO et al., 2018).

Entretanto essa condição não é uma regra, uma vez que a interferência antrópica em outros atributos do solo também pode contribuir para a fragilização desses ambientes. Os estudos de Baumgärtner (2016) confirmam isso, visto que seus resultados apresentaram o DMG dos agregados do solo maior na região de pastagens (3 mm) e menor na região e mata nativa (2 mm), sua explicação mostra que isso correu por influencia do tipo de solo com pouca fertilidade.

Nesse sentido, a análise da variação do DMG dos agregados do solo em áreas de manejo agrossilvipastoris pode ser importante na busca de respostas aos problemas estruturais de agregação do solo, uma vez que a prática de manejo altera rapidamente a estrutura do solo, sendo o DMG dos agregados do solo muito sensível à atividade agrícola.

Reinert e Reichert (2006) mostram que além dos usos imprimidos no manejo, as práticas utilizadas também devem ser consideradas, uma vez que elas podem contribuir positivamente ou de modo negativo em relação a agregação das partículas

do solo de áreas cultivadas, interferindo na produtividade de áreas de manejo agrossilvipastoris.

Rossetti et al. (2014) dizem que o tamanho dos agregados pode ser influenciado pelo uso e manejo do solo. Essa consideração demonstra a importância do DMG dos agregados do solo no IDEM, atribuindo a esse indicador papel essencial na avaliação da estruturação das partículas do solo e, por consequência, da fragilização ambiental.

Deste modo, o IDEM pode ser útil para determinar melhores cultivos e práticas de manejo a serem utilizadas, que podem ser sistemas de rotação de culturas, plantio direto, cultivo mínimo, entre outras, mais eficientes e menos danosas se comparadas aos sistemas convencionais de produção. Isso ocorre em virtude dos sistemas convencionais, normalmente, acarretarem maiores danos e degradação da estrutura do solo em áreas de manejo agrossilvipastoril.

De acordo com Guerra (1990) a estabilidade dos agregados reduz diretamente a erodibilidade dos solos, assim, a medida que a presença de poros entre os agregados aumenta, as taxas de infiltração reduzem o escoamento superficial, uma vez que os agregados maiores costumam ser mais resistentes aos processos erosivos, que ocorrem em virtude do potencial erosivo do salpicamento das gotas de chuva no solo sem proteção.

A partir dessas alegações, é possível notar que a variação do indicador DMG dos agregados do solo no IDEM pode contribuir para o monitoramento da fragilidade ambiental de áreas de manejo agrossilvipastoril, visto que a estrutura de agregação das partículas de um solo pode ser determinante na análise da fragilidade de áreas, o que decorre da sensibilidade desse indicador em relação aos tipos de manejos e práticas agrícolas empregadas na produção agrossilvipastoril.

Assim, o IDEM ao considerar a variação do DMG dos agregados do solo em áreas de manejo agrossilvipastoris (AMA) constante, pode ser útil na verificação do potencial de degradação de uma cultura ou prática de manejo em relação a outra, isso em virtude da variação da agregação das partículas do solo apresentada pelo DMG dos agregados do solo em relação a diversidade de áreas, cultivos, práticas e tipos de solo.

O IDEM, ainda, tem potencial para a utilização em agricultura de precisão e no monitoramento da fragilização ambiental resultante das atividades realizadas em

áreas de manejo agrossilvipastoris, tendo a capacidade de apresentar as degradações pontualmente ou em grandes áreas, dependendo do interesse da gestão.

5.2.2.2 Resultado da aplicabilidade e sensibilidade do Índice de Qualidade da Profundidade Efetiva no Manejo do Solo (IQPEMS)

O Índice de Qualidade da Profundidade Efetiva no Manejo do Solo (IQPEMS) relaciona a profundidade efetiva do solo em razão da raiz quadrada da área de manejo agrossilvipastoril, conforme a relação apresentada na **Equação 13**.

$$IQPEM = \frac{PES}{\sqrt{AMA}} \quad (13)$$

Onde:

PES = profundidade efetiva do solo [cm];

AMA = área de manejo agrossilvipastoril [VU].

Esse índice apresenta potencial para a análise da profundidade efetiva do solo (PES) em áreas de manejo de diferentes sistemas produtivos agrossilvipastoris.

Observa-se que a variável profundidade efetiva do solo (PES) está relacionada com a raiz quadrada da área que se promove a atividade produtiva agrossilvipastoril (AMA). Nota-se ainda que pela condição fracionária do índice, a medida que aumenta a área de análise, diminuem os valores absolutos do índice dada a sua proporcionalidade inversa.

A aplicabilidade desse índice, assim como o apresentado anteriormente, consiste na definição espacial, ou seja a exatidão em área em que seu usuário queira aplicar. Assim, conforme o interesse do usuário, o índice pode ser utilizado em áreas maiores (menos detalhadas) ou caso exista a necessidade de verificar a condição local, podem ser consideradas áreas menores (mais detalhadas).

A análise aplicada também considerou nesta simulação um valor de área unitário que pode ser expresso em 1cm², 1m², 1ha, 1km² conforme a necessidade da aplicação.

Dessa forma, como descrito na capítulo metodológico, a análise da sensibilidade deste índice foi proposta dentro de uma simulação com valores

(mínimo e máximo) extraídos da literatura apenas para o indicador profundidade efetiva do solo (PES), visto que a área de manejo agrossilvipastoril (AMA) assumiu um valor unitário de área.

A partir da definição desses valores, máximo e mínimo, foi possível construir vetores para a profundidade efetiva do solo (PES) com incrementos definidos (**APÊNDICE 1**), onde foram considerados o valor mínimo ($V_{mín}$), primeiro quartil (Q1), mediana (Q2), terceiro quartil (Q3) e também o valor máximo ($V_{máx}$) para este indicador.

A **Tabela 10** apresenta os vetores com os valores mínimo e máximo e os quartis para o indicador profundidade efetiva do solo (PES). Esses vetores foram utilizados para o estudo da sensibilidade do índice IQPEMS em detrimento das variáveis que o compõe.

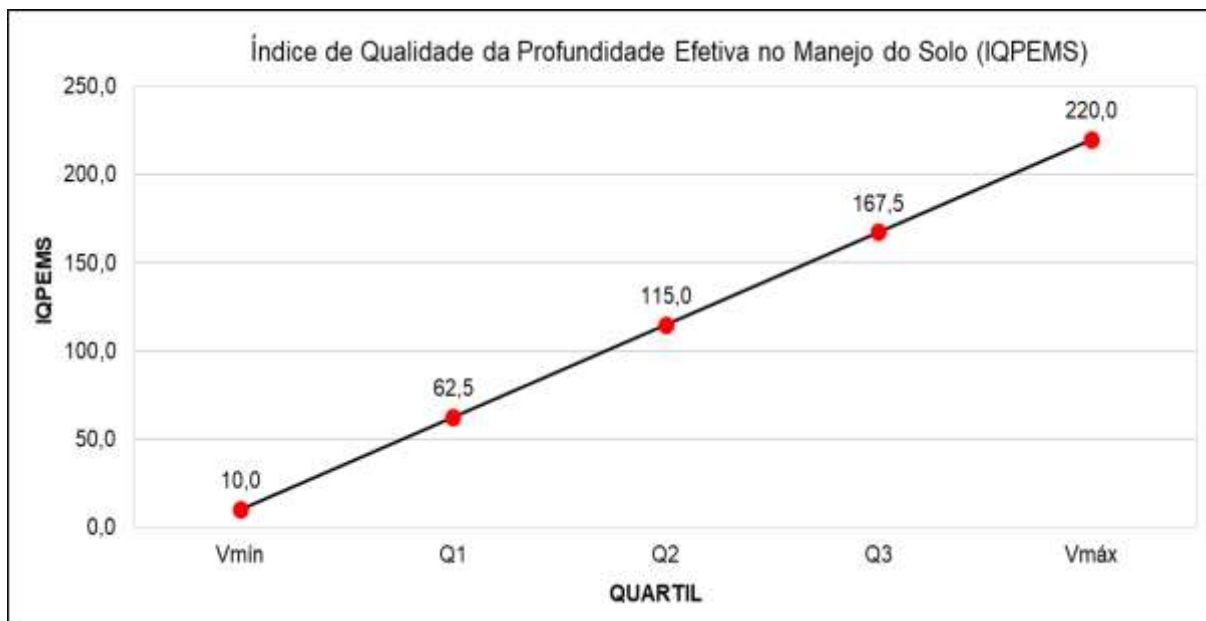
Tabela 10: Valor mínimo, quartis e valor máximo para o indicador profundidade efetiva do solo (PES) utilizado na análise da sensibilidade do Índice de Qualidade da Profundidade Efetiva no Manejo do Solo (IQPEMS).

QUARTIL	PES (cm)
$V_{mín}$	10
Q1	62,5
Q2	115
Q3	167,5
$V_{máx}$	220

Fonte: Elaboração própria

Na **Figura 10**, o Índice de Qualidade da Profundidade Efetiva no Manejo do Solo (IQPEMS) foi simulado a partir da combinação proporcional crescente da profundidade efetiva do solo (PES) nos valores extremos e quartis ($V_{mín}$, Q1, Q2, Q3 e $V_{máx}$) dividido pela raiz quadrada do valor unitário (VU) de área (AMA).

Figura 10: Resultado da simulação do Índice de Qualidade da Profundidade Efetiva do Manejo do Solo (IQPEMS) considerando a relação entre as variáveis que o compõem.



Fonte: Elaboração própria

O IQPEMS (**Figura 10**) para uma condição de área unitária apresenta valores, mínimo de 10 e máximo de 220. Percebe-se que a profundidade efetiva do solo (PES) nesta simulação destaca-se como um indicador fundamental para determinar a condição de fragilização em profundidade efetiva do solo, provocada pelas atividades de manejo dos diferentes sistemas agrossilvipastoris.

Deste modo, o indicador profundidade efetiva do solo (PES) se situa como protagonista na análise desse índice, o que pode estar relacionado com a importância deste indicador em relação ao desenvolvimento das raízes dos cultivos. Sua atuação como superfície absorvente dependerá de muitos fatores relativos ao solo que as circunda, entretanto devem ser consideradas a resistência mecânica à penetração do solo, a umidade, a aeração e a fertilidade do solo, uma vez que esses fatores podem impor fortes restrições ao crescimento das raízes em regiões tropicais (KRAMER, 1969; JUNG, 1978; PIRES et al., 1991).

A Compactação promovida pelo aumento da resistência mecânica à penetração do solo têm influência do pisoteio animal na camada superior da profundidade efetiva do solo (PES) em sistemas de pastejo o que, normalmente, resulta em restrição ao desenvolvimento do sistema radicular dos cultivos.

A maior profundidade efetiva do sistema radicular de cultivo de citros, observada no estudo de Souza et al. (2008), foi em um Argissolo Acinzentado não coeso (8 cm), que os autores comentam estar atrelado a menores restrições ao aprofundamento do sistema radicular.

Entretanto no Argissolo Amarelo, os autores afirmam que o resultado foi a menor profundidade efetiva do sistema radicular (59 cm), sendo esse resultado relacionado com a baixa macroporosidade verificada em todo o perfil do solo.

São informações importantes para a localização de adubos em pomares adultos e, ainda, para o planejamento/dimensionamento de projetos de irrigação. Assim, uma das medidas para aumentar a produtividade e a longevidade das culturas é a melhoria do crescimento radicular em profundidade, o que aumentaria a superfície de absorção de nutrientes e, principalmente, de água pelos cultivos, minimizando assim os efeitos de frequentes estiagens (SOUZA et al., 2008).

Cunha et al. (2010) trabalharam com seis gramíneas (Estrela, Marandu, Mombaça, Pioneiro, Tanzânia, Xaraés) em uma área experimental com solo do tipo cambissolo eutrófico com dois sistemas de manejo (pastejo e corte), com a intenção de analisar a profundidade efetiva do solo (PES) em relação ao crescimento das raízes dessas gramíneas.

Eles notaram que os capins Marandu e Xaraés apresentaram maior densidade de raiz, entretanto, no contexto geral, os capins Marandu e Pioneiro proporcionaram maior e menor profundidade efetiva do solo (PES) do sistema radicular (entre 5 cm e 17 cm), respectivamente. Também notaram que os sistemas de manejo (pastejo e corte) não influenciaram na profundidade efetiva do solo (PES), entretanto, a densidade de raízes foi maior sob o sistema manejado por corte. Eles corroboram que esse comportamento resultou da menor frequência de retirada de forragem no sistema manejado por corte em relação ao sistema manejado por pastejo.

Sobre o sistema de pastejo, Silva e Maixner (2015) afirmam que trata-se de um sistema de manejo com presença de grande complexidade, em decorrência de diversas relações entre o animal, a planta e o solo, influenciados pelos fatores ambientais.

Em virtude disso, é importante qualificar o “olhar” e, assim, conhecer os cultivos, suas características e procurar entender as respostas em função do manejo empregado. O recurso natural “solo”, muitas vezes passa despercebido no sistema

produtivo, em virtude da dificuldade de observar suas características e suas respostas. Deste modo, estabelecer um adequado manejo de pastagens não é tarefa fácil, pois implica em conhecer esses componentes e entender as relações estabelecidas em um sistema pastoril, buscando aproveitar os recursos do meio sem, contudo, depauperá-los (SILVA e MAIXNER, 2015).

Brito et al. (2017) afirmam que a presença de solos pouco profundos, é identificado como o fator que mais interfere negativamente no cultivo e criação extensiva de animais, além de reduzir a operação de máquinas, especialmente para culturas de sistemas radiculares pivotante e profundos.

A literatura expõe que a profundidade efetiva do solo (PES) é um atributo do solo muito importante para auxiliar na determinação da qualidade e desenvolvimento das raízes dos cultivos e, além disso, pode caracterizar a condição de fertilidade do solo (PIRES et al., 1991, CUNHA et al., 2010 e BRITO et al., 2017).

Essas considerações atribuem a esse indicador significativo valor na análise do IQPEMS, uma vez que se trata de um atributo relacionado a condição de fertilidade e tamanho da AMA, que pode ser utilizado para determinar o tipo de cultivo e técnica mais adequada ao solo em relação a profundidade efetiva do solo (PES) e ao tipo de solo, capacitando a adequação de AMAs conforme o interesse da gestão em reduzir a fragilização dessas áreas, além de ser capaz de atuar para o monitoramento da fragilização ambiental de áreas agrícolas pontuais ou grandes áreas.

5.2.2.3 Resultado da aplicabilidade e sensibilidade do Índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS)

O Índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS) expõe o produto entre o coeficiente de permeabilidade com a raiz quadrada da matéria orgânica no solo em razão da raiz quadrada da resistência mecânica à penetração do solo, como apresenta a **Equação 14**.

$$IQPMS = k * \left(\frac{\sqrt{MOS}}{\sqrt{RMPS}} \right) \quad (14)$$

Onde:

k = coeficiente de permeabilidade do solo [cm/s];

MOS = matéria orgânica no solo [g/cm³];

RMPS = resistência mecânica à penetração do solo [kgf/cm²].

Ao serem considerados os indicadores que compõem o IQPMS, observa-se um potencial de utilização desse índice na análise da qualidade no manejo do solo, pois envolve o coeficiente de permeabilidade do solo (k) e sua relação com o teor de matéria orgânica (MOS) em razão da resistência mecânica à penetração do solo (RMPS).

Para a análise da sensibilidade do IQPMS em áreas de manejo agrossilvipastoris foram simuladas algumas situações relacionando os valores mínimos, os quartis e os valores máximos (crescentes e inversas) dos indicadores com valores extremos extraídos da literatura (CAPUTO, 1988; HAMADA et al., 2004; CORREIA et al., 2010; PINHEIRO et al., 2017; DAMATTO JUNIOR et al., 2006; CAVALCANTE & CASAGRANDE, 2006; SCHMIDT FILHO et al., 2016; GARCIA et al., 2018 e ARSHAD et al., 1996).

Esses valores máximos e mínimos foram utilizados para a construção de vetores de simulação a partir de incrementos definidos (**APÊNDICE 2**). Assim, foram encontrados os valores mínimos (Vmín), o primeiro quartil (Q1), a mediana (Q2), o terceiro quartil (Q3) e, também, os valores máximos (Vmáx) de cada indicador que compõe este índice, como mostra a **Tabela 11**.

Tabela 11: Valores mínimos, quartis e valores máximos extraídos da literatura para os indicadores de fragilização k, MOS e RMPS utilizados para o cálculo do IQPMS.

QUARTIL	k (cm/s)	MOS (g/cm ³)	RMPS (kgf/cm ²)
Vmín	1,00E-07	0,10	1
Q1	2,50E-03	0,23	18
Q2	5,00E-03	0,35	36
Q3	7,50E-03	0,48	53
Vmáx	1,00E-02	0,60	70

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: k é o Coeficiente de Permeabilidade do solo (cm/s); MOS é a Matéria Orgânica no Solo (g/cm³) e RMPS é a Resistência Mecânica à Penetração do Solo (kgf/cm²), min. é o mínimo e máx. é o máximo.

Para determinadas situações existe uma dependência entre os indicadores que compõem esse índice. O coeficiente de permeabilidade (k) depende dos vazios do solo e, dessa forma, com o aumento da resistência mecânica à penetração do solo (RMPS) esses vazios tendem a diminuir. Solos com alta atividade biológica

expressa pela matéria orgânica (MOS) tendem a ter uma maior coeficiente de permeabilidade (k) na superfície do solo.

Nesse sentido, para interpretar os resultados do IQPMS torna-se necessário conhecer previamente as condições da granulometria dos solos sob diferentes condições de cultivos, a fim de compreender sua variabilidade. Portanto, o conhecimento prévio da análise granulométrica pode auxiliar na compreensão dos resultados obtidos, uma vez que as respostas desse índice para solos argilosos e arenosos possuem valores absolutos distintos.

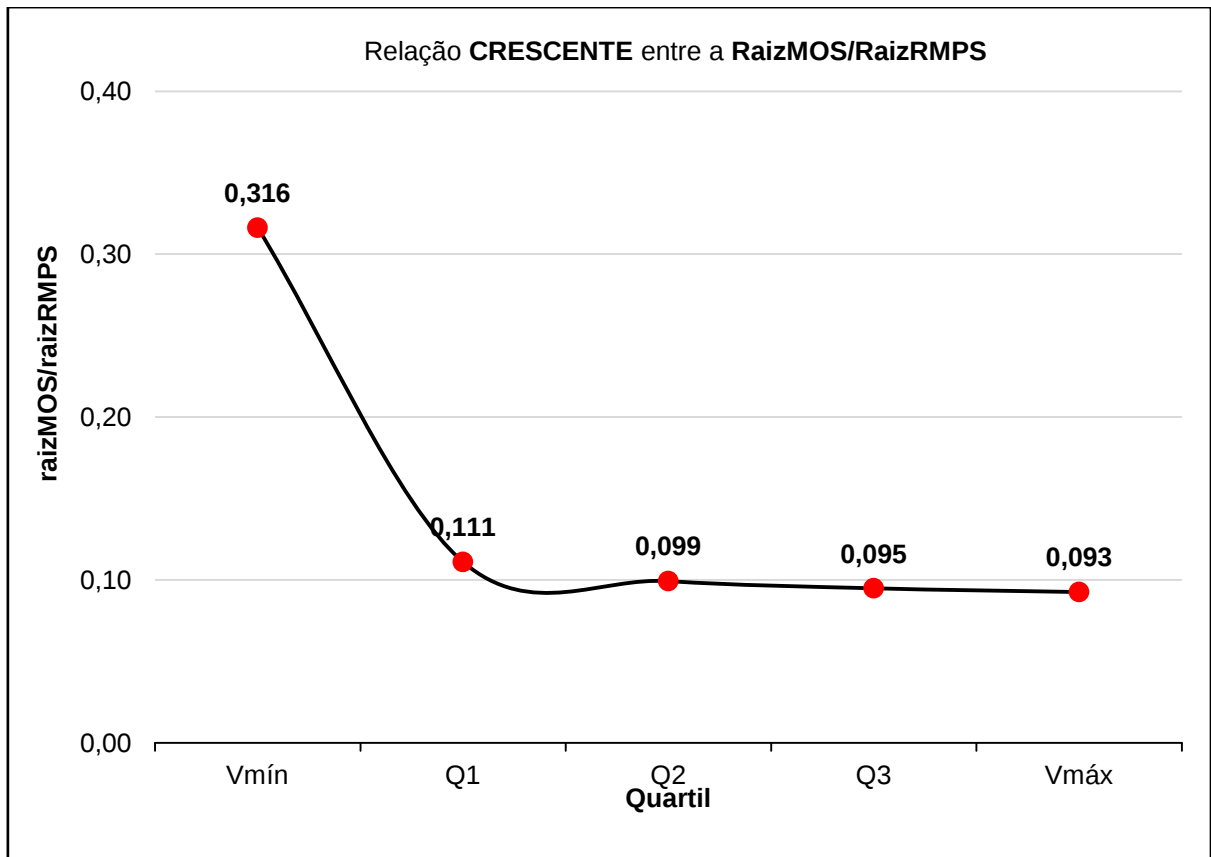
O coeficiente de permeabilidade (k) que se constitui na propriedade do solo que visa permitir o escoamento, se caracteriza em intervalos ou faixas de acordo com a granulometria do solo. Assim, a permeabilidade (k) se expressa em valores absolutos maiores em solos de maior granulometria, ou seja, os solos arenosos que são mais permeáveis e, nos solos argilosos que possuem granulometria e menor permeabilidade do solo, os valores absolutos são bem menores.

A partir dessas considerações e uma vez que o índice trata-se de um produto composto pelos fatores permeabilidade (k) que multiplica a relação: raiz quadrada da matéria orgânica no solo (MOS) dividida pela raiz quadrada da resistência mecânica à penetração do solo (RMPS), o estudo da sensibilidade e as simulações do índice foram realizadas considerando os fatores separadamente, como expõe os tópicos seguintes.

A. Simulação crescente do valor mínimo, quartis até o valor máximo para fator que divide a raiz quadrada da matéria orgânica no solo (MOS) pela raiz quadrada da resistência mecânica à penetração do solo (RMPS)

A simulação exposta pelo gráfico na **Figura 11**, considera a relação crescente dos quartis do valor mínimo, quartis até o valor máximo para o fator que divide a raiz quadrada da matéria orgânica no solo (MOS) pela raiz quadrada da resistência mecânica à penetração do solo (RMPS). O interesse foi estudar a sensibilidade do fator que relaciona essas duas variáveis dentro do índice, que se trata de um produto.

Figura 11: Simulação crescente dos quartis do valor mínimo, quartis até o valor máximo para o fator que divide a raiz quadrada da matéria orgânica no solo (MOS) pela raiz quadrada da resistência mecânica à penetração do solo (RMPS).



Fonte: Elaboração Própria

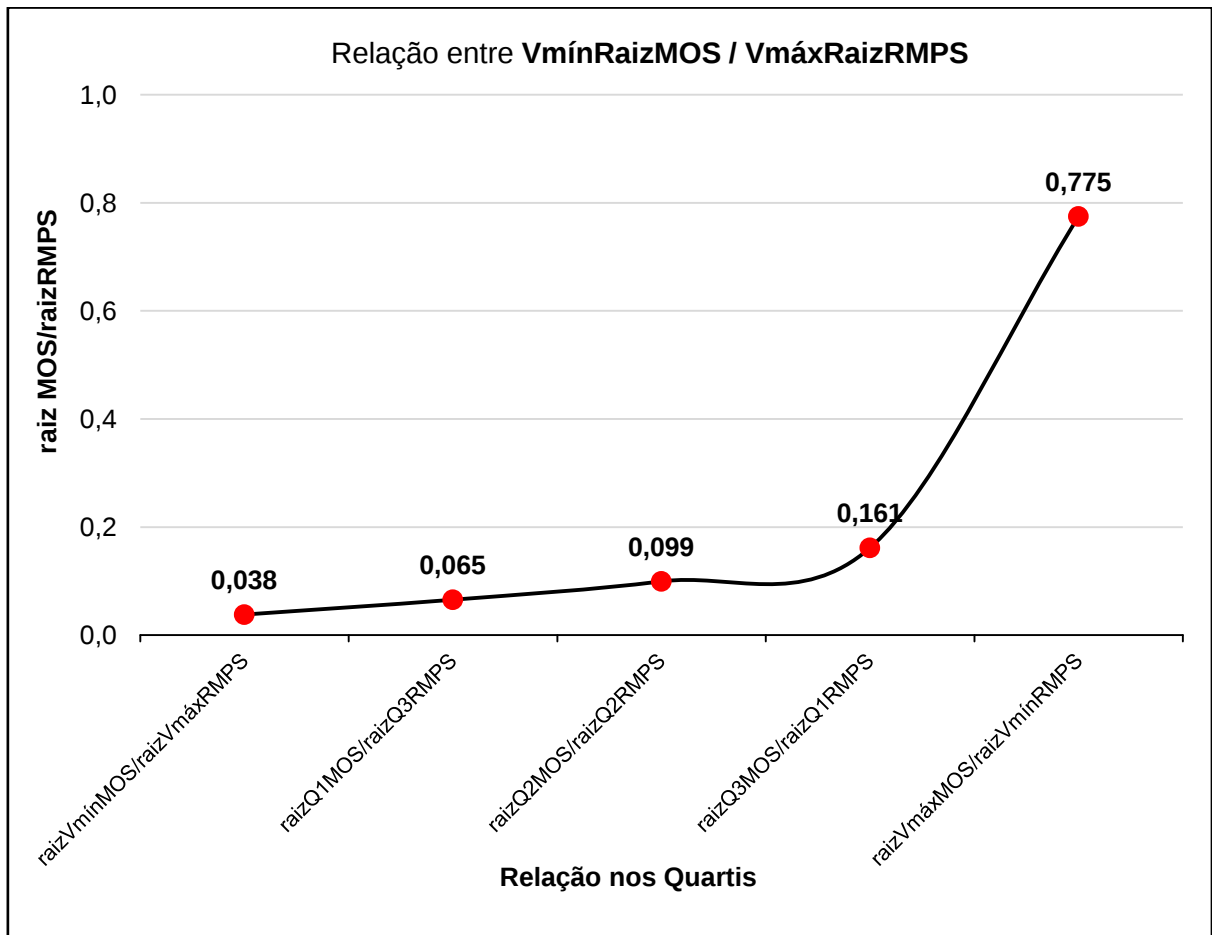
O gráfico resultante da simulação exposta pela **Figura 11** mostra que a maior sensibilidade ocorre no intervalo do valor mínimo ($V_{mín} = 0,316$) até o primeiro quartil ($Q1 = 0,111$), se tornando aproximadamente constante a partir dos valores da mediana ($Q2 = 0,099$, $Q3$ e $V_{máx} = 0,093$).

Dalchiavon et al. (2014) afirma que a MOS correlaciona-se linear e negativamente com a RMPS, indicando que manejos do solo que visem o aumento da MOS no perfil, atuam positivamente com as condições físicas do solo relacionadas ao desenvolvimento e a produtividade do cultivo no solo, além de reduzir a RMPS. Entretanto, nota-se no gráfico dessa simulação crescente entre as variáveis do fator que, conforme um indicador aumenta o outro também aumenta e vice versa.

B. Simulações inversas dos quartis do fator que divide a raiz quadrada da matéria orgânica no solo (MOS) pela raiz quadrada da resistência mecânica à penetração do solo (RMPS)

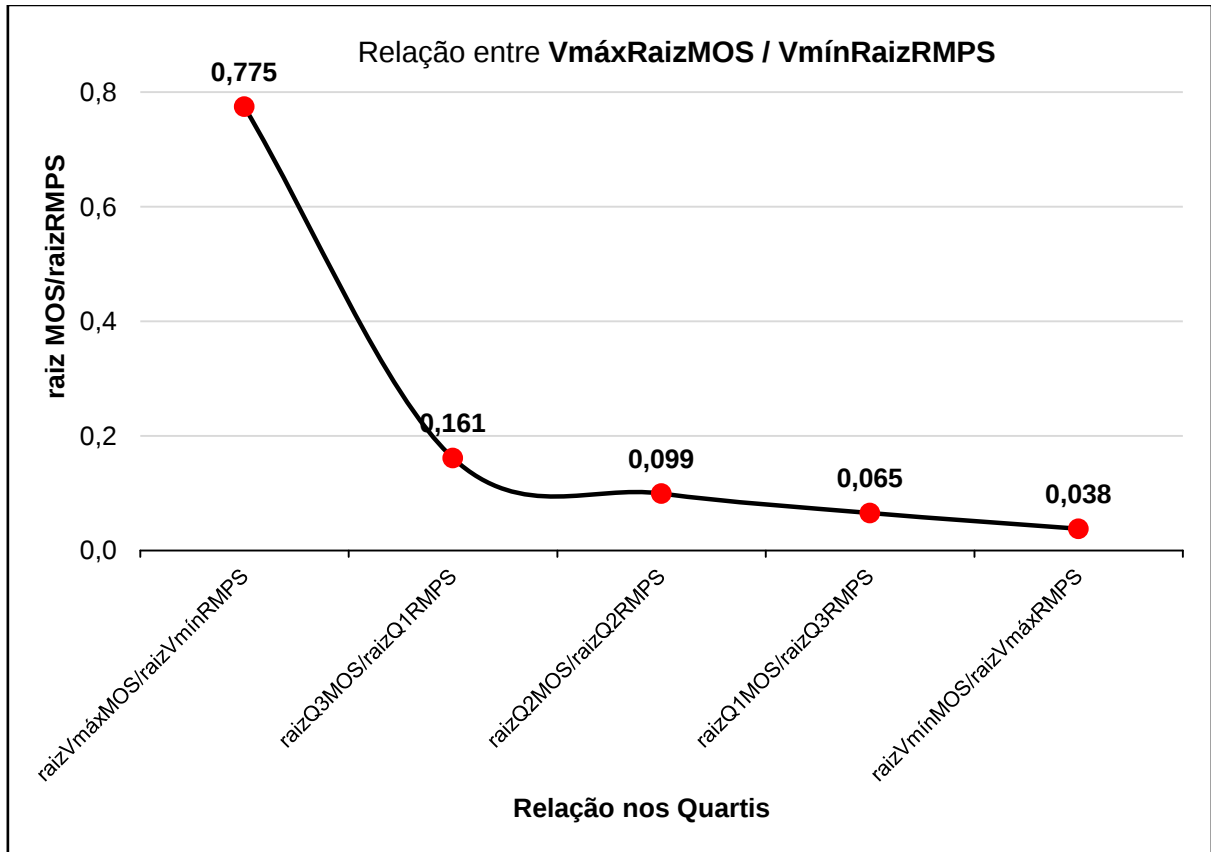
Para verificar a sensibilidade máxima e mínima desse fator para o rol de dados obtidos, foi realizado o cruzamento entre os valores máximo de RMPS com o mínimo da matéria orgânica no solo e vice versa em duas simulações. Os resultados são apresentados nas **Figuras 12 e 13**.

Figura 12: Simulação inversa do fator que divide o valor mínimo, quartis e valor máximo da raiz quadrada da matéria orgânica no solo (MOS) pelo valor máximo, quartis e valor mínimo da raiz quadrada da resistência mecânica à penetração do solo (RMPS).



Fonte: Elaboração Própria

Figura 13: Simulação inversa do fator que divide o valor máximo, quartis e valor mínimo da raiz quadrada da matéria orgânica no solo (MOS) pelo valor mínimo, quartis e valor máximo da raiz quadrada da resistência mecânica à penetração do solo (RMPS).



Fonte: Elaboração própria

Nota-se nessas duas simulações inversas (**Figuras 12 e 13**), que os indicadores de matéria orgânica no solo (MOS) e resistência mecânica à penetração do solo (RMPS) atuam em condições opostas. Isso quer dizer que o aumento da quantidade do teor de MOS contribui para a redução da RMPS e vice versa, corroborando com as ideias explicitadas por Dalchiavon et al. (2014).

Diante dessa constatação, nota-se que os maiores valores nos dois gráficos, estão relacionados com o aumento do teor de matéria orgânica no solo (MOS) e os valores menores com o aumento da RMPS.

O estudo do comportamento do fator que relaciona a matéria orgânica no solo (MOS) e a resistência mecânica à penetração do solo (RMPS) facilita o detalhamento da simulação da sensibilidade do índice ao ser multiplicado pelo fator composto pelo coeficiente de permeabilidade do solo (k).

Assim, o fator que divide a raiz quadrada da matéria orgânica no solo (MOS) pela raiz quadrada da resistência mecânica à penetração do solo (RMPS) foi multiplicado pelo coeficiente de permeabilidade (k) de dois tipos de solos, argilosos e arenosos, considerados na relação estabelecida pelo IQPMS.

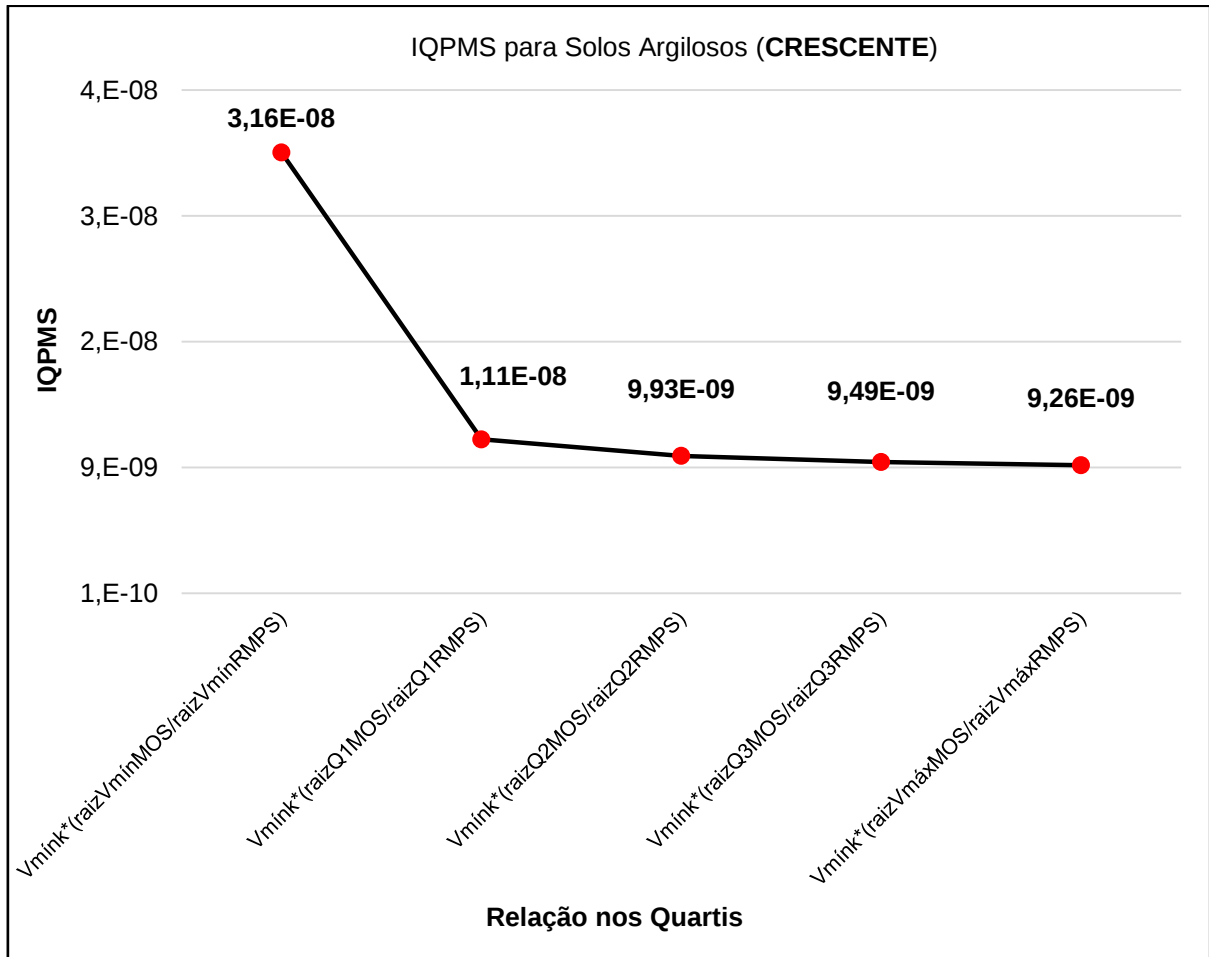
O coeficiente de permeabilidade (k) característico de solos arenosos e solos argilosos foram simulados considerando os valores, mínimo ($V_{\text{mín}} = 1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$) típico de solos de granulometria argilosa e o quartil médio ($Q2 = 5 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$) típico de solos de granulometria arenosa. O resultado dessas simulações são apresentados a seguir.

C. Simulações crescentes dos quartis das variáveis que compõem o IQPMS de solos argilosos e arenosos

As **Figuras 14 e 15** apresentam as simulações da distribuição crescente dos quartis do fator que relaciona as raízes quadradas da matéria orgânica do solo (MOS) e da resistência mecânica à penetração (RMPS) em solos arenosos e solos argilosos.

Para tanto, o fator permeabilidade (k) foi utilizado nestas simulações considerando as duas condições de permeabilidade citadas anteriormente. Os gráficos com essas duas simulações são apresentados a seguir.

Figura 14: Simulação do Índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS) a partir dos valores crescentes mínimos, quartis e valores máximos de matéria orgânica do solo em razão da resistência mecânica a penetração do solo relacionado ao comportamento do coeficiente de permeabilidade típica de solos argilosos.



Fonte: Elaboração Própria

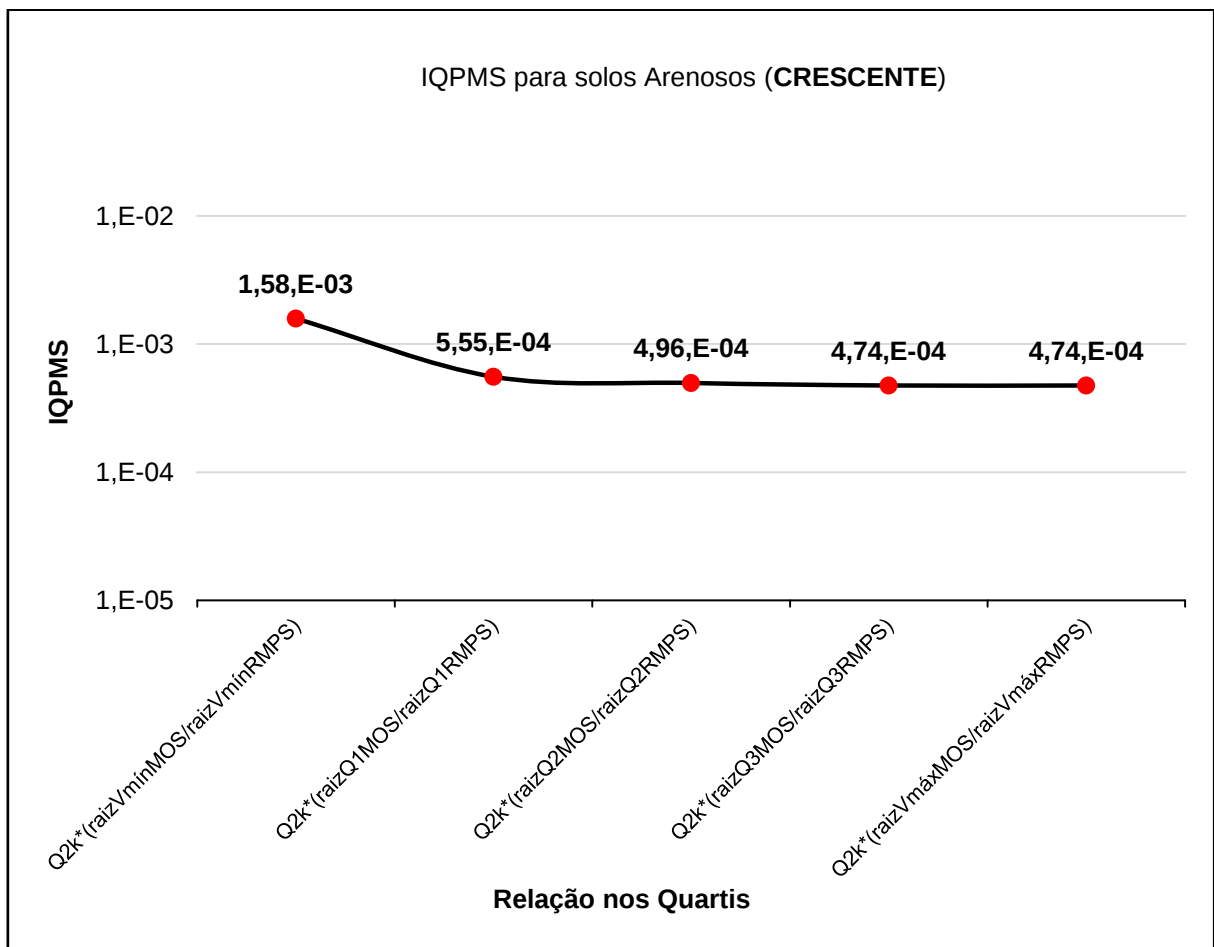
O gráfico presente na **Figura 14** mostra o baixo comportamento do valor da permeabilidade (k) considerando um solo quase impermeável, esse baixo valor de k possui relação com solos de granulometria e textura mais argilosa.

Nesse sentido, é possível notar que k ao ser multiplicado aos valores crescentes nos quartis da relação entre raiz quadrada da MOS dividindo a raiz quadrada da RMPs, reduz os valores do índice em virtude do baixo coeficiente de permeabilidade (k) de solos argilosos.

Os resultados dessa simulação foram portanto: $V_{mín} = 3,16 \times 10^{-8}$, $Q1 = 1,11 \times 10^{-9}$, $Q2 = 9,93 \times 10^{-9}$, se estabilizando entre o $Q3 = 9,49 \times 10^{-9}$ até o $V_{máx} = 9,26 \times 10^{-9}$.

Já o comportamento da simulação crescente para solos arenosos, apresentou um gráfico com configuração semelhante ao do solo argiloso (**Figura 14**), porém com valores absolutos maiores, como expõe a **Figura 15**.

Figura 15: Simulação do índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS) partindo dos valores crescentes mínimos, quartis e valores máximos de matéria orgânica do solo em razão da resistência mecânica a penetração do solo relacionado ao comportamento do coeficiente de permeabilidade típica de solos arenosos.



Fonte: Elaboração Própria

O gráfico da **Figura 15** simula este índice sob uma condição de alto coeficiente de permeabilidade (k), relacionada a solos de granulometria e textura mais arenosa.

Nesta simulação, o alto valor de k ($Q2 = 5 \times 10^{-3} \text{cm/s}$) gera valores absolutos maiores do IQPMS em comparação com a simulação apresentada na **Figura 14**, para solos argilosos.

Assim, nota-se no gráfico desta simulação uma maior sensibilidade do índice no intervalo que compreende o valor mínimo ($V_{\min} = 1,58 \times 10^{-3}$) até o primeiro quartil ($Q_1 = 5,55 \times 10^{-4}$), reduz o intervalo de valores a partir da mediana $Q_2 = 4,96 \times 10^{-4}$ até o terceiro quartil ($Q_3 = 4,74 \times 10^{-4}$) e se estabiliza até o valor máximo ($V_{\max} = 4,74 \times 10^{-4}$).

As simulações apresentadas nos gráficos das **Figuras 14 e 15** demonstraram que no intervalo entre os valores mínimos e máximos nos quartis para as duas simulações crescentes (solos argilosos e solos arenosos), a sensibilidade do índice apresentou significativa amplitude entre os valores extremos.

Nota-se que a diminuição no valor do coeficiente de permeabilidade (k) contribui para a redução nos valores do índice e o aumento do indicador resulta em crescimento do IQPMS. Nesse sentido, o coeficiente de permeabilidade (k) interfere significativamente nos resultados do índice.

Todavia, com a matéria orgânica no solo (MOS) e a RMPS ocorre o processo o oposto. Isso significa que na relação crescente entre a MOS e RMPS (**Figura 11**) ocorre a diminuição do IQPMS. Isso demonstra que existe uma relação inversa entre o fator permeabilidade do solo (k) e o fator que relaciona as raízes quadradas dos indicadores de MOS e RMPS.

Nas duas simulações apresentadas nas **Figuras 14 e 15**, os valores maiores do IQPMS nos dois tipos de solo, demonstram que conforme aumenta a o teor de MOS também aumenta a RMPS.

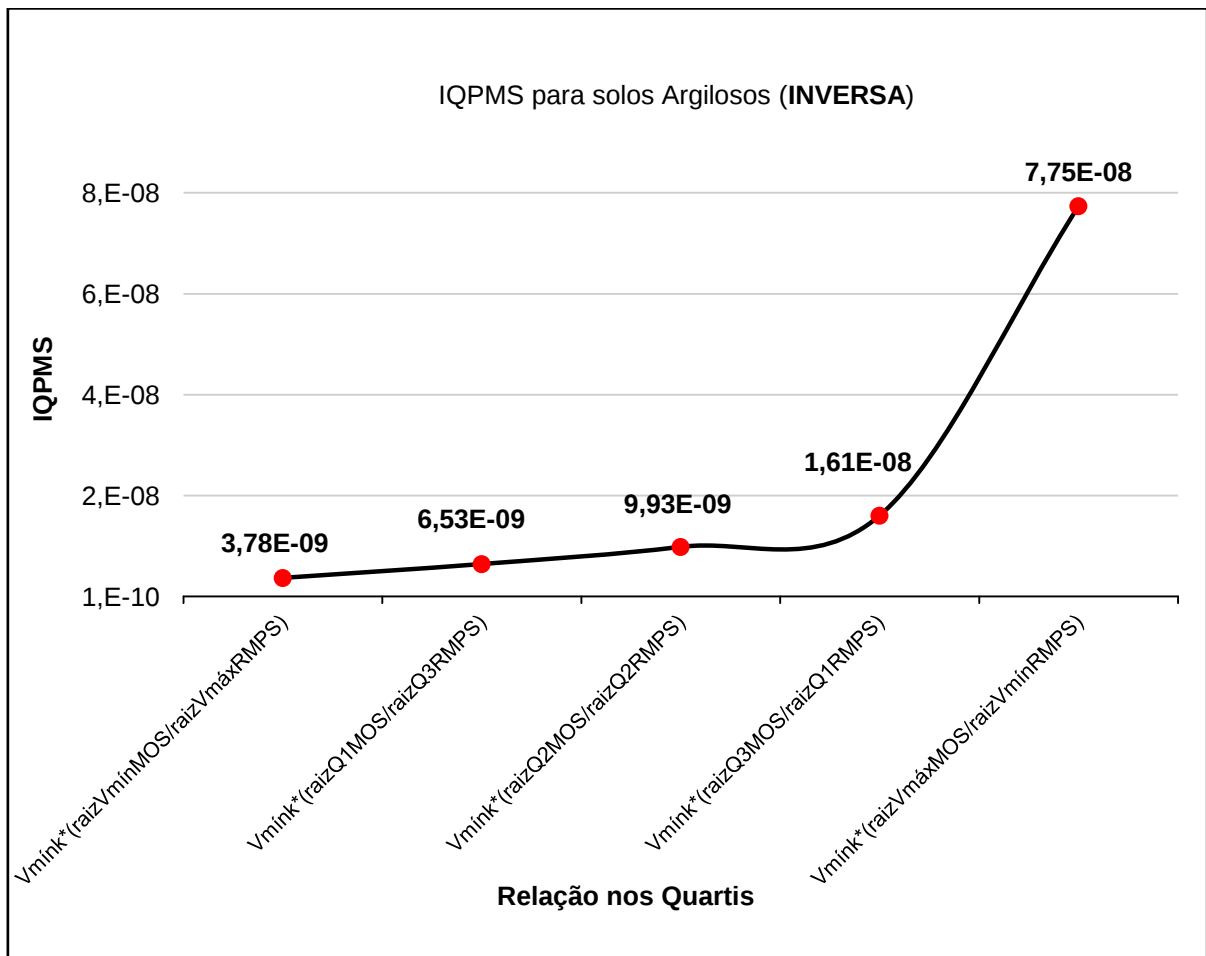
As duas simulações mostram que os valores extremos resultantes podem ser problemáticos e, nesse sentido, a aplicação prática poderá justificar melhor o resultado das simulações do índice em condições reais de manejo.

D. Simulações inversas dos quartis das variáveis que compõem o IQPMS em solos argilosos e em solos arenosos

Para analisar o comportamento do índice em solos argilosos e arenosos outras simulações foram realizadas. O fator que divide a raiz quadrada da matéria orgânica no solo pela raiz quadrada da RMPS assumiram relações inversas nos quartis das variáveis. Essas simulações foram expostas pelos gráficos das **Figuras 16, 17, 18 e 19** com o resultado das relações inversas possíveis de ocorrer entre a raiz quadrada da MOS dividida pela raiz quadrada da RMPS nos quartis (valor mínimo, quartis e

valor máximo e valor máximo, quartis e valor mínimo, respectivamente) tanto para solos argilosos ($V_{\min}$) como para solos arenosos (Q_2).

Figura 16: Simulação do Índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS) a partir do valor mínimo, quartis e valor máximo de matéria orgânica do solo dividida pelo valor máximo, quartis e valor mínimo da resistência mecânica a penetração do solo no comportamento do coeficiente de permeabilidade em solos argilosos.



Fonte: Elaboração Própria

A primeira simulação inversa dos valores extremos e quartis que dividem as raízes quadradas da MOS e da RMPs para solos argilosos (**Figura 16**), mostra que os valores absolutos resultantes dessa simulação podem demonstrar inconsistência nas quantidades apontadas pelos valores extremos dos indicadores de MOS e RMPs com relação ao coeficiente de permeabilidade (k) de solos argilosos.

Assim, mesmo que um solo argiloso, normalmente, apresente baixo coeficiente de permeabilidade (k), Ferreira et al. (2010) afirma que sua retenção de água é mais

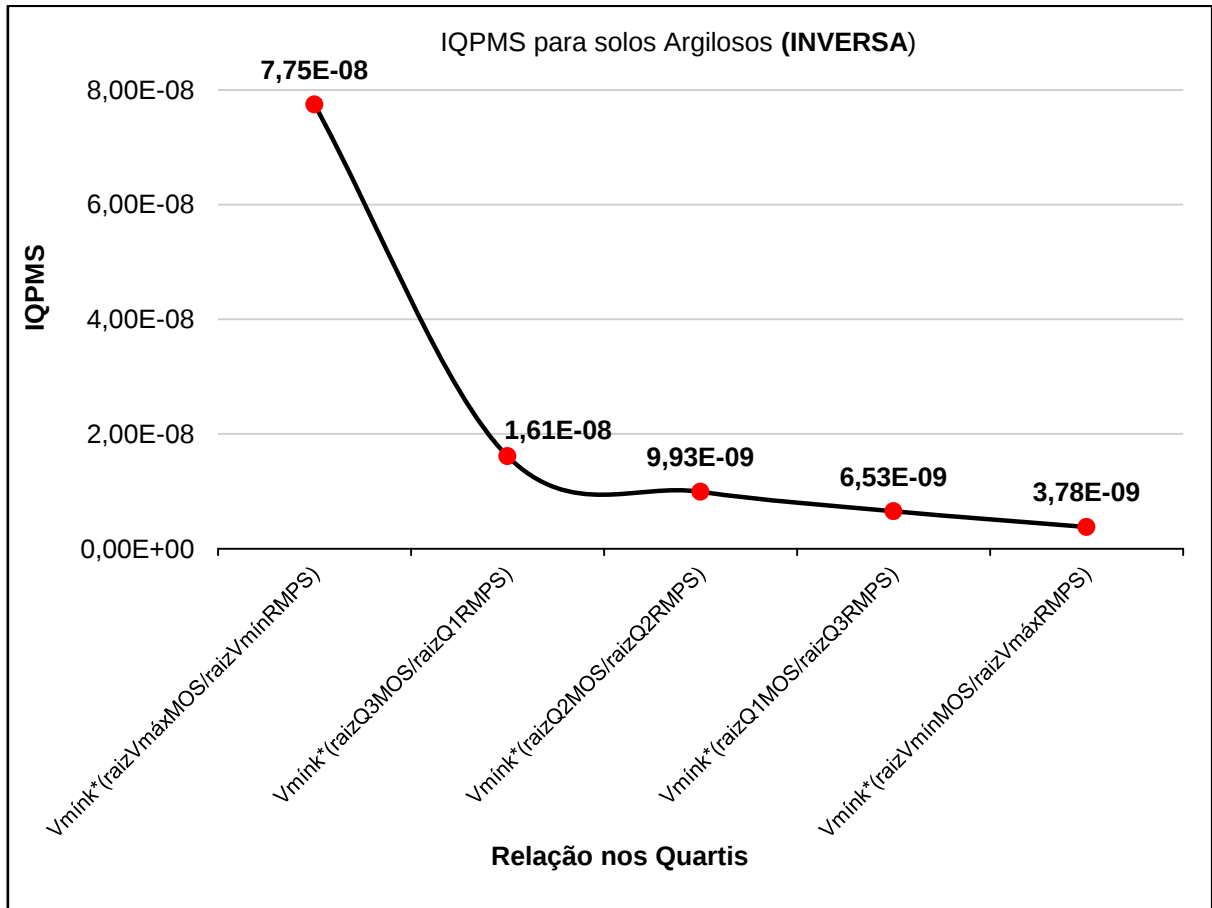
favorecida devido a alta microporosidade do solo, o que também pode contribuir para o aumento da quantidade de matéria orgânica no solo, em virtude da disponibilidade e hídrica e da baixa aeração.

Entretanto os autores ainda afirmam que esse tipo de solo costuma ser mais suscetível ao aumento da RMPS por influência da maior coesão existente entre as partículas do solo, o que pode ser positivo em relação a menor taxa de erosão e lixiviação, entretanto pode torná-lo mais propenso à compactação.

O gráfico da **Figura 16** apresenta a simulação do aumento da quantidade de matéria orgânica no solo (MOS) e a diminuição da RMPS em solos argilosos. Nota-se que conforme aumenta os valores do índice ocorre a diminuição da RMPS e o aumento do teor de matéria orgânica (MOS) em solos argilosos.

O gráfico aponta os resultados do IQPMS para essa primeira simulação inversa que foram, portanto, $V_{\min} = 3,78 \times 10^{-9}$, $Q1 = 6,53 \times 10^{-9}$, $Q2 = 9,93 \times 10^{-9}$, $Q3 = 1,61 \times 10^{-8}$ e $V_{\max} = 7,75 \times 10^{-8}$.

Figura 17: Simulação do índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS) a partir do valor máximo, quartis e valor mínimo de matéria orgânica do solo dividida pelo valor mínimo, quartis e valor máximo de resistência mecânica à penetração do solo no comportamento do coeficiente de permeabilidade em solos argilosos.



Fonte: Elaboração própria

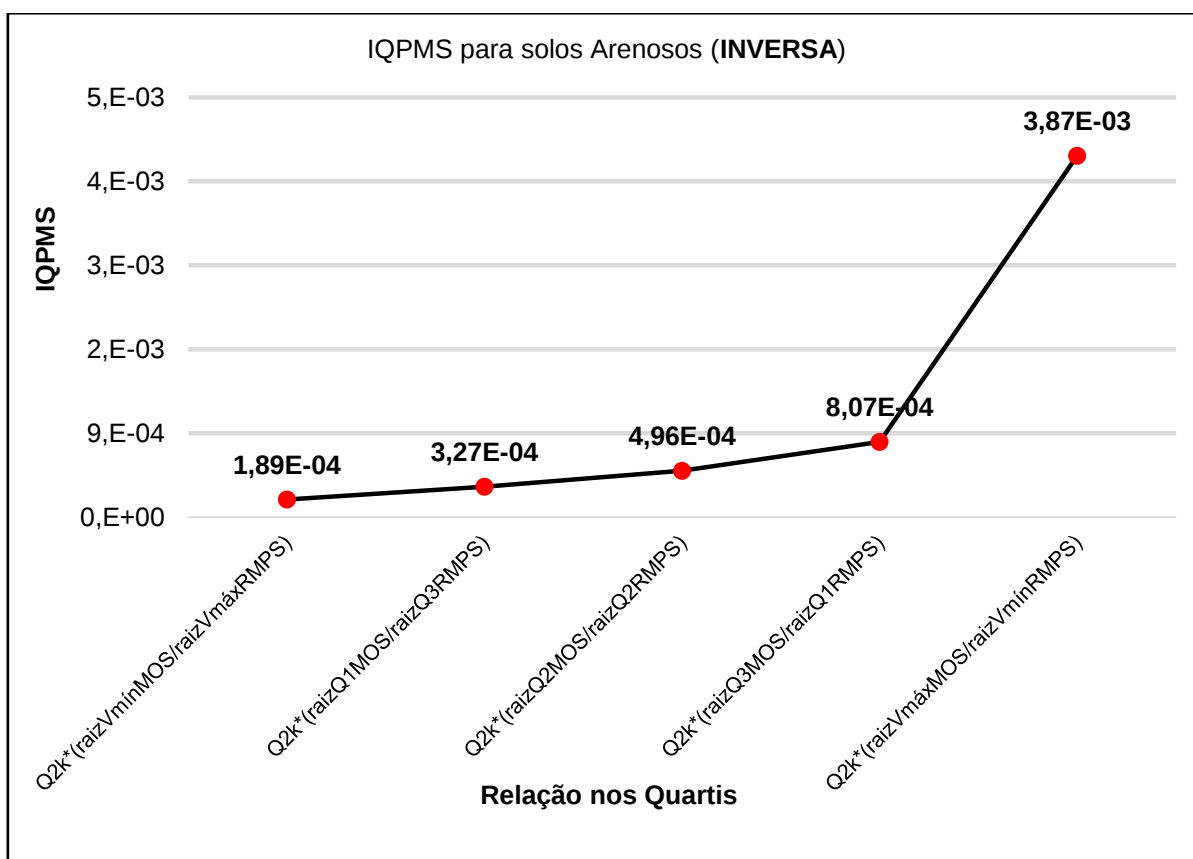
A segunda simulação da condição inversa dos valores mínimos, máximos e quartis, inicia-se a partir dos valores máximo do teor de matéria orgânica pelo mínimo de RMPS e pode ser observado por meio da **Figura 17**, trata-se de uma resposta inversa ao gráfico da **Figura 16**.

A simulação presente no gráfico da **Figura 17** mostra que a diminuição da quantidade de matéria orgânica no solo (MOS) pode estar relacionada com o aumento da RMPS em solos argilosos.

Portanto, os menores valores do índice nessa simulação podem indicar maior fragilização promovida pelos manejos agrossilvipastoris e indicar que os maiores valores do IQPMS denotam melhores condições das práticas de manejo.

Os resultados do IQPMS nesta simulação inversa foram: $V_{\min} = 7,75 \times 10^{-8}$, $Q_1 = 1,61 \times 10^{-8}$, $Q_2 = 9,93 \times 10^{-9}$, $Q_3 = 6,53 \times 10^{-9}$ e $V_{\max} = 3,78 \times 10^{-9}$.

Figura 18: Simulação do Índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS) a partir do valor mínimo, quartis e valor máximo de matéria orgânica do solo dividida pelo valor máximo, quartis e valor mínimo de resistência mecânica a penetração do solo no comportamento do coeficiente de permeabilidade em solos arenosos.



Fonte: Elaboração Própria

O gráfico da **Figura 18** apresenta a simulação inversa para solos arenosos, ou seja, solos com maior coeficiente de permeabilidade (k). Dado os valores mínimos, máximos e quartis do coeficiente de permeabilidade, iniciou-se a simulação a partir dos valores mínimo, quartis e máximo do teor de matéria orgânica pelo máximo, quartis e mínimo de RMPS.

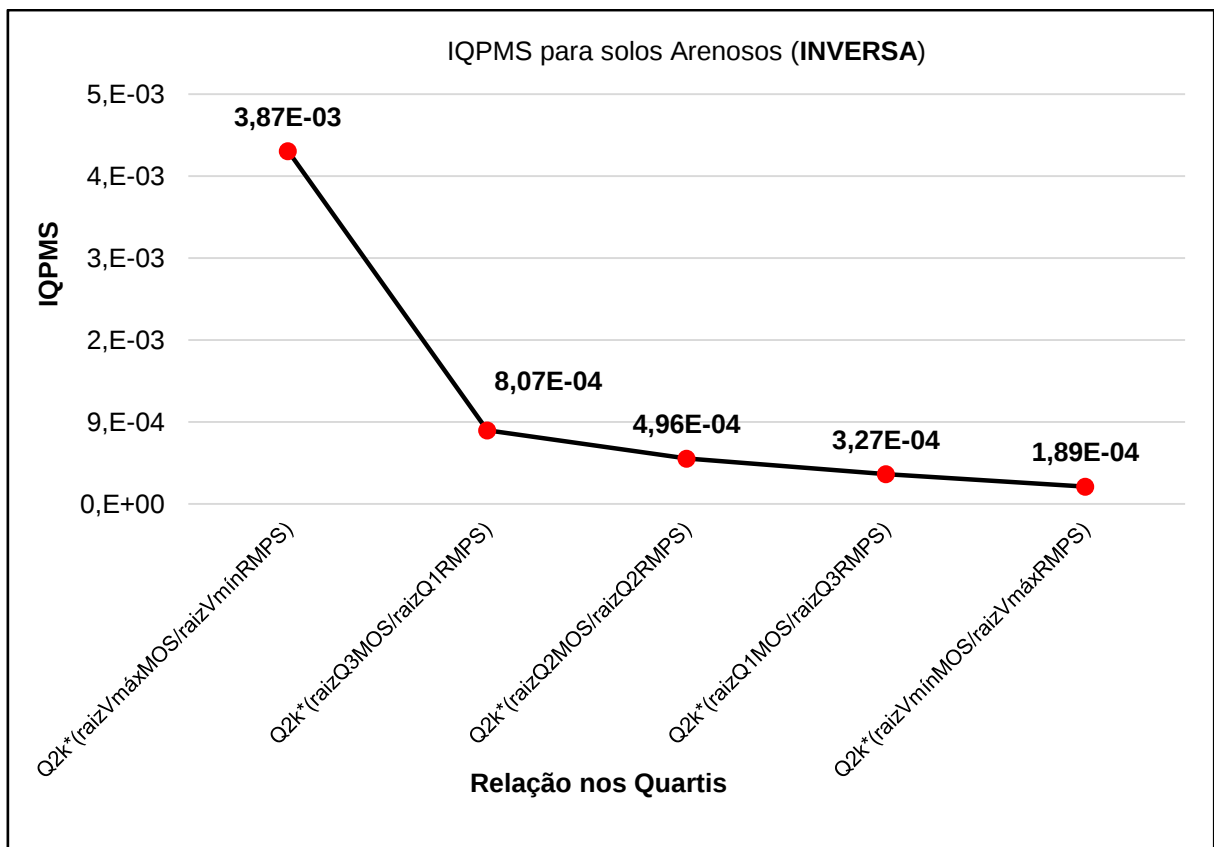
Observa-se que trata-se de uma condição extrema e o valor mínimo para o índice foi de $1,89 \cdot 10^{-4}$. Isso mostra que a medida que aumenta o teor de MOS diminui a RMPS sob determinada condição de manejo. Percebe-se ainda, que os valores absolutos do índice também aumentam ao se aproximar do valor máximo de

$3,87 \cdot 10^{-3}$. Portanto, essas condições atribuem ao índice um potencial para análise da qualidade do manejo e sua influência para a fragilização do solo.

Nessa inserção, solos com maior coeficiente de permeabilidade (k) podem elevar os valores absolutos do IQPMS, de modo que o alto teor de matéria orgânica no solo (MOS) aliado a baixa RMPS podem estar relacionados com melhores práticas de manejo.

Os valores resultantes dessa simulação inversa em solos arenosos foi $V_{\min} = 1,89 \times 10^{-4}$, $Q1 = 3,27 \times 10^{-4}$, $Q2 = 4,96 \times 10^{-4}$, $Q3 = 8,07 \times 10^{-4}$ e $V_{\max} = 3,87 \times 10^{-3}$.

Figura 19: Simulação do Índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS) a partir do valor máximo, quartis e valor mínimo de matéria orgânica do solo dividida pelo valor mínimo, quartis e valor máximo de resistência mecânica a penetração do solo no comportamento do coeficiente de permeabilidade de solos arenosos.



Fonte: Elaboração própria

A **Figura 19** apresenta um gráfico com a simulação inversa dos quartis do IQPMS para solos arenosos. Essa simulação ocorre a partir da relação entre os valores máximo, quartis e mínimo do teor de matéria orgânica (MOS) pelos valores

mínimo, quartis e máximo de RMPS. O maior valor foi de $3,87 \cdot 10^{-3}$, sob uma condição de atribuição do valor máximo do teor de MOS em razão do valor mínimo da RMPS.

O gráfico da simulação mostra que os maiores valores do IQPMS podem estar relacionados com a melhoria das condições do manejo agrossilvipastoril em virtude do aumento da quantidade do teor de MOS, que condiciona boas práticas de manejo. Os menores valores do IQPMS apresentam a redução no teor de MOS e aumento da RMPS que está associado ao aumento da fragilização da área de manejo agrossilvipastoril.

Para esta simulação foram obtidos os seguintes resultados: $V_{\min} = 3,87 \cdot 10^{-3}$, $Q1 = 8,07 \cdot 10^{-4}$, $Q3 = 4,96 \cdot 10^{-4}$, $Q4 = 3,27 \cdot 10^{-4}$ e o $V_{\max} = 1,89 \cdot 10^{-4}$.

As simulações em um contexto geral mostraram que os valores extremos deste índice se apresentam dentro de condições possivelmente críticas, uma vez que as condições do coeficiente de permeabilidade (k) dos solos podem não ser condizentes com as quantidades de MOS ou RMPS. Nesse sentido, para uma melhor interpretação da sensibilidade deste índice, experimentações são necessárias para verificar mais efetivamente o seu alcance da aplicabilidade.

Comparando os resultados obtidos nas simulações do IQPMS com base em valores extraídos da literatura, observa-se que a maior redução no teor de matéria orgânica no solo (MOS), geralmente, ocorre em sistemas convencionais de produção, o que pode resultar em acúmulo de partículas finas em suspensão, em se tratando de solos com textura mais argilosa, esse tipo de situação pode resultar em selamento superficial do solo, comprometendo o coeficiente de permeabilidade do solo (k) e aumentando a RMPS (REICHERT e VEIGA, 1992; REINERT e REICHERT, 2006; SCHMIDT FILHO et al., 2016, EPITÁCIO et al., 2019).

Os valores do coeficiente de permeabilidade (k) considerados em áreas de manejo agrossilvipastoris na escala apresentada por Cavalcante & Casagrande (2006) estão compreendidos na faixa entre 10^{-2} a 10^{-7} (faixa das texturas de areia, silte e argila).

A faixa que contempla os valores de 10^{-2} indica solos mais arenosos e a faixa de 10^{-7} caracteriza solos mais argilosos, apesar disso, todos os solos nessa faixa são considerados permeáveis. Nesse sentido, o manejo mais adequado à produção

agrossilvipastoril dentro dessa faixa de permeabilidade (k) dependerá do interesse da gestão.

Em relação aos valores de RMPS, eles são considerados elevados quando resultam em efeitos restritivos ao crescimento das raízes das plantas. Deste modo, a RMPS entre 10 a 20 kgf/m² é considerada moderada, de 20 a 40 kgf/m² constituem-se valores altos e acima de 40 kgf/m² de RMPS, praticamente não ocorre o crescimento das raízes (ARSHAD et al., 1996).

Sobre isso Stefanoski et al. (2013) dizem que, embora a RMPS varie em relação ao tipo de solo, criação de animais e com a espécie cultivada na área de manejo, ela é ocasionada, principalmente, por atividades antrópicas contínuas e mal planejadas e, por esse motivo, valores críticos de RMPS podem ser impeditivos ao crescimento radicular.

Entretanto, para que se obtenha melhores resultados de RMPS, Costa, Silva e Ribeiro (2013) dizem que, a matéria orgânica no solo (MOS) em quantidade adequada constitui a base fundamental para uma produtividade agrícola sustentável, uma vez que seus efeitos diretos, são capazes de modular as condições químicas, físicas e biológicas do solo, e por consequência, a eficiência nutricional, sendo considerada um importante indicador da qualidade do solo.

A matéria orgânica no solo (MOS) que é considerada fonte de nutrientes às plantas, possui influência na infiltração, retenção de água e na estruturação do solo, acarretando em diminuição da suscetibilidade do solo à erosão, capacitando a troca de cátions e a ciclagem de nutrientes, além do estímulo a preservação da biota presente no solo. Nesse sentido, maiores quantidades de matéria orgânica no solo reduzem os custos com adubos, produtos fitossanitários e água, além de contribuir com o aumento na produtividade.

O Instituto Agronômico de Campinas (2015) e Garcia et al. (2018) expõem que solos com matéria orgânica no solo (MOS) acima de 60 g/dm³ indicam acúmulo desse indicador por condições localizadas no solo, o que pode estar relacionado a má drenagem ou acidez elevada, entretanto, complementam que solos que possuem variação de matéria orgânica no solo (MOS) entre 30 e 60 g/dm³ pode ser considerada quantidade adequada para áreas de manejo agrossilvipastoris e os valores inferiores a esses caracterizam solos mais arenosos.

Em contrapartida, Damatto Junior et al. (2006) afirmam que é recomendada a aplicação de matéria orgânica (MOS) humificada ao solo como uma maneira de controlar a toxidez causada às culturas agronômicas, provocada por elementos encontrados em quantidades acima do normal (alumínio, ferro e manganês), o que é possível em virtude da capacidade do húmus em fixar e complexar esses elementos. Nesse sentido, a matéria orgânica no solo (MOS) pode apresentar um efeito semelhante ao da calagem em relação a correção da acidez e neutralização de níveis tóxicos de alumínio.

Schmidt Filho et al. (2016) afirmam que a utilização da torta de filtro como fonte de matéria orgânica no solo (MOS) na produção vegetal trata-se de uma prática que está se tornando cada vez mais comum, uma vez que além do incremento em nutrientes, pode contribuir com benefícios físicos e biológicos do solo. Nesse sentido, atua para o maior crescimento e desenvolvimento para as plantas, situação que contribui para a melhoria da RMPS em relação ao desenvolvimento radicular das plantas e o aumento do coeficiente de permeabilidade do solo (k), atenuando os processos erosivos e aumentando a produtividade.

Beutler et al. (2001) dizem que os atributos de k , matéria orgânica no solo (MOS) e RMPS apresentam boa performance como indicadores da qualidade do solo, visto que possuem relação com a capacidade do solo em manter uma produtividade sustentável, influenciando para a melhoria do ambiente, da planta, do animal e do homem, contribuindo para a redução da erosão hídrica.

Por esses motivos o IQPMS apresenta um potencial para auxiliar na determinação da fragilização de áreas com base na contribuição da matéria orgânica no solo (MOS) e da RMPS, que influenciam na condição apresentada pelo coeficiente de permeabilidade (k) do solo voltado ao manejo agrossilvipastoril, auxiliando na determinação da qualidade física do solo nas diversas práticas de manejo.

Assim, o IQPMS permite elaborar relatórios organizacionais de áreas de manejo agrossilvipastoris por gestores e produtores agrícolas interessados em produções agrícolas mais sustentáveis.

5.2.2.4 Resultado da aplicabilidade e sensibilidade do Índice de Influência da Pressão Antrópica no Manejo do Solo (IIPAMS)

O Índice de Influência da Pressão Antrópica no Manejo do Solo (IIPAMS) demonstra a intensidade da Pressão Antrópica no Manejo do Solo analógica em relação da Resistência Mecânica à Penetração do Solo, como mostra a **Equação 15**.

$$IIPAMS = \frac{PAMS}{RMPS} \quad (15)$$

Onde:

PAMS = Pressão Antrópica no Manejo do Solo [MPa];

RMPS = Resistência Mecânica à Penetração do Solo [MPa].

Esse índice apresenta potencial para análise da presença da atividade humana e sua contribuição na inibição da condição edáfica por meio de ações ao solo.

Para verificar a sensibilidade do IIPAMS foi utilizado um vetor com valores, mínimo e máximo, da PAMS analógica obtida de uma discussão que ponderou os valores de Pressão Antrópica no Manejo do Solo análogica a partir dos usos da terra e técnicas agrícolas determinada por especialistas relacionada aos valores de RMPS conforme a literatura (ARSHAD et al., 1996).

Foram elaborados vetores a partir dos valores extremos extraídos na literatura (**APÊNDICE 3**). Os vetores resultaram em valores mínimos (Vmín), o primeiro quartil (Q1), a mediana (Q2), o terceiro quartil (Q3) e também os valores máximos (Vmáx.) para cada variável que compõe este índice, como expõe a **Tabela 12**.

Tabela 12: Quartis e valores mínimos e máximos da pressão antrópica no manejo do solo analógica (PAMS) e a resistência mecânica a penetração do solo (RMPS) utilizados para o cálculo do IIPAMS.

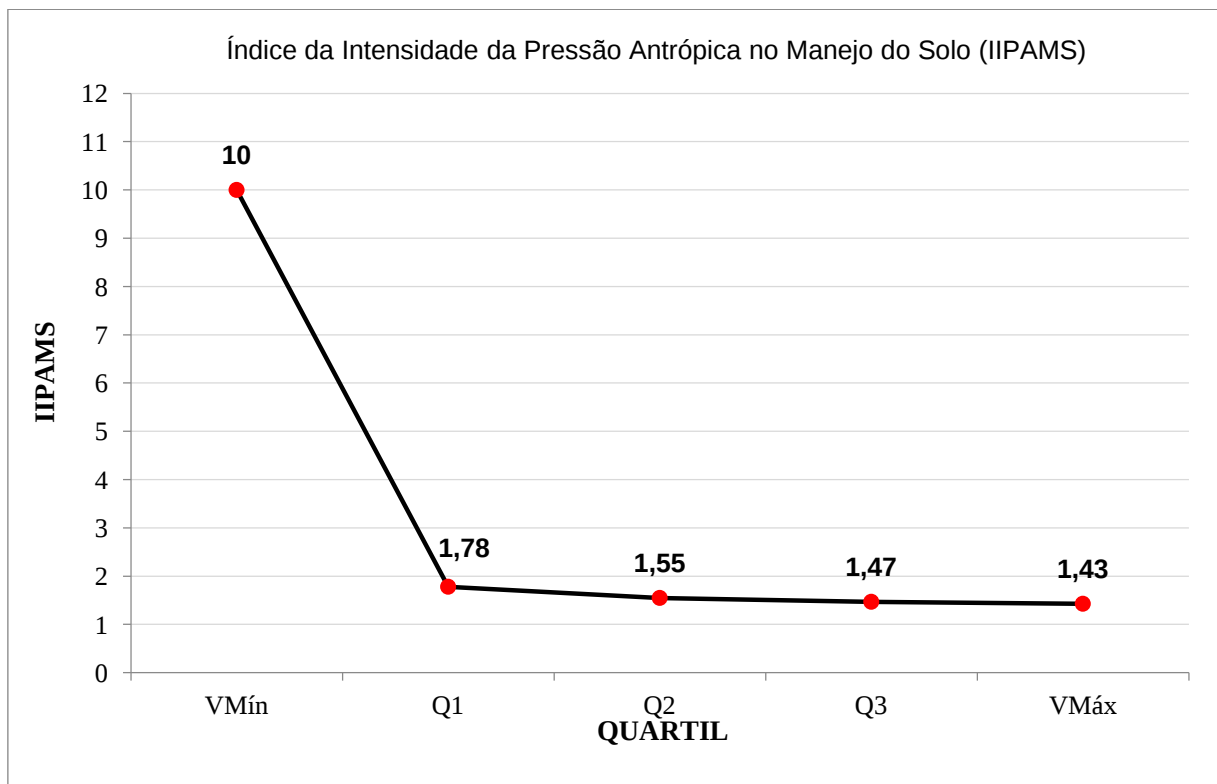
QUARTIL	PAMS (MPa)	RMPS (MPa)
Vmín	1	0,1
Q1	3,25	1,8
Q2	5,5	3,6
Q3	7,75	5,3
Vmáx	10	7,0

Fonte: Elaboração própria

Legenda: PAMS representa a Pressão Antrópica no Manejo do Solo analógica (MPa) e RMPS é a Resistência mecânica à Penetração do solo (MPa).

Para a simulação do IIPAMS para averificação da sensibilidade, foram utilizados valores crescentes das variáveis que compõem o índice, partindo do valor mínimo, quartis até o valor máximo. Os resultados dessa simulação podem ser conferidos no gráfico da **Figura 20**.

Figura 20: Simulação do índice da Intensidade da Pressão Antrópica no Manejo do Solo analógica partindo dos valores crescentes mínimos, quartis até os valores máximos.



Fonte: Elaboração própria

A **Figura 20** apresenta uma simulação em valores crescente dos quartis da PAMS analógica e a RMPS. A simulação aponta que conforme os valores absolutos dos indicadores aumentam, também aumenta o valor absoluto do índice IIPAMS.

Percebe-se que o valor mínimo do IIPAMS nessa simulação foi o que apresentou o maior valor ($V_{\min} = 10$). Uma situação como essa, em que a PAMS e a RMPS encontram-se em seus valores mínimos, podem estar relacionadas com a presença de áreas naturais de florestas primárias e secundárias.

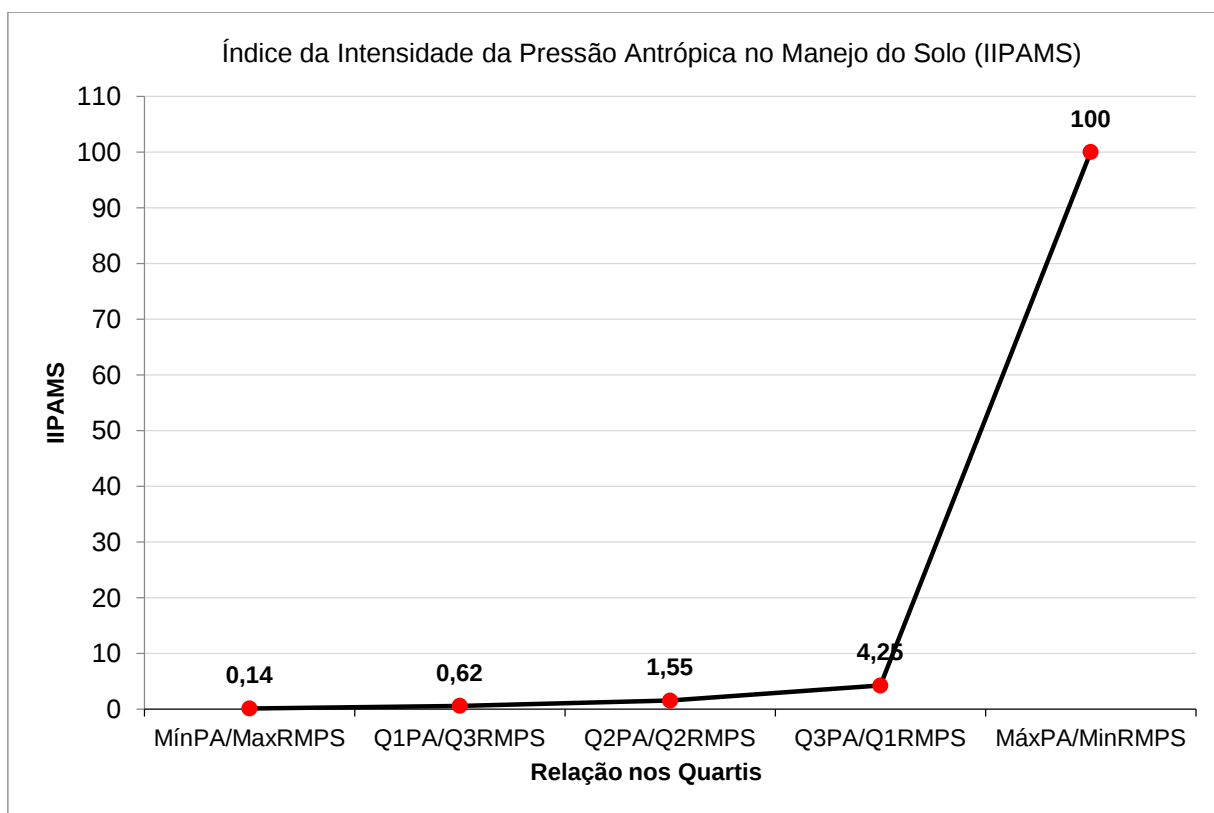
O gráfico da **Figura 20** apresenta que a maior inclinação da curva se deu no trecho entre o valor mínimo ($V_{\min}$) e o primeiro quartil (Q_1). A amplitude entre os valores extremos do índice foi de 8,57 sendo o valor máximo de 1,43.

A relação crescente entre os quartis da PAMS analógica e da RMPS atribuída pelo IIPAMS nessa simulação, demonstra que o crescimento da antropização corrobora no aumento da RMPS. Verifica-se, portanto, a capacidade do IIPAMS em representar a intensidade da pressão antrópica em práticas de manejo do solo agrossilvipastoril.

A simulação mostra a alta representatividade da RMPS no processo de fragilização antrópica, o que atribui a esse indicador relevante importância na caracterização da fragilização ambiental de áreas de manejo agrossilvipastoris. Isso a capacidade do índice em determinar a condição de resistência do solo ao crescimento radicular dos cultivos.

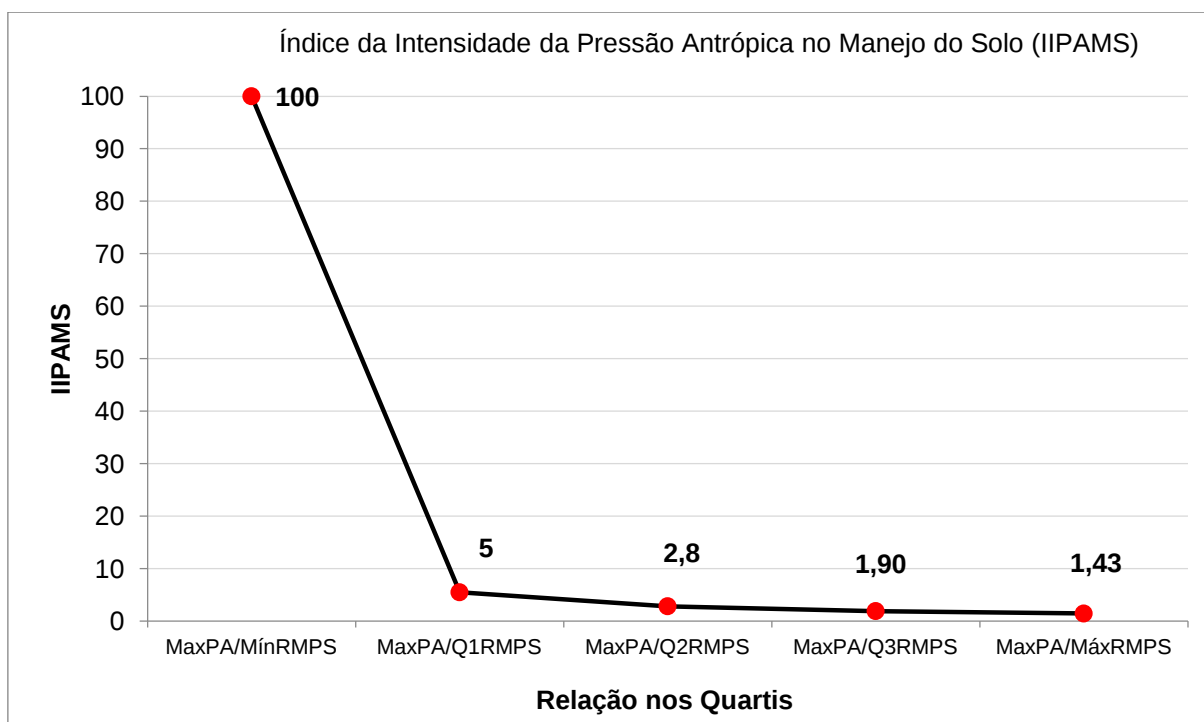
Para analisar a sensibilidade do índice em detrimento de condições de valores absolutos, máximo e mínimo, mais duas simulações foram realizadas. Foram consideradas nestas simulações a relação entre os valores mínimo, quartis e máximo de pressão antrópica no manejo do solo (PAMS) analógica e o máximo, quartis e mínimo de RMPS e seu gráfico oposto em seguida. As **Figuras 21 e 22** expõem esses resultados.

Figura 21: Simulação do Índice da Intensidade da Pressão Antrópica no Manejo Solo a partir dos valores, mínimo, quartis e máximo de Pressão Antrópica no Manejo do Solo analógica pelos valores máximo, quartis e mínimo de RMPS.



Fonte: Elaboração própria

Figura 22: Simulação do Índice da Intensidade da Pressão Antrópica no Manejo Solo a partir dos valores máximo, quartis e mínimo de Pressão Antrópica no Manejo do Solo analógica pelos valores mínimo, quartis e máximo de RMPS.



Fonte: Elaboração própria

Ao analisar os resultados das duas condições de simulações inversas nos gráficos das **Figuras 21 e 22**, nota-se que os valores mínimos obtidos para o IIPAMS foi 0,14 e 100 e os valores máximos de 100 e 0,14.

Esses valores absolutos, máximos e mínimos, do índice podem ser entendidos como críticos. Assim, acredita-se que para melhor análise da aplicabilidade e sensibilidade dos indicadores que compõem esse índice sob essas condições, o índice deverá ser experimentado.

Com base na literatura, Ortega e Carvalho (2013) apontam que as maiores pressões antrópicas no manejo do solo ocorrem por influência de ocupação desordenada, supressão sob as matas ciliares, crescimento populacional, queimadas pelo cultivo, utilização de implementos e maquinários agrícolas, erosão superficial e perda de fauna e flora.

Nesse sentido nota-se que a antropização relacionada às práticas agrícolas, normalmente, são muito impactantes, o que pode ter relação com a conversão de floresta naturais ou secundárias em florestas plantadas de eucalipto, culturas perenes, pastagens para criação de animais, culturas anuais e uso urbano.

Dentro da bacia hidrográfica isso pode resultar em graves problemas ambientais e esgotamento dos recursos naturais, visto que atividades antrópicas como o desmatamento, a construção hidroelétrica, o uso agrícola, a construção de estradas, loteamentos e outros, geram impactos inevitáveis nesses ambientes que podem influenciar severamente o desenvolvimento das sociedades presentes e futuras, caso não haja conservação e utilização racional das áreas utilizadas para as práticas de manejo (VICH, 2010; ORTEGA E CARVALHO, 2013).

Assim, as áreas de vegetação nativa (primária ou secundária) normalmente apresentam baixos resultados de RMPS neste índice em virtude da ausência ou reduzida Pressão Antrópica no Manejo do Solo (PAMS) nesses locais. Em áreas urbanizadas ou com manejos intensivos sem práticas conservacionistas, podem ocorrer aumento nos valores da RMPS devido a influência da antropização, o que pode resultar em aumento do IIPAMS.

Assim, é possível constatar pelos argumentos de Canarache (1990) e Ribeiro et al. (2006) que valores de RMPS acima de 5 MPa interferem negativamente para o crescimento edáfico, uma vez que potencializa o selamento superficial do solo e aumenta os processos erosivos em razão da diminuição do espaço poroso do solo, o que reduz a taxa de infiltração e permeabilidade do solo devido a influência da PA crescente no ambiente natural. Essas situações podem contribuir para a degradação do solo e fragilização ambiental das áreas de manejo agrossilvipastoril.

As considerações expostas mostram que o IIPAMS pode assumir papel de destaque em relação a determinação da Pressão Antrópica no Manejo do Solo voltado às práticas de manejo agrossilvipastoris, isso em virtude da relação estabelecida entre a PAMS dividida pela RMPS.

Nesse sentido a literatura aponta que a utilização de maquinários, o tipo de cultura e as práticas agrícolas imprimidas no manejo podem ter influência nos valores obtidos para a RMPS. Essa influencia pode ser positiva ou negativa em relação a fragilização de ambientes o que irá depender do aumento ou diminuição da PAMS em atividades de manejo agrossilvipastoris.

Portanto, a utilização do IIPAMS pode proporcionar a melhor gestão dos manejos agrossilvipastoris em bacias hidrográficas voltado ao uso mais sustentável do solo. Nesse sentido, o IIPAMS pode ser capaz de auxiliar gestores na adequação e monitoramento da expansão agrícola e urbana sobre as áreas naturais.

6 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a metodologia aplicada e os resultados obtidos, foi possível propor índices de manejo do solo para análise da fragilização ambiental utilizando a análise dimensional.

Os índices gerados da aplicação do método foram classificados em duas formas de aplicabilidade, sendo os índices relacionais de áreas de manejo, composto pelo Índice Relativo de Área Natural (IRAN) e o Índice Relativo ao Solo Exposto (IRSE).

Ambos demonstraram potencial para a análise e monitoramento espacial de bacias hidrográficas, viabilizando o estudo da expansão das áreas de manejo sobre as áreas naturais e, também, da degradação do solo oriunda das práticas de manejo agrossilvipastoris inadequadas, que contribuem para a exposição do solo em bacias hidrográficas.

O outro conjunto de índices gerados pelo método, foram os relacionais de áreas de manejo agrossilvipastoril, constituídos pelo Índice de Degradação Estrutural do Manejo (IDEM), Índice de Qualidade da Profundidade Efetiva no Manejo do Solo (IQPEMS), Índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS) e Índice de Influência da Pressão Antrópica no Manejo do Solo (IIPAMS).

Dentro das características dos indicadores envolvidos, os índices relacionais de áreas apresentaram potencial de utilização para determinar a fragilidade em áreas de manejo agrossilvipastoris. Eles possibilitaram a determinação entre indicadores relativos às propriedades do solo, aqueles que sofrem maior impacto provocado pelas atividades de manejo agrossilvipastoris.

Outra característica dos índices (IRAN, IRSE, IDEM, IQPEMS, IQPMS e IIPAMS) que deve ser considerada, trata-se da capacidade que eles possuem de serem utilizados individualmente ou em conjunto, dependendo apenas do interesse do usuário.

O método de análise dimensional demonstrou viabilidade para a construção de índices voltados à análise da fragilidade ambiental de áreas de manejo agrossilvipastoris, uma vez que os produtos oriundos do método se mostraram integradores e representativos em relação ao tema.

Apesar do sucesso na aplicabilidade do método e obtenção dos índices adimensionais, o estudo dos resultados a partir de simulações requer certa abstração do pesquisador para que seja possível compreender a sensibilidade e aplicabilidade de cada um dos índices no estudo da fragilização promovida pelas atividades de manejo.

Diante disso, embora as simulações tenham auxiliado na compreensão com relação ao potencial de aplicabilidade e sensibilidade dos índices no estudo da fragilização ambiental de áreas de manejo agrossilvipastoris, afirma-se a necessidade da experimentação para consolidar a utilização dos mesmos pelos gestores.

Apesar disso, nota-se que a análise dimensional gerou produtos altamente precisos e significativos para serem aplicados em estudos de fragilização ambiental, mesmo que o método seja originalmente e mais amplamente utilizado em estudos associados à mecânica de flúidos e a hidrodinâmica.

Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se realizar uma análise de correlação entre os índices para estudos mais aprofundados em manejos agrossilvipastoris.

Além disso, ressalta-se a necessidade de experimentação desses produtos nos mais diferentes sistemas de produção agrossilvipastoril, com o fito de auxiliar produtores e gestores ambientais na gestão organizacional de diagnosticar, monitorar, identificar riscos, propor metas e aperfeiçoar os processos produtivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUALUZA, 2017., acesso em julho de 2019. <https://www.slideshare.net/mjaqualuza/solo-80873429>

AHMED, C. R. M. Fatores que influenciam a erodibilidade nos solos do município de Campos dos Goytacazes-RJ sob uma análise multicritério. **Goytacazes: UENF**, 2009.

ALBIERO, D. Avaliação do preparo de solo empregando o sistema de cultivo conservacionista em faixas com "Paraplow" rotativo usando análise dimensional. 2006. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)** – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ALMEIDA W.S., CARVALHO D.F, PANACHUKI E., VALIM W.C, RODRIGUES S.A, VARELLA C.A.A.. Hydraulic erosion in different tillage systems and soil cover, **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, 51(9), 2016, pp. 1110-1119.

ALVES, R. E.; SOUZA, L. F.; SOUZA, V. M.; QUEIROZ, T. A. F. LIMA, J. V. A degradação e fragilidade dos solos no Sudoeste de Goiás: o caso da bacia hidrográfica do Ribeirão da Picada. **Revista Geográfica de América Central** Nº 56. ISSN 1011-484X, enero-junio, pp. 235-258, 2016.

ALVES, K.L.; BORGES, W.R.. Estimativa de características geométricas de solos e rochas com radar de penetração no solo, na área de disposição de resíduos sólidos urbanos de Pirenópolis, Goiás, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 42 - 3 / 2019 p. 281-288.

AMORIM, J. V. A.; FROTA, J. C. O.; VALLADARES, G. S.; CABRAL, L. J. R. S.; GUIMARÃES, C. C. B.; COELHO, R. M.; AQUINO, R. P. Adequabilidade do uso agrícola das terras do sertão central do Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V. 10, n. 1, p. 228-238. 2017.

ANGELES, Pablo Jenner Paredez. Estudo de tochas de plasma através da teoria da similaridade. 2003. 91f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física Gleb Wataghin, Campinas, SP.

Anuário brasileiro da silvicultura (ABRAF). Letícia Mendes et al.. Santa Cruz do Sul: Editora **Gazeta Santa Cruz**, 2016. 56 p. : il. ISSN 1808-222x. <http://www.abaf.org.br/wp-content/uploads/2016/04/anuario-de-silvicultura-2016.pdf>

AQUINO, C.M.S.; OLIVEIRA, J.G.B. Estimativa do fator erodibilidade (K) das associações de solos do estado piauí descritas em jacomine (1986). *Revista Geotemas*, v. 7, n. 1, p. 26-36, 2017.

ARSHAD, M. A.; LOWERY B.; GROSSMAN B. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran, J. W.; Jones, A. J. *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123- 141. (SSA Special Publication, 49).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416 (2015)** "Pavimentos Permeáveis de Concreto - Requisitos e Procedimentos", Rio de Janeiro.

BAGARELLO, V.; STEFANO C.Di; FERRO, V.; PAMPALONE, V.(2017). Predicting maximum annual values of event soil loss by USLE-type models. Volume 155, August 2017, Pages 10-19.

BAUMGÄRTNER, L. C. Estabilidade de agregados, distribuição e perda de carbono em um latossolo vermelho amarelo sob diferentes manejos no bioma Amazônia. **Dissertação (Mestrado em Agronomia)** -- Universidade Federal de Mato Grosso. 2016.

<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1081517>

BENTIVENHA, S. R. P.; GONÇALVES, J. L. M.; SASAKI, C. M.; Mobilização do solo e crescimento inicial do eucalipto em função do tipo de haste subsoladora, profundidade de trabalho e características do solo. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.588605, set./dez. 2003.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. (2005) **Conservação do solo**. 5.ed. São Paulo: Ícone, 2005. 355p.

BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C. & PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos Cerrados. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:167-177, 2001.

BLANCO, A. B.; LETELIER, L. C. (2017) USLE/RUSLE K-factors allocated through a linear mixed model for Uruguayan soils. **Ciencia e investigación agraria**, v. 44, n. 1, p. 1–13, 2017.

BRASIL. Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização - **Portaria MMA nº9, de 23 de janeiro de 2007. Ministério do Meio Ambiente**, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. – Brasília: MMA, 2007.

BRASIL. **Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997** - Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e dá outras providências. p. 1–20, 1997.

BRITO, R.F. et al . Morfologia e fertilidade do solo em áreas de produção do semiárido. **Rev. de Ciências Agrárias**, Lisboa , v. 40, n. 3, p. 525-532, set. 2017 . Disponível em <http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871018X2017000300005&lng=pt&nrm=iso>. acesso em 02 abr. 2020. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17031>

BRIZZI, R. R.; SOUZA, A. P. de.; COSTA, A. J. S. T. Influência do manejo agrícola na suscetibilidade dos solos à erosão na sub-bacia hidrográfica do rio São Romão, Nova Friburgo/RJ. **Estudos Geográficos**, v. 15, n. 2, p. 171-191, 2017.

BUAINAIN, Antonio Marcio; GARCIA, Junior Ruiz. Polos de Irrigação no Nordeste do Brasil. Desenvolvimento recente e perspectivas. Conns. **Revue francobrésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia**, v. 23, 2015.

BUZZI O. (2010). On the use of dimensional analysis to predict soil swelling. **Engineering Geology**, 116, 149-156.

CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações -. **1. ed. Rio de Janeiro** - RJ: LTC, 1988.

CÂRDEI, P. (2010). The dimensional analysis of the USLE-MUSLE soil erosion model. **Proceedings of Romanian Academy**, 3(January), 249–253. Retrieved from <http://www.acad.ro/sectii2002/proceedingsChemistry/doc2010-3/art09Cardei.pdf>.

CARMO, Carlos Roberto Souza. Culturas temporárias no brasil: um estudo sobre possíveis determinantes da área cultivada ao longo dos anos 1991 a 2012. **Revista GeTeC**, v. 4, n.7, 2015.

CARMO, A. M. do.; SOUTO, M. V. S.; DUARTE, C. R.; MESQUITA, Á. F. Análise de Risco Ambiental à Erosão Gerada a partir de produtos de sensores remotos: MDE Topodata e Landsat 8. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17., 2015, João Pessoa-pb. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. João Pessoa-PB: SBSR, 2015. p. 5927 - 5934.

CARMO, Davi Lopes do; SILVA, Carlos Alberto. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1211-1220, Aug. 2012. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832012000400015&lng=en&nrm=iso>. access on 04 Sept. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000400015>.

CARRICOBÁ, M.S.; RODRÍGUEZ, G.I.; SÁNCHEZ, R.C.. Análise dimensional. Series: Hidráulica I, unidade didáctica 5. Livro: [Santiago de Compostela] **Servizo de Publicacións da Universidade de Santiago de Compostela**. 2011. ISBN: 9788498877779 8498877776

CARVALHO, W.T.V.; MINIGHIN, D.C.; GONÇALVES, L.C.; VILLANOVA, D.F.Q.; MAURICIO, R.M.; PEREIRA, R.V.G. 2017. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: **Revisão. Pubvet** 11(10): 1036-1045

CAVALCANTE, E. H.; CASAGRANDE, M. D. T. **Mecânica dos Solos II**. Aracajú: Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe, 2006.

CAVALLI, A. C., Peche Filho, A., Lombardi Neto, F., & Moraes, J. F. L. de. (2001). Fragilidade das terras da bacia do rio Corumbataí ao uso de diferentes métodos para o preparo do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 23, 1077-1084. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v23i0.2562>

CHAVES, H. M. L. (2010). Incertezas na predição da erosão com a usle: impactos e mitigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [en linea] 2010, 34 (Sin mes) : [Fecha de consulta: 17 de diciembre de 2018] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180217297026>> ISSN 0100-0683.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo: **Edgard Blücher**, 1999.

COLOMBO G.A., LOPES M.B.S., DOTTO M.C., CAMPESTRINI R., LIMA S.O.. "Atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado tocantinense." Campo Digit@l: **Rev. Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p.21-29, jan./jul., 2017. ISSN:1981-092X.

CORREIA, F. V. et al. (2007) Infiltração de atrazina em Latossolo submetido aos sistemas de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 11, p. 1617–1625, 2007.

CORREIA, F. V.; LANGENBACH, T.; CAMPOS, T. M. Avaliação do transporte de atrazina em solos sob diferentes condições de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200026>

COSTA, E.M.; SILVA, H.F. E RIBEIRO, P.R.A. (2013) - Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, vol. 9, n. 17, p. 1842-1860.

COSTA, Nídia Raquel et al. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 852-863, jun. 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000300852&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 21 jul. 2020. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140269>

CRUZ, G.H.T et al.. Propriedades físico-hídricas de um latossolo vermelho-amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v.12, nº.6, p. 3002 – 3011, 2018. ISSN 1982-7679 (On-line). Fortaleza, CE, INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br>. DOI: 10.7127/rbai.v12n600870.

CUNHA E.R., BACANI V.M.. (2016). Caracterização da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego Come Onça, Água Clara/MS. **Acta Geográfica** 10(22):193–205.

CUNHA F.F., RAMOS M.M., ALENCAR C.A.B., MARTINS C.E., CÔSER A.C., OLIVEIRA R.A.. Sistema radicular de seis gramíneas irrigadas em diferentes adubações nitrogenadas e manejos. **Acta Scientiarum Agronomy** 32: 351–357. 2010.

CUNHA NETO, F. V; PEREIRA, M. G; LELES, P. S. S; ABEL, E. L. S. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em Além Paraíba-MG. **Ciência florestal, Santa Maria**, v.28, n. 1, p. 13-24, 2018.

CUNHA, T. J. F., MENDES, A. M. S., GIONGO, V.. Matéria orgânica do solo. In: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. (Org.). **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: Cubo, 2015. cap. 9, p. 273-293. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1034986>

CURTIS, W.D., LOGAN, J.D. & PARKER, W.A. 1982. Dimensional Analysis and Pi Theorem. **Linear Algebra and its Applications**, 47, 117–126.

DA ROCHA, S.P. et al. Soil physical properties and eucalyptus growth planted after different tillage methods. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 965-977, 2015.

DALCHIAVON, Flávio Carlos et al. Inter-relações da produtividade de cana soca com a resistência à penetração, umidade e matéria orgânica do solo. **Rev. Ceres, Viçosa**, v. 61, n. 2, p. 255-264, Apr. 2014. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2014000200014&lng=en&nrm=iso>. access on 11 Aug. 2020. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2014000200014>.

DAMATTO JUNIOR et al. Alterações em propriedades de solo adubado com doses de composto orgânico sob cultivo de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.28, n.3, p.546-549, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v28n3/48.pdf>. Acesso em: 2 de abril. 2020. doi: 10.1590/S0100-29452006000300048

DAVILA, V. H. L. **Estatística Descritiva**. Disponível em: <https://www.ime.unicamp.br/~hlachos/estdescr1.pdf>. Acesso em: 21 de julho 2020.

DAW, M. S. (2008). Introduction to Dimensional Analysis. **Astronomy**, 1–26.

DIAGNÓSTICO DE ÁGUA E ESGOTO – **DAE Jundiá**: <https://daejundiai.com.br/>, acesso de 2018 a 2019.

DICK G. , SCHUMACHER M.V.. Silvicultura de acacia mearnsii no sul do Brasil: Biomassa

e nutrientes. Silviculture of acacia mearnsii in southern Brazil: Biomass and nutrients. **UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ BIOFIX Scientific Journal** v. 4 n. 2 p. 97-103 2019 DOI: [dx.doi.org/10.5380/biofix.v4i2.64879](https://doi.org/10.5380/biofix.v4i2.64879).

DIDONÉ, E. J.; MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. (2015) Quantifying soil erosion and sediment yield in a catchment in southern Brazil and implications for land conservation. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, n. 11, p. 2334–2346, 2015.

DRESCHER M.S. et al. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Área de Informação da Sede- Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2016.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**. 1999.412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - **EMBRAPA SOLOS**: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/horizontes-diagnosticos>, acesso em fevereiro de 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - **EMBRAPA** http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema_plantio_direto/arvore/CONT000fwuzxo-br02wyiv807fiqu9k024m72.html, acesso em 2018, 2019.

EPITÁCIO, H. R. et al. Infiltração de água e atributos físicos do solo em diferentes agroecossistemas no brejo paraibano. **Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 7, p. 6983, 2019.

FENGLER, F. H. (2018). **Tese (Doutorado)**: Felipe Hashimoto Fengler: Aplicação da análise dimensional em indicadores ambientais de áreas degradadas pela exploração de cassiterita. Presente no endereço: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/152993/fengler_fh_dr_soro.pdf?sequence=3&isAllowed=y.

FERREIRA, R.R.M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V.M.. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina**. 2010;31:913-32.

FLORES, C. A.; ALBA, J. M. F.; GARRASTAZÚ, M. C. Zoneamento edáfico para o eucalipto na região do Corede Sul. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/747045/1/eucaliptoFlores.pdf>. Acesso em: 26 de março 2020.

FOLLMANN F. M., MANFIO, J. C. , CRUZ R. C., BOHRER R. E. G., TIECHER T. L., LUIZ T. B. P.. Determinação da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica em relação à suinocultura utilizando SIG. **Ciência e Natura** v.40, e33, 2018.

FONSÊCA D.N., SILVA A.C., BARROS A.C.M., SILVA J.C.B., SILVA O.G.. Mapeamento morfodinâmico como suporte à análise de processos de degradação em áreas do município de Cabrobó-Pernambuco. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**. 2017 Dez;9(2):92-107

FREITAS, C. D..Qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo na região central de Minas gerais. / **Dissertação (mestrado)** - Universidade Federal de Viçosa. - Florestal, MG, 2017.

FREITAS, G. H. S.; MICHELS, F. S.; PASSOS, W. E. Análise dimensional e aplicação hidráulica do teorema Pi de Buckingham. **Vetor**, v.25, p.84-101, 2015.

FREITAS, Maiara Medeiros. Caracterização da zona ripária e alteração do uso e ocupação do solo de um reservatório no semiárido tropical. 2018. **Trabalho de Conclusão de Curso**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

GARCIA, J. M. et al. Uso de fotografias hemisféricas para avaliação da qualidade ambiental na Mata de Santa Genebra, Campinas-SP, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p.175- 190, jan./mar. 2018.

GARCIA, J., MAIA, A.. Agricultores e a gestão da Bacia do Rio Jundiá. **Revista de Política Agrícola**, Local de publicação (editar no plugin de tradução o arquivo da citação ABNT), 28, dez. 2019. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1433>>. Acesso em: 08 Jun. 2020.

GIL, Antônio Carlos, 1946-. Como elaborar projetos de pesquisa/Antônio Carlos Gil. - 4. ed. - São Paulo : **Atlas**, 2002.

GOMES, A.V.S., COSTA, N.R.V. AND MOHALLEM, N.D.S., 2016. Os Tecidos e a Nanotecnologia. **Revista Química Nova na Escola**, 38(4), pp.288-296.

GOULD, G. K; LIU, M.; BARBERA, M.E.; CHERKAUER, K.A.; PETER R. (2016). The effects of climate change and extreme wildfire events on runoff erosion over a mountain watershed. **Journal of Hydrology** Volume 536, May 2016, Pages 74-91de **Ciência do Solo**, v.39, p.852-863, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbc20140269.

GUARESCHI, Roni Fernandes; PEREIRA, Marcos Gervasio; PERIN, Adriano. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 36, n. 3, p. 909-920, 2012.

GUERRA, A.J.T.; BOTELHO, R.G.M.Características e Propriedades dos Solos relevantes para os estudos Pedológicos e Análise dos Processos Erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.19, p.93-114,1996.

GUERRA, A. J. T. O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos. **Anuário do Instituto de Geociências, Rio de Janeiro**, v. 13, n. 4, p. 43-52, 1990.

GUERRA, S. M. S.; SILVA, A. M. R. B. da.; ARAÚJO, S. P.; CORRÊA; M. M .; SILVA ; V. L. da .; SANTOS, B. R. T. (2015). Caracterização morfométrica e avaliação da qualidade da água dabacia Hidrográfica de Bitá, Ipojuca – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 08, p. 1541–1556, 2015.

GUIMARAES, W. D. et al . Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens. *Rev. Ciênc. Agron.*, Fortaleza , v. 47, n. 2, p. 247-255, June 2016 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902016000200247&lng=en&nrm=iso>. Access on 03 Sept. 2019. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20160029>.

HAMADA, J.; CALCAS, D. A. N. Q. P.; GIACHETI, H. L.. Influência da compactação de um solo arenoso na infiltração e retenção de carga orgânica de chorume. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro , v. 9, n. 3, p. 180-186, Sept. 2004 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522004000300002&lng=en&nrm=iso>. access on 01 Apr. 2020. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522004000300002>.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS - IAC. **Centro de Pesquisa e**

Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais (2015). Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/interpretacaoanalise.php>, acesso em setembro de 2019.

JUNG, G.A., ed. *Crop tolerance to suboptimal land conditions*. Madison, **American Society of Agronomy**, 1978. 343p. (Special publication, 32).

KLEIN, V. A. Física do solo. 3. ed. **Passo Fundo**: Universidade de Passo Fundo, 2014.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 857-867, Dec. 2002. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832002000400003&lng=en&nrm=iso>. access on 08 June 2020. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000400003>

KRAMER, P.J. *Plant and soil water relationships: a modern synthesis*. New York, **McGraw-Hill**, 1969. 538p.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. (Ed.). *Soil erosion research methods*. **Ankeny: Soil and Water Conservation Society**, 1988. p. 141-160.

LEGENDRE P., LEGENDRE L.. Paperback ISBN: 9780444538680. eBook ISBN: 9780444538697. Imprint: **Elsevier**. Published Date: 3rd July 2012.

LÉMECHEV, T. On hydrological heterogeneity catchment morphology and catchment response. **Journal of Hydrology**, v.100, p.357- 375, 1982.

LIMA, G. S. A.; FERREIRA, N.C.; FERREIRA, M. E.. Modelagem da Perda Superficial de Solo para Cenários de Agricultura e Pastagem na Região Metropolitana de Goiânia. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 4, p. 1510-1536, 2018.

LOPES, Edson; MARENZI, Rosemeri Carvalho; ALMEIDA, Tito César Marques de. Comparison of soil use in the infiltration of rainwater: pasture and forest. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 71, n. 3, p. 8593-8600, 2018.

LOURENÇO, Leonardo Sene de. Proposição metodológica para uso conjugado da análise multicriterial e do método delphi na classificação da suscetibilidade do solo à erosão hídrica com uso de dados secundários. 2011. 159 p. **Tese (doutorado)** - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/256877>>. Acesso em: 21 julho. 2020.

MACIEL A.J.S., 1993. Enxada rotativa: análise dimensional, requerimento energético e efeitos no solo utilizando diferentes geometrias de lâminas. **Doctoral thesis**. State University of São Paulo, Botucatu, Brazil. [In Portuguese].

MANIERI, J.M. Utilização de um penetrômetro de impacto combinado com sonda de TDR para medidas simultâneas de resistência e de umidade do solo na avaliação da compactação em cana-de-açúcar. Campinas: IAC, 2005, 82f. (**Dissertação de Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical**).

MARANGON, M. Mecânica dos Solos II: unidade 1 – hidráulica dos solos. **Faculdade de Engenharia – NuGeo/Núcleo de Geotecnia**. 2013 Disponível em: <http://www.ufjf.br/nugeo/pagina-do-aluno/notas-de-aula/mecanica-dos-solos-ii/> Acesso em 08 maio de 2019.

MARCONDELLI A. C. B.; NICODEMO MLF; BARIONI JUNIOR W. Diversidade funcional em sistemas de produção pecuários no bioma Mata Atlântica. In: Embrapa Pecuária Sudeste-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 9.; CONGRESSO INTERNACIONAL DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 6.**, 2018, Viçosa, MG. Ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento agropecuário sustentável: anais... Viçosa, MG: Biblioteca Central, Campus UFV, 2018., 2018.

MARTINS, E.G.M. Quartis, **Rev. Ciência Elem.**, V2(4):268. 2014. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2014/268/>, acesso em 21 de julho de 2020. DOI <http://doi.org/10.24927/rce2014.268>

MATEUS, R.; PADILHA, D. Avaliação multicritério da fragilidade do território no Brasil: A silvicultura no Estado do Rio Grande do Sul. **Finisterra**, v. 52, n. 104, 2017.

MINELLA, J. P. G.; Merten, G. H.; Reichert, J. M.; Santos, D. R. dos. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1637-1646, 2007.

MIOTTI, A. A.; COSTA, M. C. G.; FERREIRA, T. O.; ROMERO, R. E. Profundidade e atributos físicos do solo e seus impactos nas raízes de bananeiras. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v.35, n.2, p.536–545, 2013.

MIQUELONI, Daniela Popim; GIANELLO, Eduardo Mônaco; BUENO, Célia Regina Paes. Variabilidade espacial de atributos e perda de solo na definição de zonas de manejo. **Pesqui. Agropecu. Trop.**, Goiânia, v. 45, n. 1, p. 18-28, Mar. 2015. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-40632015000100001&lng=en&nrm=iso>. Access on 21 July 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4528029>.

MORAES, C.D; AQUINO, C. A. AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL: UMA REVISÃO DA LITERATURA SOBRE AS PRINCIPAIS METODOLOGIAS. 5º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense – **SICT-Sul**. Disponível em: <https://labhidrogeo.paginas.ufsc.br/files/2016/08/AIA-UMA-REVIS%C3%83O-DA-LITERATURA-SOBRE-AS-PRINCIPAIS-METODOLOGIAS.pdf>. Acesso em: 21 de julho de 2020.

MOTTA, V. F. Curso de teoria da semelhança. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Editora URGs**, 1972.154p.

MOURA, A. B. A. P.; ZAIDAN, R. T. Análise multitemporal e possíveis impactos da expansão da silvicultura de eucalipto no município de Carrancas – MG, um estudo para os anos de 2005, 2008, 2013 e 2015. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 48, p. 142–155, 2017.

NAGAHAMA, H.J. et al. Resistência do solo à penetração em sistemas de preparo e velocidades de deslocamento do trator. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 1, p. 56-65, 2016.

NARESI, Romeu Júnior et al. Projeção do escoamento superficial, classes de uso e taxas de ocupação do solo no período de 2003 A 2033 na Bacia Ribeirão Pouso Frio. **Repositório de Ciências Ambientais**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 1-17, dec. 2017. Disponível em: <<http://www.agro.unitau.br/repositorio/index.php/rca/article/view/6>>. Acesso em: 03 mar. 2020.

NASCIMENTO, P. C.; LANI, J. L.; MENDONÇA, E.S.; ZOFFOLI, H. J. O.; PEIXOTO, H. T. M. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 34, n. 1, p. 339-348, 2010.

NICODEMO, MARIA & BORGES, WANDER & SOUZA, I.M.D.. (2018). Atributos físicos do solo em quatro sistemas de uso da terra em São Carlos, SP. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**. 13. 1-7. 10.5039/agraria.v13i2a5524.

OLIVEIRA, Dener M. S.; LIMA, Renato P. de; VERBURG, Ernst E. Jan. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquido suíno. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 19, n. 3, p. 280-285, Mar. 2015. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662015000300280&lng=en&nrm=iso>. access on 03 Sept. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p280-285>.

OLIVEIRA, M. P., ROQUE, C. G., BORGES, M. C. R. Z., OLIVEIRA, R. P., & NOGUEIRA, K. B. (2017). Efeito residual da gessagem e calagem na resistência à penetração obtida com dois penetrômetros em diferentes sistemas de manejo. **Revista de Agricultura Neotropical**, 4(1), 58-64. Retrieved from <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/1208/1265>.

ORTEGA, D.J.P.; CARVALHO, S.L. Avaliação dos efeitos das atividades antropóficas nos recursos hídricos na sub-bacia hidrográfica do Córrego do Ipê - SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.18, n.3, p.97-108, 2013.

PACÍFICO, L.A. Análise Dimensional e Semelhança. PME3222 - Mecânica dos Fluidos Para Eng. Civil. **PME/EP/USP**. Semestre de 2017.

PAES F., LIMA A.M.N., HAKAMADA R.E., BARROS N.F.. EFFECT of harvest residues management, soil tillage and fertilization on eucalyptus productivity **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo**, 37 (2013), pp. 1081-1090.

PEREIRA, L.F. et al. Management, quality and degradation dynamics of pastures in Atlantic Forest biome, Minas Gerais-Brazil. **Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 6, n. 4, p. 370-379, 2018.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L.P.; KAUFMANN, V.. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, vol. 4, núm. 2, 2009, pp. 188-199 Universidade de Taubaté, Taubaté, Brasil.

PINHEIRO, R. J. B.; NUMMER, A. V.; RAUBER, A. C. Determinação da condutividade hidráulica das principais unidades geológico-geotécnicas de Santa Maria – RS. **Geociências**, UNESP, v. 36, n. 2, p. 347– 363, 2017.

PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos. São Paulo. **Oficina de Textos**. 247p. 2006.

PINTO, Vívian Gemiliano et al. Diagnóstico físico-ambiental como subsídio a identificação de áreas vulneráveis à erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG), Brasil. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 9, n. 4, p. 632-646, Dec. 2014. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2014000400007&lng=en&nrm=iso>. access on 03 Sept. 2019. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1416>.

PIRES, R.C. de; ARRUDA, F.B.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E.; BORTOLETTO, N.

Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e trigo sob pivô central. **Bragantia**, Campinas, v.50, n.1, p.153- 162, 1991.

PORTUGAL, Arley Figueiredo et al . Atributos químicos e físicos de um cambissolo háplico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata Mineira. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 32, n. 1, p. 249-258, Feb. 2008 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000100024&lng=en&nrm=iso>. Access on 03 Sept. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100024>.

PRADO, CARVALHO e CHRISTOFFOLETI. 2019. **Pedologia Fácil**: <http://www.pedologiafacil.com.br/enquetes/enq25.php>; acesso em setembro de 2019.

PRADO, T. B. G. Evolução do uso das terras e produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2005. 72p. **Dissertação Mestrado**.

QUADROS, C.; REBOLLAR, P. M. Avaliação Ambiental de Atividades Agrícolas em Bacias Hidrográficas no Município de Paulo Lopes –SC. **Revista de Estudos Ambientais (Online)**, v.11, n. 2, p. 6-18, 2009.

RANGEL, Otacílio José Passos; SILVA, Carlos Alberto. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, 2007.

RAPOSO et al.. Alteração da agregação de um latossolo vermelho-amarelo em função do preparo físico. **Science and Technology Innovation in Agronomy**, Bebedouro, v.2, n.1, p. 72-82, mar. 2018. Centro Universitário UNIFAFIBE.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & CABEDA, M.S.V. Selamento superficial e infiltração de água

REINERT, D.J. e REICHERT, J.M. Propriedades físicas do solo. **Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria**, 2006. 18p.

RIBEIRO, A. I.; LONGO, R. M.; TEIXEIRA FILHO, A.; MELO, W.J. Diagnóstico de uma área compactada por atividade minerária, na floresta amazônica, empregando métodos geoestatísticos à variável resistência mecânica à penetração do solo. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 83-90, 2006.

RIBON A.A. et al. Distribuição espacial da resistência do solo à penetração em pomar de citros análise exploratória. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 60, n. 4, p. 335-342, 2017.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. n.8, p.63-74. 1994.

ROSSETI, K. de V.; TEIXEIRA, D.D.B.; REIS, I.M.S.; CENTURION, J.F. Agregação de um Latossolo em função de diferentes ciclos de cultivo de cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. **Revista Agro@mbiente**, v.8, p.10-17, 2014. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v8i1.1438.

RUBIN J.G.K.R., STÜRMER S.L.. Mycorrhizal inoculum potential and the importance of the mycelium length for aggregation of riparian soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 59-68, 2015.

SCHMIDT FILHO, E.; VESVES, J.C.G.; SILVA, M.T.; MATOS, N.C.S.; AZEVEDO, R.E.C.; Reducing the environmental impacts of the sugarcane sector using filter cake in soil fertilization. **Revista UNINGÁ**, Vol.27,n.3,pp.05-09. 2016. ISSN online 2178-2571.

SICHE, R. et al . Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambient. soc.**, Campinas , v. 10, n. 2, p. 137-148, Dec. 2007 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2007000200009&lng=en&nrm=iso>. Access on 03 Sept. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2007000200009>.

SILVA E.L.. Efeito do manejo do solo sobre atributos físicos e microbiológicos. Instituto Federal de Sergipe – IFS, Campus São Cristóvão, **Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Agroecologia**. 18-Ago-2016. <https://repositorio.ifs.edu.br/biblioteca/handle/123456789/256>

SILVA, G.M.; MAIXNER, A.R.. Manejo de pastagens para gado leiteiro. **Anais do curso de produção de leite orgânico**. ISSN 0101- 6245, 2016.

SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, F.P.L.; LEITE, F.P. Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do Vale do Rio Doce, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 765-776, 2011.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Cienc. Rural**, Santa Maria , v. 30, n. 5, p. 795-801, Oct. 2000 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782000000500009&lng=en&nrm=iso>. access on 08 June 2020. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782000000500009>.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 191-199, 2000.

SILVA, W.R.N; MELLO, J.G.; BIGATO, J.P.A.; TREVISAN, D.P.; MOSCHINI, L.E.; CASSIANO, A.M.. Zoneamento agrossilvipastoril da Bacia Hidrográfica do Córrego da Serrinha no município de Santa Cruz da Conceição-SP. **R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 404 - 430, jul./set. 2017.

SIQUEIRA, E.C. & VANZELA, L.S. Simulação temporal e espacial do aporte de sedimentos em bacia agrícola no município de Fernandópolis (SP). **Eng Sanit Ambient** | v.23 n.1 | jan/fev 2018 | 15-25. DOI: 10.1590/S1413-41522018154987.

SIXEL, R. M. DE M. Produção de florestas com qualidade: Preparo do solo. Disponível em: <https://www.ipef.br/silvicultura/preparodesolo.asp> . Acesso em: 30 de março de 2020.

SOARES, Marcia Regina Gomes de Jesus et al. POTENCIAL DE USO AGRÍCOLA E FRAGILIDADE AMBIENTAL DA MICROBACIA DO RIO CAMPESTRE, COLOMBO – PR. **Scientia Agraria**, [S.l.], p. 587-596, dez. 2008. ISSN 1983-2443. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/13554>>. Acesso em: 03 mar. 2020. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v9i4.13554>.

SOTO, M. A.; CHANG, K. H.; VILAR, O. M. (2009). Análise do método do permeâmetro Guelph na determinação da condutividade hidráulica saturada. **Águas Subterrâneas**, 23 (1): 137-152.

SOUZA M.A., XAVIER F.V., JUSTINIANO L.A.A. Dinâmica temporal do uso e ocupação da bacia do ribeirão campo triste: Expansão da monocultura do eucalipto. **Revista Equador (UFPI)**, Vol. 7, Nº 1, p 130 – 143, 2018Home: <http://www.ojs.ufpi.br/index.php/equador>

SOUZA, E. D.; SILVA, F. D.; PACHECO, L. P.; LAROCA, J. S. V.; SOUZA, J. M. A.; BONETTI, J. A. Matéria orgânica do solo em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. **Sistemas Integrados de Produção Agropecuária**. 1 ed. Tubarão, Santa Catarina, 2018. 342 p. cap 7. 107-122.

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; RIBEIRO, D.O.; BAYER, C.; ROTTA, L.A. 2016. Organic matter and soil aggregation after the conversion of “murundu fields” into a no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 51: 1194-1202 (in Portuguese, with abstract in English).

SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; PAIVA, A.Q.; RODRIGUES, A.C.V. & RIBEIRO, L.S. Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de Tabuleiro Costeiro do Estado da Bahia. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:503- 513, 2008.

SPERA T., REATTO A., MARTINS E.S., CORREIA J.R. 2002. Aptidão Agrícola das Terras da Bacia do Rio Jardim, DF. Planaltina, DF, **EMBRAPA, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, no 27, 38p.

SPÖRL, C. e ROSS, J. L. S.. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. In: **GEOUSP, espaço e tempo: revista de pós-graduação**. São Paulo: Departamento de Geografia, FFLCH, USP, nº15, 2004, pp.39-49.

SPÖRL, C.. Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas aacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata. . **Dissertação (Mestrado em Geografia Física)** - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. doi:10.11606/D.8.2001.tde-18012002-225147. Acesso em: 2019-09-03.

STEFANOSKI, D. C. et al . Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande , v. 17, n. 12, p. 1301-1309, dez. 2013. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141543662013001200008&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 08 jun. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008>.

STEFANOSKI, D.C. et al . Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande , v. 17, n. 12, p. 1301-1309, Dec. 2013 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013001200008&lng=en&nrm=iso>. access on 03 Mar. 2020. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008>.

TAMBOSI, Leandro Reverberi et al. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. **Estudos avançados**, v. 29, n. 84, p. 151-162, 2015.

TEIXEIRA P.C. [et al.], editores técnicos. Manual de métodos de análise de solo. – 3. ed. **rev. e ampl.** – Brasília, DF : Embrapa, 2017. 574 p. : il. color. ISBN 978-85-7035-771-7.

TIECHER, Tales et al . Contribuição das fontes de sedimentos em uma bacia hidrográfica agrícola sob plantio direto. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 38, n. 2, p. 639-649, Apr. 2014 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000200028&lng=en&nrm=iso>. access on 03 Sept. 2019.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200028>.

TORRES, J. L. R.; RODRIGUES JUNIOR, D. J.; SENE, G. A.; JAIME, D. G.; VIEIRA, D. M. da S. Resistência à penetração em área de pastagem capim Tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v.28, n.1, p.232-239, 2012.

TRANCANELLI, Diego. Grandezas físicas e análise dimensional: da mecânica à gravidade quântica. **Rev. Bras. Ensino Fis.**, São Paulo, v. 38, n. 2, e2505, 2016. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172016000200605&lng=en&nrm=iso>. access on 03 Sept. 2019. Epub May 31, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2015-0003>.

TURMINA, E. et al. Avaliação de impactos ambientais gerados na implantação e operação de subestação de energia elétrica: um estudo de caso em Palhoça, SC. **Revista de Ciências Agroveterinárias (Rev. Ciênc. Agrovet.)**, v. 17, n. 4 (2018). DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711732018589>

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos; EBELING, A. G.. Caracterização de solos brasileiros com elevados teores de material orgânico. **Magistra, Cruz das Almas-BA**, v. 20, n. 1, p. 95-104, jan./mar., 2008.

VERAS, M. S.; RAMOS, M. L. G.; OLIVEIRA, D. N. S.; FIGUEIREDO, C. C.; CARVALHO, A. M.; PULROLNIK, K.; SOUZA, K. W. Cover Crops and Nitrogen Fertilization Effects on Nitrogen Soil Fraction under Corn Cultivation in a No-Tillage System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 40. 2016.

VICH, A.. El sistema hídrico como determinante del ordenamiento territorial. **Revista Gestión Integral de los Recursos Hídricos en Acción**, Mendoza, Argentina, v. 4, n.2, p.47-53. 2010.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B.V. A erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, 26 (6): 189-93, 1971.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. (1978) Predicting rainfall erosion losses – A guide to conservation planning. **Washington, USDA**, 1978. 58p. (USDA AH-537)

XING, H. et al. (2018) Comparative study of soil erodibility and critical shear stress between loess and purple soils/Journal of Hydrology 558 (2018) 625-631 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.060> 0022-1694/ 2018 Elsevier B.V. All rights reserved.

APÊNDICE 0: Índice de Degradação Estrutural do Manejo (IDEM)

$$IDEM = \frac{DMG}{\sqrt{AMA}}$$

DMG (mm)	Valores	Incremento
Valor Mínimo	1	0,1
Valor Máximo	5	

Variação do DMG	
1	3,1
1,1	3,2
1,2	3,3
1,3	3,4
1,4	3,5
1,5	3,6
1,6	3,7
1,7	3,8
1,8	3,9
1,9	4
2	4,1
2,1	4,2
2,2	4,3
2,3	4,4
2,4	4,5
2,5	4,6
2,6	4,7
2,7	4,8
2,8	4,9
2,9	5
3	

QUARTIL	DMG
Vmín	1
Q1	2
Q2	3
Q3	4
Vmáx	5

- Para a raiz quadrada da Área de Manejo Agrossilvipastoril (AMA) foi utilizado o valor unitário (VU) de área que pode ser 1cm², 1m², 1ha, 1km² conforme necessidade de aplicação.

APÊNDICE 1: Índice de Qualidade da Profundidade Efetiva no Manejo do Solo (IQPEMS)

PES (cm)	Valores	Incremento
Valor Mínimo	10	10
Valor Máximo	220	

$$IQPEM = \frac{PES}{\sqrt{AMA}}$$

Variação da PES
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
190
200
210
220

QUARTIL	PES
Vmín	10,0
Q1	62,5
Q2	115,0
Q3	167,5
Vmáx	220,0

- Para a raiz quadrada da Área de Manejo Agrossilvipastoril (AMA) foi utilizado o valor unitário (VU) de área que pode ser 1cm², 1m², 1ha, 1km² conforme necessidade de aplicação.

APÊNDICE 2: Índice de Qualidade da Permeabilidade no Manejo do Solo (IQPMS)

$$IQPMS = k * \left(\frac{\sqrt{MOS}}{\sqrt{RMPS}} \right)$$

k (cm/s)	Valores	Incremento
Valor Mínimo	1,0E-07	1E-04
Valor Máximo	1,0E-02	

Variação de k a partir do incremento definido									
1,0E-07	1,0E-03	2,0E-03	3,0E-03	4,0E-03	5,0E-03	6,0E-03	7,0E-03	8,0E-03	9,0E-03
1,0E-04	1,1E-03	2,1E-03	3,1E-03	4,1E-03	5,1E-03	6,1E-03	7,1E-03	8,1E-03	9,1E-03
2,0E-04	1,2E-03	2,2E-03	3,2E-03	4,2E-03	5,2E-03	6,2E-03	7,2E-03	8,2E-03	9,2E-03
3,0E-04	1,3E-03	2,3E-03	3,3E-03	4,3E-03	5,3E-03	6,3E-03	7,3E-03	8,3E-03	9,3E-03
4,0E-04	1,4E-03	2,4E-03	3,4E-03	4,4E-03	5,4E-03	6,4E-03	7,4E-03	8,4E-03	9,4E-03
5,0E-04	1,5E-03	2,5E-03	3,5E-03	4,5E-03	5,5E-03	6,5E-03	7,5E-03	8,5E-03	9,5E-03
6,0E-04	1,6E-03	2,6E-03	3,6E-03	4,6E-03	5,6E-03	6,6E-03	7,6E-03	8,6E-03	9,6E-03
7,0E-04	1,7E-03	2,7E-03	3,7E-03	4,7E-03	5,7E-03	6,7E-03	7,7E-03	8,7E-03	9,7E-03
8,0E-04	1,8E-03	2,8E-03	3,8E-03	4,8E-03	5,8E-03	6,8E-03	7,8E-03	8,8E-03	9,8E-03
9,0E-04	1,9E-03	2,9E-03	3,9E-03	4,9E-03	5,9E-03	6,9E-03	7,9E-03	8,9E-03	9,9E-03
									1,0E-02

QUARTIL	k
Vmín	1,0E-07
Q1	2,5E-03
Q2	5,0E-03
Q3	7,5E-03
Vmáx	1,0E-02

MOS (g/cm ³)	Valores	Incremento
Valor Mínimo	0,1	0,01
Valor Máximo	0,6	

Variação da MOS a partir do incremento definido	
0,10	0,35
0,11	0,36
0,12	0,37
0,13	0,38
0,14	0,39
0,15	0,40
0,16	0,41
0,17	0,42
0,18	0,43
0,19	0,44
0,20	0,45
0,21	0,46
0,22	0,47
0,23	0,48
0,24	0,49
0,25	0,50
0,26	0,51
0,27	0,52
0,28	0,53
0,29	0,54
0,30	0,55
0,31	0,56
0,32	0,57
0,33	0,58
0,34	0,59
	0,60

RMPS (kgf/cm ²)	Valores	Incremento
Valor Mínimo	1	1
Valor Máximo	70	

Variação da RMPS a partir do incremento definido		
1	24	47
2	25	48
3	26	49
1	27	50
5	28	51
6	29	52
7	30	53
8	31	54
9	32	55
10	33	56
11	34	57
12	35	58
13	36	59
14	37	60
15	38	61
16	39	62
17	40	63
18	41	64
19	42	65
20	43	66
21	44	67
22	45	68
		69
23	46	70

QUARTIL	MOS (g/cm ³)
Vmín	0,10
Q1	0,23
Q2	0,35
Q3	0,48
Vmáx	0,60

QUARTIL	RMPS (kgf/cm ²)
Vmín	1
Q1	18
Q2	36
Q3	53
Vmáx	70

APÊNDICE 3: Índice de Influência da Pressão Antrópica no Manejo do Solo (IIPAMS)

$$IIPAMS = \frac{PAMS}{RMPS}$$

PA (Mpa)	Valores	Incremento
Valor Mínimo	1	1
Valor Máximo	10	

Variação da PA a partir do incremento definido	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
QUARTIL	PAMS (Mpa)
Vmín	1
Q1	3,25
Q2	5,5
Q3	7,75
Vmáx	10

QUARTIL	RMPS (Mpa)
Vmín	0,1
Q1	1,8
Q2	3,6
Q3	5,3
Vmáx	7,0

RMPS (Mpa)	Valores	Incremento
Valor Mínimo	0,1	0,1
Valor Máximo	7	

Variação da RMPS a partir do incremento definido		
0,1	2,5	4,9
0,2	2,6	5,0
0,3	2,7	5,1
0,4	2,8	5,2
0,5	2,9	5,3
0,6	3,0	5,4
0,7	3,1	5,5
0,8	3,2	5,6
0,9	3,3	5,7
1,0	3,4	5,8
1,1	3,5	5,9
1,2	3,6	6,0
1,3	3,7	6,1
1,4	3,8	6,2
1,5	3,9	6,3
1,6	4,0	6,4
1,7	4,1	6,5
1,8	4,2	6,6
1,9	4,3	6,7
2,0	4,4	6,8
2,1	4,5	6,9
2,2	4,6	7,0
2,3	4,7	
2,4	4,8	