

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia – Câmpus de Ilha Solteira

CAMILA DE AGUIAR OLIVEIRA

**ALTERNATIVAS PARA DEFINIÇÃO DE PESOS NO PROCESSO DE ANÁLISE DE
SUSCETIBILIDADE A EROSÃO USANDO O MÉTODO DE ANÁLISE
MULTICRITERIO FUCOM**

ILHA SOLTEIRA

2024

CAMILA DE AGUIAR OLIVEIRA

**ALTERNATIVAS PARA DEFINIÇÃO DE PESOS NO PROCESSO DE
ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE A EROSÃO USANDO O MÉTODO
DE ANÁLISE MULTICRITERIO FUCOM**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Avaliação,
Preservação e Quantificação de Recursos
Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. José Augusto di Lollo

Ilha Solteira
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

O48a Oliveira, Camila de Aguiar.
Alternativas para definição de pesos no processo de análise de suscetibilidade a erosão usando o método de análise multicritério FUCOM / Camila de Aguiar Oliveira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
71 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2024

Orientador: Jose Augusto Di Lollo

Inclui bibliografia

1. Processos erosivos. 2. Full Consistency Method. 3. Campo Grande.


Amanda Sertori dos Santos

Bibliotecária - CRB/8-9061
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao
Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ALTERNATIVAS PARA DEFINIÇÃO DE PESOS NO PROCESSO DE ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE A EROSÃO USANDO O MÉTODO DE ANÁLISE MULTICRITERIO FUCOM

AUTORA: CAMILA DE AGUIAR OLIVEIRA

ORIENTADOR: JOSE AUGUSTO DI LOLLO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Engenharia Civil, área: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela Comissão Examinadora:



Documento assinado digitalmente

JOSE AUGUSTO DI LOLLO

Data: 18/09/2024 08:56:07-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. JOSE AUGUSTO DI LOLLO (Participação Virtual)

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. CESAR GUSTAVO DA ROCHA LIMA (Participação Virtual)

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Documento assinado digitalmente

CESAR GUSTAVO DA ROCHA LIMA

Data: 18/09/2024 08:45:20-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. CARLOS WILMER COSTA (Participação Virtual)

Departamento de Engenharia Civil / Universidade Federal do Rio Grande do Norte



Documento assinado digitalmente

CARLOS WILMER COSTA

Data: 29/07/2024 07:24:07-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ilha Solteira, 26 de julho de 2024

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

O presente trabalho analisa a importância de diferentes atributos do meio físico na suscetibilidade à erosão, usando o método Full Consistency Method (FUCOM) para atribuir pesos aos atributos na microbacia do córrego do Prosa, em Campo Grande, MS. Os resultados e conclusões ajudam a controlar processos erosivos e prevenir o surgimento de novas erosões. Isto posto, esta pesquisa alinha-se com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 15 da Organização das Nações Unidas, o qual visa proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da Terra e deter a perda da biodiversidade.

POTENCIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The present work analyzes the importance of different attributes of the physical environment in susceptibility to erosion, using the Full Consistency Method (FUCOM) to assign weights to attributes in then Prosa stream microbasin, in Campo Grande, MS. The results and conclusions help to control erosion processes and prevent the emergence of new erosions. That said, this research aligns with the United Nations Sustainable Development Goal 15, which aims to protect, recover and promote the sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, halt and reverse Earth degradation and halt the loss of biodiversity.

RESUMO

Profissionais e pesquisadores têm se preocupado com a previsibilidade dos processos erosivos, visando avaliar áreas suscetíveis a esses fenômenos e mitigar seus impactos ambientais. Este estudo analisa a importância de diferentes atributos do meio físico na suscetibilidade à erosão, usando o método Full Consistency Method (FUCOM) para atribuir pesos aos atributos na microbacia do córrego do Prosa, em Campo Grande, MS. Os resultados são comparados com um estudo anterior que utilizou o método Analytic Hierarchy Process (AHP). Enquanto o AHP mostrou-se mais útil na alocação de recursos em situações emergenciais, o FUCOM mostrou-se mais eficaz na prevenção da erosão. Ambas as técnicas, combinadas com o uso do software SPRING, oferecem uma abordagem abrangente para o estudo e prevenção da erosão, especialmente em projetos públicos de preservação ambiental e infraestrutura.

Palavras-chave: processos erosivos; full consistency method; Campo Grande.

ABSTRACT

Professionals and researchers have been concerned about the predictability of erosion processes, aiming to evaluate areas susceptible to these phenomena and mitigate their environmental impacts. This study analyzes the importance of different attributes of the physical environment in susceptibility to erosion, using the Full Consistency Method (FUCOM) to assign weights to attributes in the Prosa stream microbasin, in Campo Grande, MS. The results are compared with a previous study that used the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. While AHP has been shown to be more useful in allocating resources in emergency situations, FUCOM has been shown to be more effective in preventing erosion. Both techniques, combined with the use of SPRING software, offer a comprehensive approach to studying and preventing erosion. erosion, especially in public environmental preservation and infrastructure projects.

Keywords: erosions, FUCOM, Campo Grande.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Erosão Piping	17
Figura 2 – Formação de ravinas no relevo.....	18
Figura 3 – Tipos de voçoroca.....	19
Figura 4 – Precipitação diária x surgimento da erosão	23
Figura 5 – Classificação das encostas quanto ao tipo de perfil.....	26
Figura 6 – Variação da declividade em encostas convexa (a) e côncava (b).....	26
Figura 7 – Perfil de encostas convexas	27
Figura 8 – Perfil de encostas côncavas	27
Figura 9 – Relação da hidrografia de Campo Grande.....	30
Figura 10 – Uso e ocupação da bacia do Prosa.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 11 – Estrutura Hierárquica Básica	35
Figura 12 – Representação digital da Carta de Landforms da Bacia do Prosa	44

LISTA DE FLUXOGRAMA

Fluxograma 1 – Geração das cartas de suscetibilidade	Erro! Indicador não definido.
--	--------------------------------------

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Fatores que influenciam na erodibilidade dos solos.....	21
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Microbacias do Espaço Urbano de Campo Grande.....	31
Tabela 2 – Escala fundamental de Saaty	36
Tabela 3 – Índices de consistência aleatória.	36
Tabela 4 – Uso e ocupação da bacia do Prosa	52
Tabela 5 – Consulta grau de importância dos pesos utilizados no FUCOM.....	54
Tabela 6 – Pesos FUCOM.....	57
Tabela 7 – Áreas de suscetibilidade segundo os métodos.....	63
Tabela 8 – Densidade de erosão por grau de suscetibilidade (FUCOM).....	65
Tabela 9 – Densidade de erosão por grau de suscetibilidade (AHP)	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
3	REVISAO BIBLIOGRAFICA	13
3.1	TIPOS DE EROSÕES	13
3.1.1	Erosão Natural ou Geológica	14
3.1.2	Erosão Antrópica ou Acelerada	14
3.1.3	Erosão Hídrica	15
3.1.3.1	<i>Erosão Superficial ou Laminar</i>	15
3.1.3.2	<i>Erosão Interna ou Piping</i>	16
3.1.3.3	<i>Erosão Linear (Sulcos, Ravinas e Voçorocas)</i>	17
3.1.3.3.1	<i>Sulcos e Ravinas</i>	17
3.1.3.3.2	<i>Voçorocas</i>	18
3.2	FATORES CONDICIONANTES NOS PROCESSOS EROSIVOS	19
3.3	SUSCETIBILIDADE X ERODIBILIDADE	19
3.3.1	Fatores climáticos	22
3.3.2	Natureza dos terrenos	23
3.3.3	Cobertura vegetal	24
3.3.4	Relevo	25
3.3.5	Ação antrópica	27
3.4	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	28
3.5	GEOPROCESSAMENTO	32
3.6	ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)	33
3.7	FULL CONSISTENCY METHOD (FUCOM)	37
4	MATERIAIS E MÉTODOS	43
4.1	AQUISIÇÕES DE DADOS E INFORMAÇÕES	43
4.2	ELABORAÇÕES DO PROGRAMA	52
4.3	OBTENÇÕES DOS PESOS PARA CADA TÉCNICA USADA	53
5	RESULTADOS	57
5.1	OBTENÇÃO DOS PESOS	57
5.2	PROGRAMAS EM LEGAL	57
5.3	CARTAS DE SUSCETIBILIDADE A EROSÃO SEGUNDO FUCOM	61

5.4	MAPA DE OCORRÊNCIAS DA BACIA DO PROSA NO ANO DE 2008.....	63
6	ANÁLISES	67
	REFERÊNCIAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

O solo é um dos recursos mais fundamentais para a manutenção da vida humana sobrevivência, e a erosão do solo ameaça a segurança alimentar e os ecossistemas (Wuepper *et al.*, 2020). Os principais impulsionadores da perda de solo são o efeito de respingos causado pelas gotas de chuva que atingem o solo e o efeito de erosão do escoamento superficial (Yin *et al.*, 2017).

Segundo Lima (1999), a erosão é definida como o desgaste da superfície terrestre, caracterizado por processos de desagregação, transporte e sedimentação das partículas através de agentes erosivos, entre eles a água (erosão hídrica), o vento (erosão eólica) e o gelo (erosão glacial), além de agentes físicos, químicos e biológicos.

A erosão é um processo ocorrente em larga escala no Brasil em diferentes ambientes. Como exemplo, observam-se feições erosivas lineares tanto em ambientes mais úmidos, cujos índices pluviométricos são mais elevados, como em ambientes semiáridos, cuja precipitação anual é mal distribuída, espacialmente e temporalmente. Entretanto, o estudo de processos erosivos em ambientes semiáridos é ainda um dos temas mais escassos na geomorfologia brasileira, mesmo sendo apontada como um dos critérios para se avaliar a perda do solo e possíveis processos de desertificação (Aguiar *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2011; Xavier, J. P. S. *et al.*, 2020.).

As erosões afetam o desenvolvimento econômico, principalmente, em territórios que foram afetados pela rápida industrialização e urbanização sem planejamento (Borrelli *et al.*, 2013).

Em regiões tropicais ou subtropicais úmidas, a erosão mais pronunciada se dá pela ação das chuvas. A ocupação do território, iniciada pelo desmatamento e seguida pelo cultivo das terras, implantação de estradas, criação e expansão das vilas e cidades, sobretudo quando efetuada de modo inadequado, constitui o fator decisivo da aceleração dos processos erosivos (Galetti, 1984).

Muitos modelos foram propostos para avaliar a vulnerabilidade a erosão (perda de solo) em uma unidade de área, vários desses levando-se em consideração os princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977). Dentre as principais metodologias usadas atualmente, destaca-se as propostas por Ross (2012), Corine (1992) e Crepani *et al.* (2001). No entanto, há uma variação no grau de importância das variáveis para cada

uma das propostas, o que acaba por ressaltar uma discussão fundamental sobre a relevância de cada uma das variáveis no tocante aos processos erosivos.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo, aplicar e demonstrar a importância do método FUCOM (*Full Consistency Method*) como auxílio na modelagem de processos erosivos, validando a coerência matemática proposta pelo método.

De acordo com Željko Stević e Nikola Brković (2020) o método FUCOM é baseado nos princípios de comparação pareada dos fatores considerados e validação de resultados por meio do desvio da consistência máxima. Os benefícios que são determinantes para a aplicação do FUCOM são um pequeno número de comparações pareadas de critérios (apenas comparação $n-1$), a capacidade de validar os resultados definindo o desvio da consistência máxima (DMC) de comparação e apreciando análise da transitividade em comparações pareadas de critérios. Tal método também tem uma influência subjetiva de um decisor nos valores finais dos pesos dos critérios. Ao contrário de outros modelos subjetivos, o FUCOM apresentou pequenos desvios nos valores obtidos dos pesos dos critérios em relação aos valores ótimos. Além disso, o procedimento metodológico do FUCOM elimina o problema de redundância de comparações pareadas em critérios, que existe em alguns modelos subjetivos para determinar os pesos dos critérios.

2 OBJETIVOS

Como objetivo geral, este trabalho aplicou o método FUCOM para analisar os pesos dos fatores de suscetibilidade a erosão dos solos que integra características geográficas, como o clima, solo, relevo e uso e ocupação do solo, e comparar os resultados obtidos com os de Sena (2008) que utilizou o método AHP (Analytic Hierarchy Process).

2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Fazer a análise comparativa do mapa gerado com o mapa do Sena
- Explicar qual método foi mais assertivo levando em conta o mapa de ocorrências do Sena

3 REVISAO BIBLIOGRAFICA

O termo erosão segundo Bastos (1999) provem do latim “*erodere*”, cujo o significado é corroer. Segundo o mesmo autor, pode-se definir erosão como um conjunto de processos pelos quais os materiais rochosos são degradados, dissolvidos ou desgastados e transportados de um ponto a outro pelos agentes erosivos, tais como as geleiras, os rios, os mares, o vento ou a chuva.

Para Bertoni Neto (1999) a erosão é um processo físico, onde ocorre trabalho no sentido de consumo de energia. Essa energia é gasta em todas as fases de erosão: no rompimento dos agregados do solo rochoso, no salpicamento das partículas, na turbulência da enxurrada, e no fluxo e transporte das partículas.

Segundo Infanti Junior e Fornasari Filho (1998), é comandada por dois conjuntos de fatores, ou condicionantes principais, sendo eles os naturais, que determinam a intensidade dos processos, destacando-se como mais importantes a chuva, a cobertura vegetal, o relevo, os tipos de solos e o substrato geológico; e os antrópicos, como o desmatamento, a mineração e as formas de uso e ocupação do solo (agricultura, obras civis, urbanização etc.).

3.1 TIPOS DE EROSÕES

A erosão é um processo natural de desgaste da superfície terrestre causado por agentes como água, vento e fatores biológicos. A erosão hídrica, principalmente pela ação da água, é caracterizada pelo desgaste e transporte de solo. Esses processos erosivos dependem de fatores internos (gradiente crítico, desagregabilidade e erodibilidade do solo) e externos (potencial de erosividade da chuva, condições de infiltração, escoamento superficial, declividade e comprimento do talude). A evolução da erosão ao longo do tempo é influenciada por características geológicas, geomorfológicas e pelas condições climáticas locais.

O termo "erosão" foi discutido internacionalmente em 1972, e desde então, vários estudos foram realizados em áreas como Agronomia, Geologia, Geografia e Engenharia Civil. Os processos erosivos podem ser agrupados em categorias, como erosão natural, antrópica e hídrica, para uma compreensão mais abrangente do fenômeno. Almeida (2014) destaca a ocorrência natural do processo erosivo, enquanto Brito (2012) ressalta a influência humana na suscetibilidade erosiva,

podendo ser potencializada de acordo com o uso do solo. A erosão pode ser classificada como natural (geológica) ou antrópica, esta última resultante de atividades humanas que alteram o clima e o solo.

A erodibilidade do solo é fundamental, sendo influenciada por fatores como tamanho dos grãos, presença de matéria orgânica, componentes químicos e estrutura do solo. Bigarella, Becker e Passos (1996) destacam as diferenças de abordagem entre ciências agronômicas e geotécnicas na compreensão da erosão.

3.1.1 Erosão Natural ou Geológica

O fenômeno de erosão pode ser classificado como erosão natural ou erosão geológica. Devido à pedogênese, em conjunto com os processos erosivos que têm as águas como principais agentes nas áreas do cerrado, ocorre o desprendimento, arraste e deposição de partículas de solo de diversos tamanhos. Esses processos, denominados por Lepsch (2010) como erosão geológica ou natural, baseiam-se na modelagem morfológica natural do terreno, atuando de forma equilibrada com os processos de formação do solo, conhecidos como pedogênese (LEPSCH, 2010).

Ávila (2009) define a erosão natural ou geológica como o desgaste da superfície terrestre causado pela água, gelo ou outros agentes naturais em condições de ambiente natural, sem interferência humana, estabelecendo assim um ciclo para esse tipo de erosão.

3.1.2 Erosão Antrópica ou Acelerada

A erosão antrópica desempenha um papel significativo na modificação do relevo devido às ações humanas. O ser humano pode influenciar a ocorrência das erosões, por exemplo, ao remover a cobertura vegetal do solo. Camapum de Carvalho (2006) destaca a retirada da cobertura vegetal, práticas agrícolas sem conservação do solo, formação de pastos com alta densidade de animais, entre outras ações que afetam o meio ambiente e influenciam nas condições climáticas e na estabilidade do solo. Quando as atividades humanas intensificam a desagregação e transporte de material, caracteriza-se como erosão antrópica ou acelerada. Essas atividades, como desmatamento, construção de estradas e cidades, impactam os solos, resultando em perda significativa de terras férteis, que poderiam ser mais eficientemente utilizadas

na agricultura, sendo transportadas para canais de drenagem, causando assoreamento (EMBRAPA, 2015).

Camapum de Carvalho (2006) destaca a ação indireta do homem, denominada "ação antrópica", relacionando-a à modificação do relevo como fator condicionante para o surgimento de erosões. O desenvolvimento e evolução desses processos são intensificados pela interferência humana, especialmente em áreas urbanas desde a década de 1970, quando o êxodo rural se intensificou. Esses impactos nas grandes cidades podem resultar na destruição de infraestruturas urbanas, com efeitos catastróficos.

Pesquisadores brasileiros têm estudado esses processos em áreas urbanas, destacando a falta de planejamento na ocupação do solo e deficiências nos sistemas de coleta de água da chuva como fatores associados ao desenvolvimento desses processos. A ausência de infraestrutura adequada em bairros periféricos das cidades contribui para a recorrência de erosões, tornando-os locais vulneráveis (BRASIL, 2002). Erosões, tanto urbanas quanto rurais, muitas vezes se transformam em locais de deposição de resíduos, prática chamada de aterramento. Essa prática, quando não controlada, pode causar danos ao meio ambiente, como contaminação do solo e corpos d'água, transformando a erosão em um problema de saúde pública (ÁVILA, 2009).

3.1.3 Erosão Hídrica

Na erosão hídrica dos solos, ocorre o destacamento, transporte e sedimentação de material. Fatores como regime de chuva, distribuição, intensidade, topografia, arraste de material desagregado, cobertura vegetal e natureza do solo influenciam esse processo. A erosão hídrica pode ser classificada em fluvial, laminar e linear, que se divide em sulcos, ravinas e voçorocas. Devido ao clima tropical, a erosão hídrica é mais acentuada no Brasil e é causada principalmente pela ação da água, sendo a mais danosa ao meio ambiente (EMBRAPA, 2015).

3.1.3.1 Erosão Superficial ou Laminar

A erosão laminar, também conhecida como erosão em lençol (sheetflow), ocorre quando, após o saturamento do solo, o escoamento superficial flui de maneira

uniforme pelas encostas, transportando as partículas do solo sem formar canais definidos. Este fenômeno representa o estágio inicial da erosão hídrica, caracterizado por um escoamento superficial não tão abundante, resultando na remoção gradual dos horizontes do solo e seus nutrientes (Silva, 2021; Salomão, 1999; Francisco, 2011; Santoro, 2015; Couto, 2015). Segundo Guerra (2015), a erosão laminar ocorre principalmente sob condições de chuva prolongada.

Para Santoro (2015), este tipo de erosão pode acarretar inúmeros prejuízos em áreas agrícolas, uma vez que é responsável por transportar grandes quantidades de sedimentos para rios, lagos e represas, contribuindo para o seu assoreamento. Frenzel (1980) ressalta que, devido à dificuldade em detectar a erosão laminar, esta pode ser considerada a mais grave, já que, se não observada no início, pode resultar em prejuízos significativos e favorecer o surgimento de outros tipos de erosão.

Couto (2015) afirma que quando o fluxo laminar se concentra formando linhas de escoamento preferencial, tem-se o início da erosão linear.

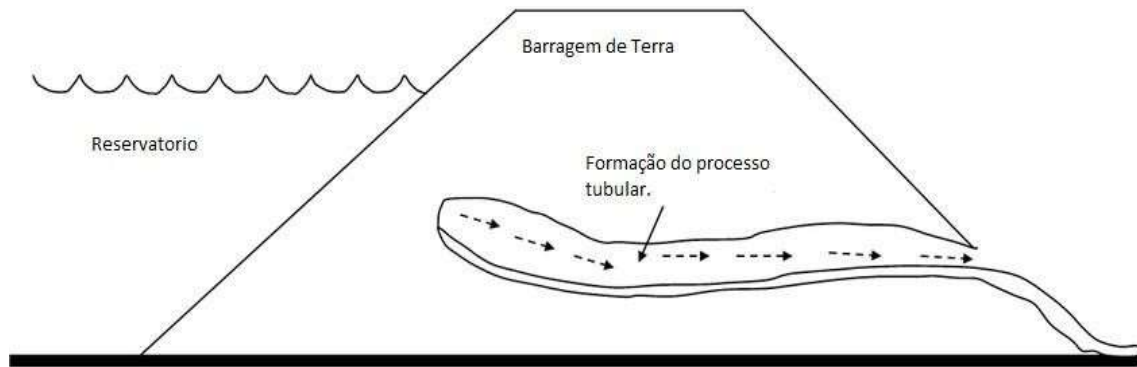
3.1.3.2 *Erosão Interna ou Piping*

A erosão interna, também conhecida como piping, é categorizada por Hargerty (1991) como um fenômeno de erosão subterrânea. Nesse processo, a percolação da água remove partículas do interior do solo, formando um tipo de buraco tubular. A ocorrência desse tipo de erosão é relacionada a falhas no solo, resultando em má compactação e recalques de fluxos a jusante do núcleo ou através do núcleo (Hunter, 2012; Fema, 2015).

De acordo com Icold (2013), o piping é uma das principais anomalias que causam incidentes ou acidentes em barragens. Esse fenômeno envolve o transporte de partículas finas pela água e passa por quatro fases de desenvolvimento: início, continuação, progressão para formação do tubo (pipe) e formação de uma brecha (Wang, 2016).

Camapum de Carvalho (2006) descreve o processo de piping como iniciando a jusante do talude, a partir do fluxo percolado, direcionando-se para montante e formando um tubo, provocando o alargamento da seção da barragem e iniciando a formação de uma brecha.

Figura 1 – Erosão Piping



Fonte: Goodarzi (2010)

3.1.3.3 Erosão Linear (Sulcos, Ravinas e Voçorocas)

Lima (2003) destaca que o grau de inclinação do terreno, o agente transportador e a água pluvial são processos que influenciam como um potencial erosivo maior. A linearização, como evolução natural dos processos erosivos, pode resultar na formação de sulcos, ravinas e voçorocas (Santos, 1997). Valentin, Poesen e Yong Li (2005) mencionam que as erosões lineares são provocadas pelo aumento das drenagens e aceleram a perda de nutrientes do solo. Os sulcos representam um processo mais superficial, enquanto as voçorocas indicam um estágio mais avançado.

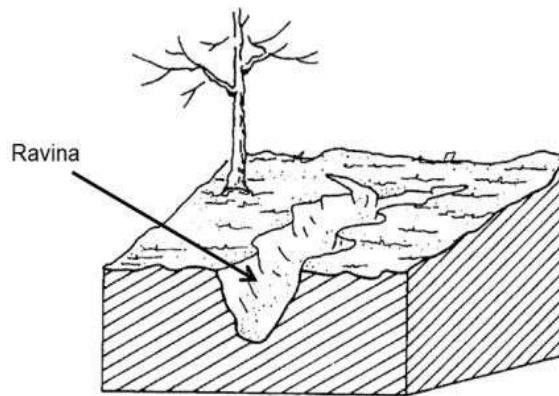
3.1.3.3.1 Sulcos e Ravinas

Segundo Camapum de Carvalho, Lima e Mortari (2001) os sulcos são pequenas ranhuras em formato de "V" com altura de até 10 cm, formados no terreno devido ao escoamento superficial e a formação sucessiva de sulcos, com maior largura e profundidade, caracteriza as ravinas. Ávila (2009) destaca que o surgimento dos sulcos está relacionado às ações dos agentes erosivos e à propensão do solo à erosão, podendo evoluir para ravinas ou voçorocas com o aumento da concentração de água.

Ravinas, como descritas por Almeida Filho, Gouveia e Canil (2006), são incisões mais compridas e com profundidades variáveis, não atingindo o nível da água subterrânea. Guerra e Botelho (1996) diferenciam sulcos de ravinas com base nas

dimensões das incisões erosivas, sendo as ravinas incisões de até 50 centímetros de largura e profundidade.

Figura 2 – Formação de ravinas no relevo.



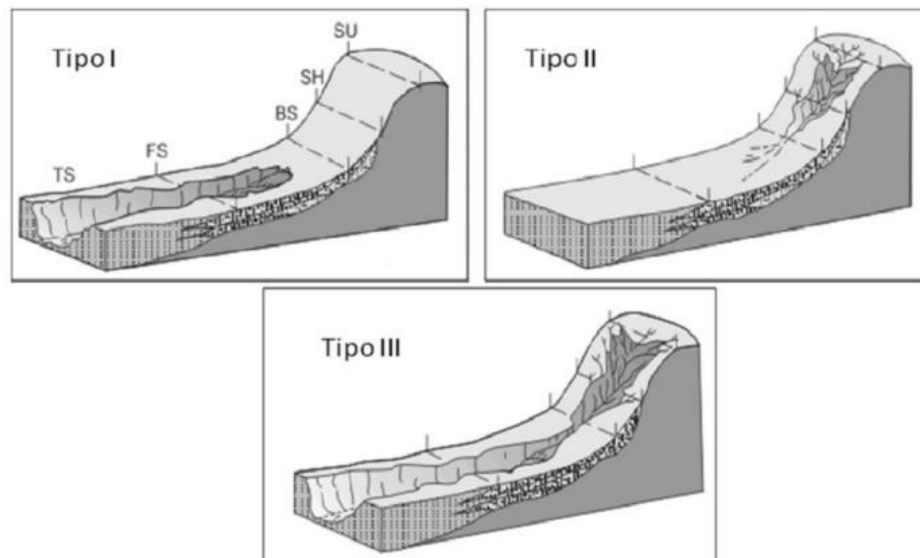
Fonte: Adaptado de Kuypers *et al* (2005).

3.1.3.3.2 Voçorocas

Voçorocas, ou "terra rasgada" em Tupi-Guarani, são originadas da evolução das ravinas, aumentando em comprimento, largura e profundidade. Camapum de Carvalho (2006) destaca que esse tipo de erosão ocorre ao longo das linhas de drenagem, num processo chamado ravinamento, podendo atingir o lençol freático e ser potencializada pela influência das águas subterrâneas (Rego, 1978).

Pittelkow (2013) classifica as voçorocas em três tipos, relacionados à rede de drenagem e ao impacto das águas subterrâneas. As voçorocas são fenômenos não sazonais, ligados à rede de drenagem local, e sua evolução ocorre de jusante para montante (Lima, 2003).

Figura 3 – Tipos de voçoroca



Fonte: Pittelkow (2013)

3.2 FATORES CONDICIONANTES NOS PROCESSOS EROSIVOS

Os fatores condicionantes da erosão são aqueles que determinam as variações nas taxas de erosão e podem ser subdivididos em erosividade (causada pela chuva), erodibilidade (propriedades do solo), características das encostas e cobertura vegetal. A interação entre esses fatores, associada à ação antrópica, pode agravar a ocorrência da erosão, condicionando processos acelerados (Guerra, 1998).

3.3 SUSCETIBILIDADE X ERODIBILIDADE

O termo erodibilidade pode ser entendido como o potencial de um solo em desenvolver processos erosivos, que é a recíproca de sua resistência (Hudson, 1981 *apud* Albuquerque *et al.*, 2007). Para Bastos (1999) pode ser definida como a propriedade do solo que retrata o grau de facilidade com que suas partículas são destacadas e transportadas pela ação de um agente erosivo, constituindo-se como uma das propriedades de comportamento dos solos de maior complexidade em função do grande número de fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos intervenientes.

O enfoque embasado na erodibilidade do solo valoriza a influência das condições do solo no processo (Silveira; Pejon, 2007; Arraes *et al.*, 2010; Demarchi; Zimback, 2014). A avaliação da erodibilidade via medidas diretas, ou baseada em equações de regressão, pode prover bom entendimento do papel do solo no processo (Lima *et al.*, 2007; Anache *et al.*, 2015).

A Quadro 1 apresenta uma relação geral entre as características dos fatores condicionantes e a erodibilidade.

A elaboração de cartas de susceptibilidade à erosão é um dos mecanismos mais comuns para avaliar o potencial de ocorrência do processo erosivo com base nos atributos do meio físico (Pons *et al.*, 2007; Lollo; Sena, 2013; Galharte *et al.*, 2014).

Entendida a suscetibilidade como inerente ao ambiente e representando o potencial devido às condições naturais para desenvolvimento de processos erosivos, é possível definir diferentes potenciais em função de uma combinação de condições. No entanto, existe sempre a dificuldade de se estabelecer a importância relativa de cada atributo em cada área estudada.

Em alguns casos, as abordagens tradicionais se beneficiam da consideração das atividades humanas e suas variações espaciais e temporais (representadas na forma da caracterização do uso e cobertura da terra e de suas mudanças) no diagnóstico de processos erosivos (Mea, 2005; Goldman *et al.*, 2008; Galharte *et al.*, 2014; Schewe *et al.*, 2014; Torres *et al.*, 2016).

Quadro 1- Fatores que influenciam na erodibilidade dos solos.

FATORES	INFLUÊNCIA
Físicos: • Textura • Estrutura	• Inlui no destacamento e carreamento das partículas do solo; • Determina a facilidade com que o solo é dispersado; • Determina a força limite necessária para o destacamento. • Condiciona a formação de agregados que resistem a dispersão, aos efeitos da água de escoamento e ao destacamento; • Inlui no grau de agregação e distribuição de agregados estáveis; • A rugosidade superficial dos agregados influencia a retenção d'água; • Condiciona a formação de crosta superficial determinante de alta taxa de escoamento superficial.
Mecânicos: • Resistência ao cisalhamento	• Importante no destacamento de partículas por impacto de gotas ou escoamento superficial; • Influencia o rolamento e deslizamento de grãos;
Hidrológicos: • Retenção d'água • Infiltração e permeabilidade	• A umidade inicial do solo influencia a resistência ao destacamento das partículas; • As poropressões geradas no processo influenciam a resistência ao cisalhamento do solo. • A taxa de infiltração e a permeabilidade do solo determinam o volume de escoamento superficial.
Químicos, Biológicos, e Mineralógicos: • Matéria orgânica • Argilominerais	• Influencia a textura e as propriedades de retenção e distribuição d'água; • Fortalece os agregados e os micro-agregados, aumentando suas resistências à desagregação e à dispersão. • Influenciam a estrutura e a resistência do solo; • Interação com a matéria orgânica, influenciando a estabilidade de agregados.
Características do Perfil: • Morfologia do perfil • Substrato rochoso	• Influencia o escoamento superficial pelas mudanças nas propriedades hidrológicas dos diferentes horizontes. • As características litológicas do substrato rochoso, associadas à intensidade do intemperismo e à natureza da alteração e grau de fraturamento, condicionam a erodibilidade dos solos saprolíticos.

Fonte: adaptado de Lal, 1990 *apud* Bastos (1999)

3.3.1 Fatores climáticos

A erosividade corresponde ao potencial da chuva de causar a perda de solo por unidade de área, devido à desagregação e ao transporte das partículas de solo (LAL, 1994). Essa capacidade depende das características da chuva (distribuição e tamanho da gota), do relevo e do solo. Se considerarmos apenas o efeito da chuva e as demais características como constantes, a perda de solo tende a ser proporcional à energia cinética e à intensidade máxima da chuva (Lombardi Neto; Moldenhauer, 1992; Wischmeier; Smith, 1958).

Nesse sentido, para avaliar a capacidade da chuva de causar erosão, são utilizados os seguintes fatores pluviométricos: intensidade, duração e frequência. A intensidade é considerada a característica mais importante, pois influencia tanto nas taxas de infiltração como no escoamento superficial. A duração condiciona os processos de infiltração e formação de enxurradas; e a frequência, assim como a intensidade, influencia na taxa de infiltração, teor de umidade e volume do escoamento superficial (Bertoni; Lombardi Neto, 1990; Guerra, 1998).

Para avaliar a energia cinética, ou seja, a força que uma partícula possui para impactar o solo, Wischmeier e Smith (1958) consideram o produto entre energia cinética e intensidade máxima da chuva em 30 minutos conforme descrito na Equação 1. De modo semelhante, para regiões tropicais e subtropicais, Hudson (1977) propôs uma adaptação, considerando a intensidade máxima de 25.4 mm ou maiores (Equação 2).

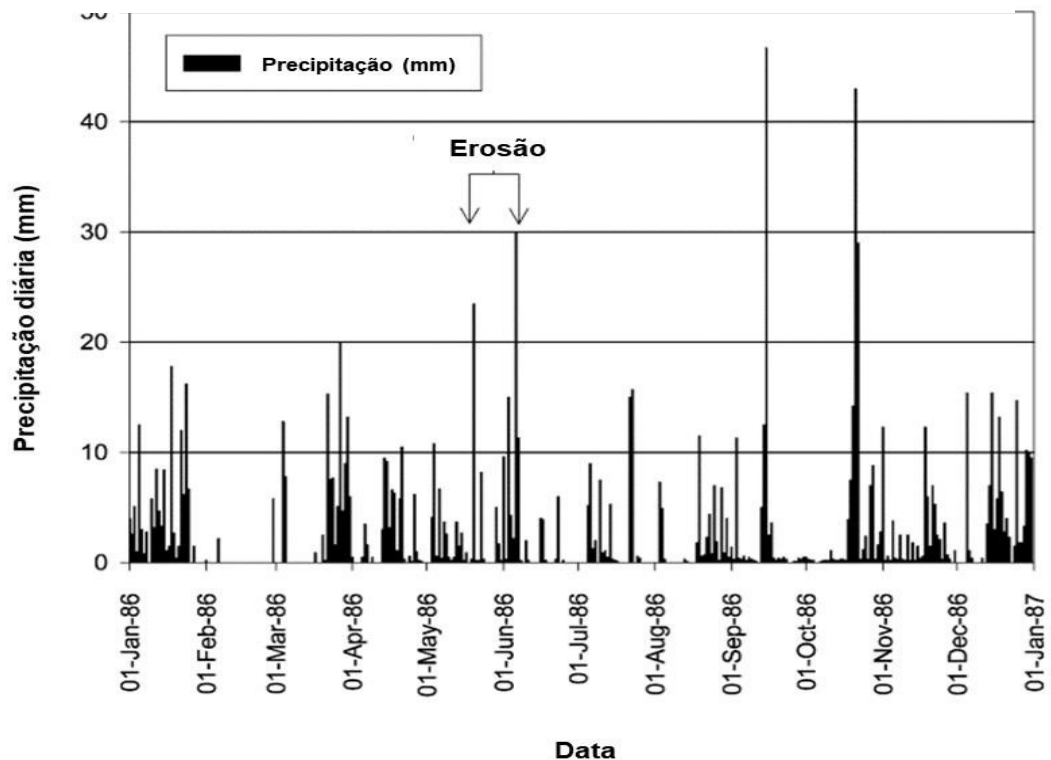
$$EC = 0.0119 + 0.0873 \log_{10} I \quad \text{Equação 1}$$

$$EC = 0.298 (1 - 4.29 I) \quad \text{Equação 2}$$

em que: EC é a energia cinética (joules/m²/mm); I é a intensidade máxima da chuva (mm/h).

Além desses fatores, é importante destacar que o surgimento das erosões muitas vezes está associado a eventos de chuva extremos, conforme apresentado na Figura 4, que mostra uma análise realizada na Bélgica considerando dados meteorológicos de 1986 a 1999 (Nachtergaele *et al.* 2002). Além do potencial de desencadear novas feições, chuvas intensas também podem contribuir com a evolução das feições existentes.

Figura 4 – Precipitação diária x surgimento da erosão



Fonte: Adaptado de Nachtergaele *et al.* (2002).

3.3.2 Natureza dos terrenos

A erodibilidade corresponde à resistência do solo à desagregação e ao transporte, e está relacionada com textura, estrutura, teor de matéria orgânica, porosidade, mineralogia das argilas e composição química (Lal, 1994). Segundo Morgan (2005), a erodibilidade não é estática ao longo do tempo, pois os solos podem passar por processos de evolução que modificam suas propriedades, tornando-os mais ou menos resistente aos processos erosivos.

De acordo com Salomão e Iwasa (1995), Guerra (1998) e Morgan (2005), as propriedades do solo relacionadas com a erodibilidade interferem principalmente na capacidade de infiltração, absorção e no fluxo do escoamento superficial. Entre as principais propriedades, pode-se citar: textura, estrutura, matéria orgânica, porosidade e composição química.

A textura afeta a erosão devido à maior ou menor capacidade de remoção das partículas, por isso, solos finos são mais resistentes em virtude da coesão entre as partículas.

A estrutura, influencia tanto na capacidade de infiltração e absorção de água como na remoção dos sedimentos.

A matéria orgânica, em conjunto com outras propriedades, contribui para a formação de agregados, que conferem maior estabilidade e, portanto, maior resistência do solo.

A porosidade interfere diretamente nas taxas de infiltração e a composição química favorece a formação de agregados devido à ligação química entre os minerais, conferindo maior ou menor resistência (Salomão; Iwasa, 1995; Guerra, 1998; Morgan, 2005).

Segundo Salomão e Iwasa (1995) e Morgan (2005), a espessura das camadas e a umidade também devem ser consideradas. A espessura interfere na capacidade de infiltração e na formação do *runoff*, além do mais, a alteração das propriedades entre os horizontes, como textura e permeabilidade, pode conferir maior ou menor suscetibilidade à erosão. E a umidade enfraquece os agregados diminuindo a coesão entre as partículas.

3.3.3 Cobertura vegetal

A cobertura vegetal protege o solo contra a erosão de diferentes maneiras: folhas e caules absorvem parte da energia da gota da chuva, reduzindo o impacto direto sobre o solo; parte da chuva é interceptada pelo dossel e retorna à atmosfera devido à evaporação; as raízes contribuem com a resistência mecânica e infiltração da água no solo; e a presença de serrapilheira favorece a formação da matéria orgânica humidificada. Dessa forma, a presença da vegetação atua principalmente no aumento das taxas de infiltração de água no solo e na redução do volume do *runoff* (Bertoni; Lombardi Neto, 1990; Gomes, 1998; Morgan, 2005).

O efeito positivo da vegetação depende do percentual de cobertura vegetal. Nesse sentido, segundo Torri e Poesen (2014), paisagens com alta densidade de vegetação promovem um ganho na resistência do solo, pois aumentam a capacidade de retenção de água; retardam o selamento da superfície (*sealing*); favorecem a estabilização dos agregados do solo devido a presença de matéria orgânica; assim como as raízes aumentam a macro porosidade e a capacidade de infiltração.

Assim, nota-se que vegetação se caracteriza como principal fator de proteção do solo e sua presença em áreas suscetíveis é fundamental. Segundo Morgan (2005),

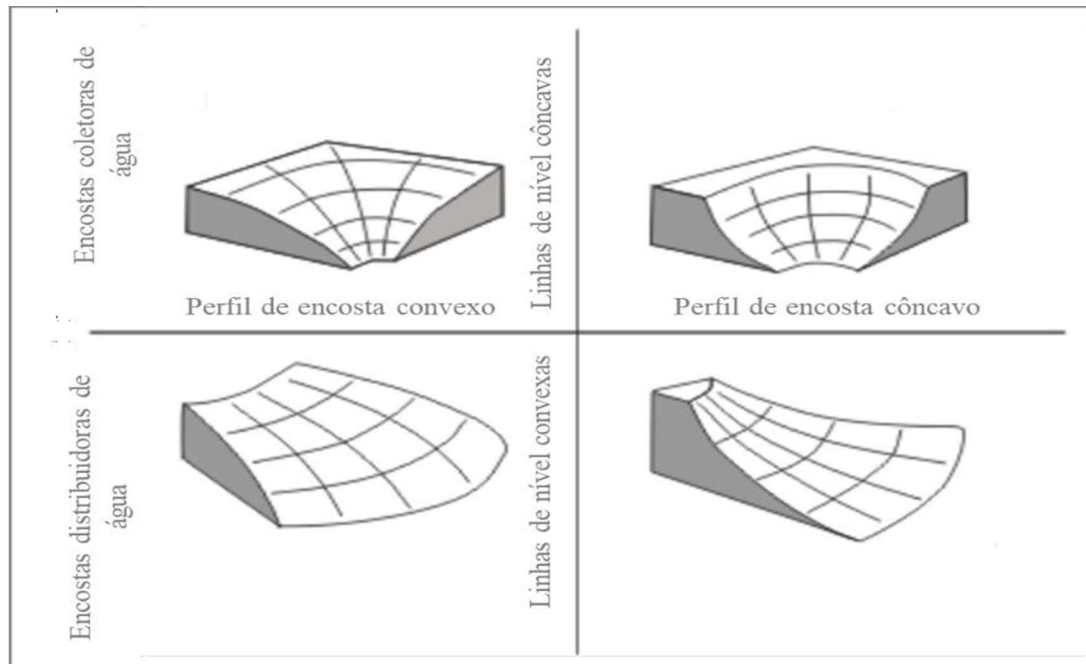
nesses locais, um percentual adequado de vegetação capaz de garantir uma boa proteção do solo seria de 70%, entretanto, um nível de proteção razoável pode ser alcançado com 30 a 40%. Esses valores podem variar em função das propriedades do solo e a efetividade da proteção depende das características da vegetação.

3.3.4 Relevô

Declividade, comprimento de rampa e forma de encosta são características que influenciam fortemente na distribuição do escoamento superficial, sendo, portanto, fatores fundamentais no estudo da suscetibilidade à erosão (Guerra, 1998).

Segundo Santoro (1991), em relação a forma, observa-se que as encostas côncavas são mais relacionadas à formação de voçorocas, pois propiciam a formação do escoamento superficial concentrado. Contudo, o efeito destas características deve ser analisado em conjunto com as propriedades do solo, pois também afetam a velocidade do escoamento e taxa de remoção das partículas (Guerra, 1998). Tanto a declividade como o comprimento de rampa influenciam na velocidade e no volume do escoamento superficial; assim como a forma da encosta influencia na sua distribuição, como mostra a Figura 5.

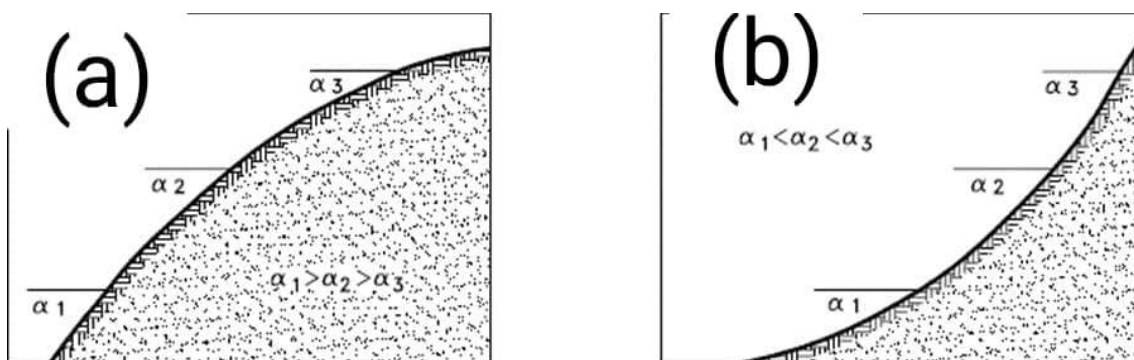
Figura 5 – Classificação das encostas quanto ao tipo de perfil



Fonte: Adaptado de Bloom (1970).

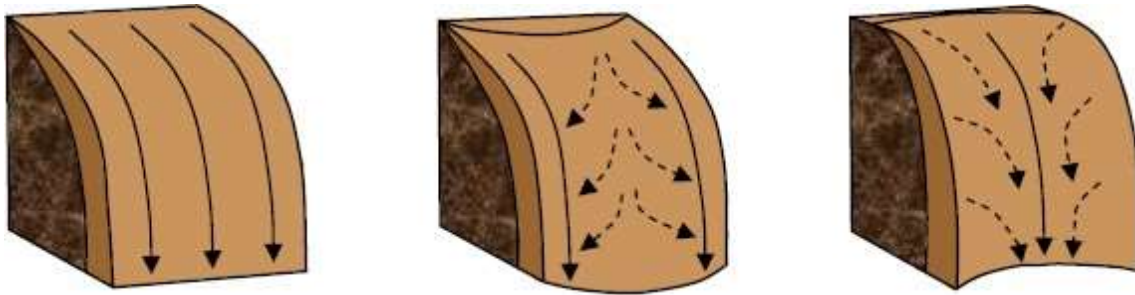
Segundo Nishyama (1995), o perfil da encosta tem formas predominantemente convexas e apresentam dois fatores propícios à aceleração do escoamento: o crescimento das declividades locais em direção à base da encosta e a tendência de concentração do fluxo em determinadas direções, como apresentado na Figura 6 (b) e Figura 8. A Figura 6 (a) e Figura 7 mostram as formas côncavas, que tendem a apresentar redução dos valores locais de declividade em direção à base da encosta e concentração de fluxo em direção ao centro da base, definindo, assim, condições de fluxo menos danosas.

Figura 6 – Variação da declividade em encostas convexa (a) e côncava (b)



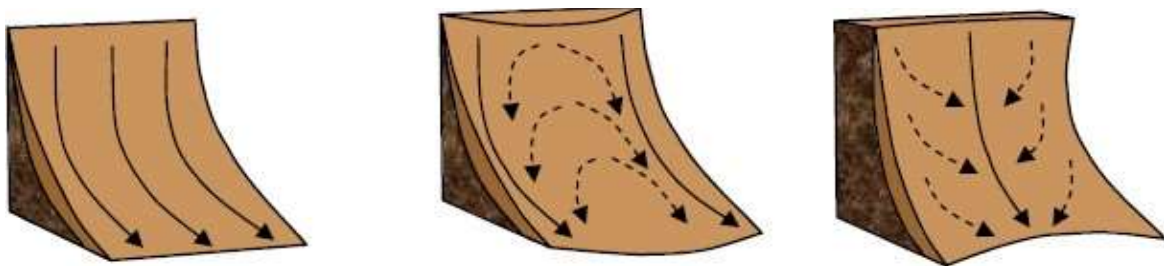
Fonte: Nishyama (1995)

Figura 7 – Perfil de encostas convexas



Fonte: Nishyama (1995)

Figura 8 – Perfil de encostas côncavas



Fonte: Nishyama (1995)

Segundo Morgan (2005), se o comprimento de rampa aumenta à medida que os terrenos se tornam mais íngremes e as taxas de infiltração permanecem altas, a erosão tende a diminuir. Da mesma forma, se a declividade diminui à medida que o comprimento de rampa aumenta, a perda de solo também tende a ser menor. Portanto, existe uma variedade de condições que influencia no escoamento superficial e não é possível determinar uma única relação entre perda de solo, declividade e comprimento da encosta.

De acordo com Poesen *et al.* (2003), a declividade controla o local onde as erosões começam na paisagem, enquanto a presença de concavidades interfere diretamente na trajetória e na deposição dos sedimentos.

3.3.5 Ação antrópica

Os processos erosivos desencadeados por fatores naturais apresentam como principal característica taxas de remoção e perda de sedimentos em equilíbrio com a dinâmica natural da paisagem. Por outro lado, a interação entre as características do meio físico e os fatores antrópicos pode favorecer a ocorrência de processos

acelerados, em taxas superiores à erosão natural, ocasionando a degradação ambiental (Rotta; Zuquette, 2015).

Segundo Poesen *et al.* (2003) e Santoro (2009), as principais atividades humanas que condicionam processos erosivos acelerados são: desmatamento; uso excessivo de áreas agrícolas; ausência de práticas de conservação do solo; áreas de pastagem; abertura de estradas e loteamento sem execução de obras de drenagem; queimadas e mineração. Além do mais, a intervenção antrópica pode modificar as características naturais das bacias hidrográficas, alterando a relação entre o escoamento superficial e a capacidade de armazenamento de água no solo.

Nesse sentido, a ocorrência de áreas degradadas por processos erosivos relaciona-se diretamente com as mudanças no uso do solo, que podem ocorrer de forma gradual ou repentina. De maneira geral, segundo Poesen *et al.* (2003) as principais modificações que influenciaram na ocorrência da erosão nos últimos anos foram: aumento de áreas de cultivo, aumento de áreas de pastagem, aumento de áreas para criação de gado e desmatamento excessivo.

Segundo o IPT (2012), no estado de São Paulo, a expansão urbana acelerada se tornou um dos principais agentes da deflagração dos processos erosivos. O crescimento desordenado e as obras de infraestrutura ineficientes, como drenagem, principalmente na região oeste do estado, intensificaram o desencadeamento de novas erosões e a evolução para processos erosivos mais complexos.

3.4 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do córrego do Prosa se localiza no município de Campo Grande, capital de Mato Grosso do Sul, que tem crescido de maneira razoavelmente constante, com uma população de mais de 900 mil habitantes (ou 31,77% do total da população estadual) e cerca de 102 hab/km², sendo o terceiro maior e mais desenvolvido centro urbano da região Centro-Oeste e a 22^a maior cidade do Brasil em 2008 (IBGE, 2010).

Campo Grande situa-se próxima ao paralelo 20°26'34" S e do meridiano 54°38'47" W. Suas cidades limítrofes são Jaraguari e Rochedo ao norte; Nova Alvorada do Sul e Sidrolândia ao sul; Ribas do Rio Pardo a leste; e Terenos a oeste (IBGE, 2010). Ocupa uma superfície total de 8.096,051 Km², ocupando 2,26% da área total do Estado.

As temperaturas variam bastante durante o ano. Predomina o clima Tropical com estação seca, com duas estações muito bem definidas: quente e úmida no verão e menos chuvosa e mais amena no inverno. Nos meses de inverno a temperatura pode cair bastante, em certas ocasiões pode chegar a quase 0 °C com geadas ocasionais e leves. A precipitação média é de 1534 mm ao ano, com variações durante certos anos (para mais ou para menos) (Nimer; Brandão, 1989).

Campo Grande pertence aos Domínios da Região Fitogeográfica da Savana e árvores caducifólias. Sua cobertura vegetal autóctone apresenta-se com as fisionomias de Savana Arbórea Densa, Savana Arbórea Aberta, Savana Parque e Savana Gramíneo Lenhosa (Campo Limpo), além das áreas de Tensão Ecológica representadas pelo contato Savana/Floresta Estacional e áreas das Formações Antrópicas. Está em pleno Cerrado, tendo também Florestas e Campos. (Brasil, 1982).

Em Campo Grande há três tipos de solos originais: o Latossolo Vermelho Escuro (Latosolo Vermelho Distrófico), que são bem profundos e bem drenados; o Roxo, onde os solos são bem profundos, drenados e com baixa suscetibilidade a erosão; as Areias Quartzosas, não hidromórficas, com textura arenosa, pouco desenvolvidas e com baixa fertilidade natural; e Litólicos, onde são rasos, muito pouco evoluídos, apresentam teores baixos de materiais primários de fácil decomposição. (BRASIL, 1982).

O relevo do Município está compreendido em duas grandes regiões geomorfológicas, sendo elas: Região dos Planaltos Arenítico-Basáltico Interiores, compreendendo as unidades do Planalto de Dourados, as Rampas Arenosas dos Planaltos Interiores e os Divisores Tabulares dos Rios Verde e Pardo, e a Região dos Planaltos da Borda Ocidental da Bacia do Paraná. O modelado local é composto essencialmente pela associação de colinas médias a amplas suave onduladas a aplainadas e vales pouco profundos. São formas elaboradas pela ação fluvial, apresentando topos tubulares e vertentes com baixas inclinações. A rede de drenagem caracteriza-se pela baixa estruturação e densidades médias a baixas (Campo Grande, 1997).

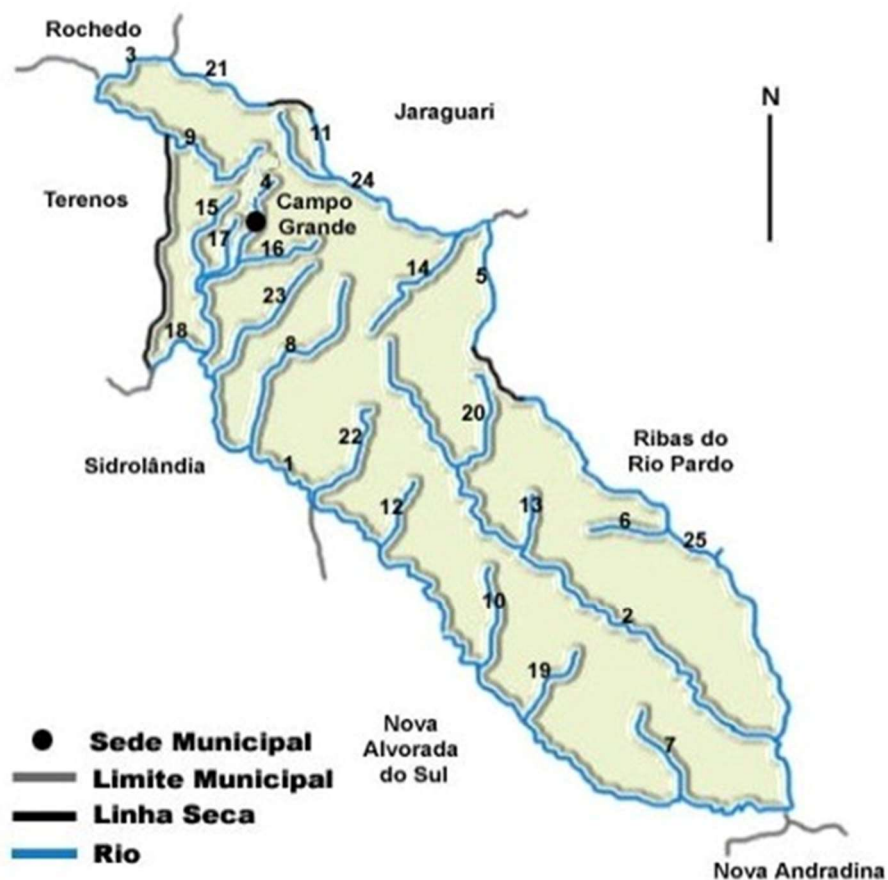
Campo Grande localiza-se numa área de interflúvios, onde há a separação de duas Bacias Hidrográficas: Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai e Bacia Hidrográfica do Rio Paraná. Esta área compreende a Unidade Geomorfológica denominada Planalto de Maracaju-Campo Grande. Caracteriza-se por ser uma extensa área

homogênea relativa à borda oeste da Bacia Sedimentar do Paraná, apresentando cotas altimétricas variando de 300 m a 600 m. Apresenta declividade geral para leste, acompanhando o mergulho das camadas geológicas (Brasil, 1982).

Segundo a Prefeitura Municipal de Campo Grande (2008) o município de Campo Grande é um divisor de águas, cujos córregos alimentam duas importantes bacias hidrográficas do país. A maior parte do território Campo-Grandense está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná e parte da porção Noroeste do seu território está incluso na Bacia Hidrográfica do Rio Paraguai.

Há 33 córregos identificados e nominados dentro do perímetro urbano distribuídos em dez unidades de gestão – microbacias (Tabela 1). A Figura 9 ilustra a relação hidrográfica das principais microbacias da zona urbana de Campo grande, já a Tabela 1 identifica as mesmas e seus principais cursos d’água, bem como a área total destas microbacias.

Figura 9 – Relação da hidrografia de Campo Grande



1. Rio Anhanduí	10. Córrego do Engano	19. Córrego Limpo
2. Rio Anhanduizinho	11. Córrego Estaca	20. Córrego Manguçú
3. Córrego Angico	12. Córrego Estiva	21. Córrego Mateira
5. Córrego Anhanduí	13. Córrego Fortaleza	22. Córrego Pouso Alegre
5. Córrego Água Turva	14. Córrego Guariroba	23. Córrego Três Barras
6. Córrego Arame	15. Córrego Imbirussu	24. Ribeirão das Botas
7. Córrego da Areia	16. Córrego Lageadinho	25. Ribeirão do Lontra
8. Córrego Cachoeira	17. Córrego Lagoas	
9. Córrego Ceroula	18. Córrego Lagoinha	

Fonte: SEPLAN/ MS (2011)

Tabela 1 – Microbacias do Espaço Urbano de Campo Grande

Microbacias	Principais Cursos D'Água	Área (km²)
Anhanduí	Anhanduí e Formiga	29,9
Bálsamo	Bálsamo	13,4
Bandeira	Bandeira, Cabaça e Portinho Pache	19,5
Botas- Coqueiro	Botas-Coqueiro	35,3
Gameleira	Gameleira	16,6
Imbirussu	Imbirussu e Cerradinho	55,1
Lageado	Lajeado e Poção	51,1
Lagoa	Lagoa, Buriti, Zardo e Siriema	35,7
Prosa	Prosa, Sóter, Revellieu e Vendas	30,9
Segredo	Segredo, Seminário, Cascudo e Maracaju	46,1

Fonte: Campo Grande (2008).

Assim, como grande parte do Brasil, as cidades cresceram sem planejamento, ou seja, sem plano diretor, código florestal ou licenciamento ambiental, o que gerou problemas decorrentes desse processo de expansão urbana com degradação ambiental. Isso foi constatado com o mapa de uso e ocupação do solo da bacia, que tem o predomínio da área urbana.

O crescimento urbano, sem planejamento, impermeabiliza o solo e a água que deveria infiltrar para o subsolo acaba escoando na superfície. A força da água, principalmente em região com rocha frágil, vai escavando até atingir o nível freático, causando erosão onde todo material vai se acumulando ao longo dos córregos. (Ross, 2006)

A Prefeitura Municipal de Campo Grande (2008) confirma que as dez sub-bacias (Tabela 1) já demonstram os efeitos das alterações antrópicas na maior parte das suas áreas, sendo: as bacias do Segredo, Prosa e Anhanduí são as que se encontram mais degradadas. As principais formas de degradação verificadas são: processos de assoreamentos, solapamentos, insuficiência no sistema de captação de águas pluviais e contaminação por efluentes domésticos.

3.5 GEOPROCESSAMENTO

O geoprocessamento representa uma disciplina dinâmica e vital no contexto atual, onde a análise e o entendimento do espaço geográfico são de importância crescente em várias esferas da sociedade (Longley *et al.*, 2015). Este campo interdisciplinar incorpora uma variedade de técnicas e tecnologias para coletar, gerenciar, analisar e visualizar dados espaciais, fornecendo insights valiosos para uma variedade de aplicações práticas (Burrough; McDonnell, 2015).

Em um mundo cada vez mais conectado, o geoprocessamento desempenha um papel central em uma série de áreas, desde o planejamento urbano e a gestão ambiental até a agricultura de precisão e a navegação (Heywood *et al.*, 2012). Utilizando ferramentas como Sistemas de Informação Geográfica (SIG), sensoriamento remoto, Global Positioning System (GPS) e modelagem espacial, os profissionais de geoprocessamento podem criar mapas digitais, analisar padrões espaciais, prever tendências e tomar decisões informadas (De Smith *et al.*, 2018).

As aplicações do geoprocessamento são vastas e abrangem campos como cartografia digital, gestão de recursos naturais, planejamento de transporte, monitoramento de desastres naturais, análise epidemiológica e muito mais (O'Sullivan & Unwin, 2014). Além disso, o avanço contínuo da tecnologia, incluindo o uso de big data e inteligência artificial, está impulsionando ainda mais o potencial do geoprocessamento para resolver desafios complexos em escala global.

3.6 ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

O Método de Análise Hierárquica (AHP) fundamenta-se no emprego do pensamento cartesiano para a verticalização da mente humana durante a concepção e estruturação de um problema. Com isso, diversas situações são decompostas e desmembradas em critérios, subcritérios e alternativas (Zatta, Mattos, Oliveira, Freitas & Gonçalves, 2019). Gonçalves (2016) ressalta que o método AHP pode identificar e analisar inconsistências em julgamentos, minimizando a incidência de possíveis erros na interpretação de resultados. Para isso, apoia-se em três etapas. Inicialmente, conforme Saaty (2008), o problema a ser estudado deve ser modelado em níveis hierárquicos, sendo considerado o objetivo a ser atingido. Em seguida, são definidos critérios e subcritérios de acordo com a conveniência e necessidade da ocasião, seguidos das alternativas de decisão.

Além disso, destaca que o método possibilita que a decisão seja tomada fundamentada em múltiplos níveis de experiência do fato e utilizando critérios que possuem uma comparação complicada, como a comparação entre parâmetros quantitativos e qualitativos.

Bible *et al.* (2011) salienta alguns fatos que justificam o auxílio do método AHP aos decisores, são eles:

- Arquitetar a complexidade de um problema de decisão, utilizando a hierarquia para organizar os diversos elementos de um problema;
- Julgar, através de comparações par a par, a preferência relativa das alternativas constatadas e a importância relativa dos objetivos;
- Auxiliar na priorização com a conciliação de informações tangíveis como dados quantitativos, e intangíveis provenientes da intuição e experiência dos decisores;
- Resumir os resultados de objetivos concorrentes e de panoramas diferentes;

Gomes *et al.* (2004) enfatiza que os princípios fundamentais do método AHP são:

- Atributos e Propriedades: um grupo de alternativas finitas definidas, é comparado de acordo com um conjunto finito de propriedades;

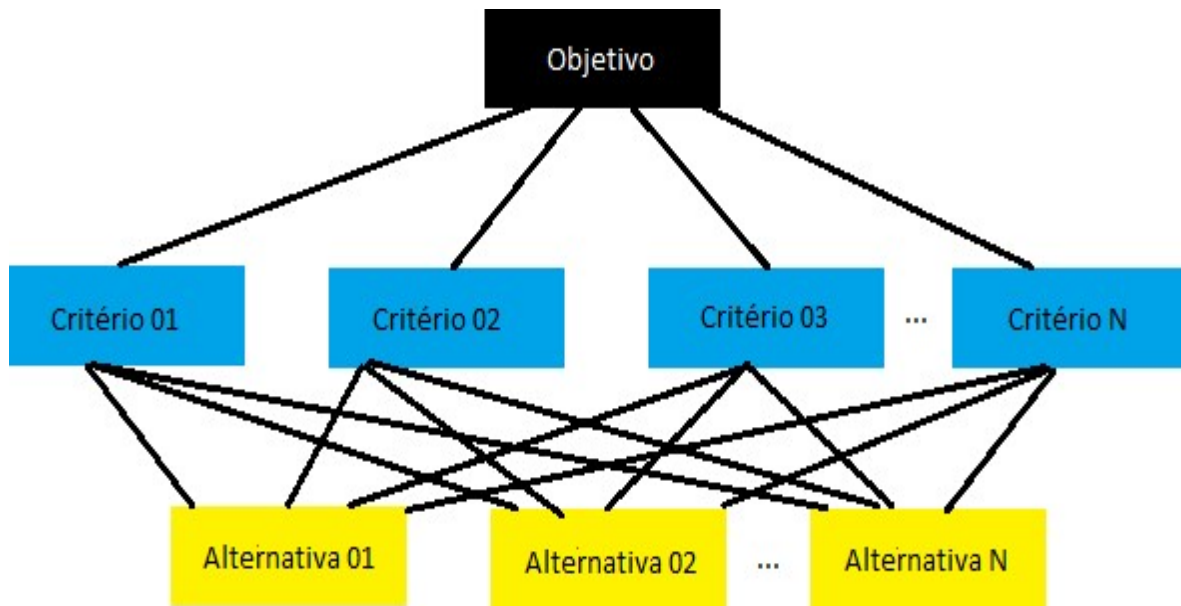
- Correlação Binária: dois elementos são comparados baseados em uma propriedade determinada, que é definida como uma comparação binária, onde um elemento pode ser preferível ou indiferente em relação ao outro;
- Escala Fundamental: cada elemento recebe um valor de prioridade em relação a outros elementos;
- Hierarquia: um grupo de elementos organizados por ordem de preferência e homogêneos em seus relativos níveis hierárquicos;

O método AHP vem sendo bastante aplicado em várias áreas em todo mundo, e, segundo Perrin (2008), isso se justifica pelo fato de o método ser de fácil utilização, por possibilitar a comparação de critérios qualitativos com quantitativos, também por ser uma técnica intuitiva que auxilia na consumação de compromisso e consenso entre os elementos que participam do processo decisório, e por poder ser utilizado para decisões individuais e em grupos.

Segundo Costa (2002), o método AHP se baseia em três etapas reflexão analítica:

(I) Construção de hierarquias: O problema é estruturado em níveis hierárquicos, facilitando uma melhor avaliação e compreensão do mesmo. Para a execução do AHP, é fundamental que as alternativas e os critérios possam ser arquitetados de maneira hierárquica, sendo assim, no nível inicial equivale ao objetivo geral do problema, o segundo nível, aos critérios, e o terceiro nível as alternativas. Trevizano e Freitas (2005) afirmam que a organização hierárquica viabiliza ao decisor ter uma visualização geral do sistema e de seus componentes, tal como relações destes componentes e as influências que eles têm em relação ao sistema. Também busca entender de maneira completa, o problema e a complexidade, auxiliando no julgamento importância e conteúdo dos critérios, mediante a comparação conjunta dos critérios. A Figura 11 representa a estrutura básica da hierarquia do método AHP.

Figura 10 – Estrutura Hierárquica Básica



Fonte: Adaptado de Vargas (2010)

(II) Definição de prioridades: Baseia-se competência do ser humano em perceber ligações entre as coisas que investiga, comparar pares de objetos parecidos à luz de determinados critérios, e diferenciar entre os componentes de um par mediante o julgamento da preferência de um item em relação ao outro (Saaty, 1991).

Segundo os autores Costa (2002), Trevizano e Freitas (2005), nesta fase devem ser realizadas as seguintes etapas:

1. Julgamentos paritários: Nesta etapa é realizado o julgamento binário à luz de cada elemento vinculado a um nível superior, construindo as matrizes de julgamento A. Os elementos são comparados de acordo com as escalas da tabela 1.
2. Normalização das matrizes de julgamento: Nesta etapa é realizada a normalização das matrizes obtidas, através da soma dos valores de cada coluna das matrizes de julgamento e seguidamente a divisão de cada valor destas matrizes pelo somatório dos elementos da respectiva coluna.

Tabela 2 – Escala fundamental de Saaty

1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência ou juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.
2, 4, 6, 8	Valores Intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Fonte: Saaty (1991)

3. Cálculo das prioridades médias locais (PML's): PML's são as médias das linhas dos quadros normalizados;

4. Cálculo das prioridades globais: esta etapa objetiva a identificação de um vetor de prioridades global (PG), e o resultado será um vetor que contém a média das preferências de cada critério.

5. Obter o resultado: multiplicar a matriz obtida na etapa 3 pelo vetor da média obtido na etapa 4. O resultado será um vetor que contém a quantificação final de cada alternativa.

(III) Consistência lógica: O método AHP oferece aos usuários, calcular a Razão de Consistência dos julgamentos (RC) para analisar a consistência dos resultados obtidos, e o cálculo é denotado por $RC = IC/IR$ onde, o índice de consistência (IC) é dado pelo cálculo de $IC = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$, e o $\lambda_{\max}$ é o maior

Tabela 3 – Índices de consistência aleatória.

autovalor da matriz de julgamentos. O IR é o Índice de Consistência Randômico obtido para uma matriz recíproca de ordem n, com elementos não-negativos e gerada randomicamente. Os valores possíveis para o IR, estão na tabela 2. De acordo com Saaty (1991) a condição de consistência dos julgamentos é $RC \leq 0,1$.

Fonte: Saaty (1991)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54

3.7 FULL CONSISTENCY METHOD (FUCOM)

FUCOM (Pamučar *et al.*, 2018) é um novo método MCDM para determinação de critérios de pesos. Os problemas de tomada de decisão multicritério são caracterizados pelo método FUCOM na tomada de decisão em grupo: seleção de empilhadeira em um armazém, escolha da alternativa mais aceitável de um conjunto de alternativas apresentadas no com base nos critérios definidos.

Um modelo de tomada de decisão multicritério pode ser apresentado por uma equação matemática $\max [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)]$, $n > 2$, com a condição de que $x \in A = [a_1, a_2, \dots, a_m]$; onde n representa o número de critérios, m é o número de alternativas, f_j representa os critérios ($j = 1, 2, \dots, n$) e A representa o conjunto das alternativas a_i ($i = 1, 2, \dots, m$). Os valores f_{ij} de cada critério considerado f_j para cada alternativa considerada a_i são conhecidos, nomeadamente $f_{ij} = f_j(a_i)$, $\forall (i, j)$; $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$. A relação mostra que cada valor do atributo depende do j^{th} critério e i^{th} alternativa.

Nos problemas reais, os critérios geralmente não têm o mesmo grau de significância. Portanto, é necessário que os fatores de significância de critérios particulares sejam definidos usando coeficientes de peso apropriados para os critérios, de modo que sua soma seja um. A determinação dos pesos relativos dos critérios na tomada de decisão multicritério é sempre um problema específico, inevitavelmente acompanhado de subjetividade. Esse processo é muito importante e tem um impacto significativo na tomada de decisão final resultado, uma vez que os coeficientes de peso em alguns métodos influenciam crucialmente a solução. Portanto, atenção especial neste artigo é dada ao problema de determinar o peso de critérios, e o novo modelo FUCOM para determinar os coeficientes de peso de critérios é proposta. Este método permite a determinação precisa dos valores de os coeficientes de peso de todos os elementos mutuamente comparados em um certo nível de hierarquia, satisfazendo simultaneamente as condições de consistência de comparação.

Na realidade, valores de comparação pareados $a_{ij} = w_i/w_j$ (onde a_{ij} mostra a preferência relativa do critério i ao critério j) não são baseadas em medições precisas, mas em estimativas subjetivas. Há também um desvio dos valores a_{ij} dos índices

ideais w_i/w_j (onde w_i e w_j representam os pesos dos critérios do critério i e do critério j). Se, por exemplo, for determinado que A é muito mais significativo do que B, B de maior importância que C e C de maior importância que A, existe inconsistência na resolução de problemas e a confiabilidade dos resultados diminui. Isso é especialmente verdadeiro quando há grande número de comparações pareadas entre critérios.

FUCOM reduz a possibilidade de erros em uma comparação ao mínimo possível devido a:

(1) um pequeno número de comparações ($n-1$), ou seja, diferente de outros métodos de MCDA (como o analytic hierarchy process) ele não compara um critério com ele mesmo.

(2) as restrições definidas quando calcula-se os valores ótimos dos critérios.

FUCOM fornece a capacidade de validar o modelo calculando o valor de erro para os vetores de peso obtidos determinando desvio da consistência total (DFC). Por outro lado, em outros modelos de determinar os pesos dos critérios, a redundância da comparação par a par aparece, o que os torna menos vulneráveis a erros em julgamento, enquanto o procedimento metodológico FUCOM elimina esse problema.

Na seção seguinte, o procedimento para obter os coeficientes de peso de critérios usando FUCOM é apresentado.

Etapa 1. Na primeira etapa, os critérios do conjunto predefinido de critérios de avaliação $C = \{C_1, C_2, \dots, C_N\}$ são classificados. A classificação é realizada de acordo com a importância dos critérios, ou seja, partindo do critério que se espera ter o maior peso coeficiente ao critério de menor significância. Assim, os critérios classificados de acordo com os valores esperados dos coeficientes de peso são obtidos

$$C_{J(1)} > C_{J(2)} > \dots > C_{J(K)} \quad (1)$$

Onde k representa o posto do critério observado. Se houver julgamento da existência de dois ou mais critérios com o mesmo significado, o sinal de igualdade é colocado em vez de ">" entre esses critérios na expressão (1)

Etapa 2. Na segunda etapa, é realizada uma comparação dos critérios de classificação e a prioridade comparativa $\varphi_{k/(k+1)}$, $k = 1, 2, \dots, n$ onde k representa a

classificação dos critérios. Assim, os vetores das prioridades comparativas do critérios de avaliação são obtidos, como na expressão (2):

$$\Phi = \varphi_{1/2}, \varphi_{2/3}, \dots, \varphi_{k/(k+1)} \quad (2)$$

Onde $\varphi_{k/(k+1)}$ representa o significado (prioridade) que o critério de classificação da $C_{j(k)}$ em comparação com o critério de classificação do $C_{j(k+1)}$.

A prioridade comparativa dos critérios é definida em uma das duas formas definidas na seguinte parte:

a) De acordo com sua percepção de prioridade, os tomadores de decisão definem a prioridade comparativa $\varphi_{\frac{k}{k+1}}$ entre os critérios observados. Assim, por exemplo, se duas pedras A e B, que, respectivamente, têm os pesos de $w_a = 300$ gramas e $w_b = 255$ gramas são observados, a prioridade comparativa ($\varphi_{\frac{A}{B}}$) da pedra A em relação à pedra B é $\varphi_{\frac{A}{B}} = \frac{300}{255} = 1.18$. Além disso, se os pesos A e B não puderem ser determinados precisamente, mas uma escala predefinida é usada, por exemplo de 1 a 9, então pode-se dizer que as pedras A e B têm pesos $w_a = 8$ e $w_b = 7$, respectivamente. Então a prioridade comparativa ($\varphi_{\frac{A}{B}}$) da pedra A em relação à pedra B pode ser determinado como $\varphi_{\frac{A}{B}} = \frac{8}{7} = 1.14$. Isso significa que a pedra A em relação à pedra B tem uma prioridade (peso) maior em 1,18 (no caso de medições precisas), ou seja, por 1,14 (no caso de aplicação medida por escala). Da mesma forma, os tomadores de decisão definem a prioridade comparativa entre os critérios observados $\varphi_{\frac{k}{k+1}}$. Ao resolver problemas reais, os tomadores de decisão comparam os critérios classificados com base no conhecimento interno, para que eles determinem o comparativo prioridade $\varphi_{\frac{k}{k+1}}$ com base em preferências subjetivas. Se o tomador de decisão analisa que o critério do $C_{j(k)}$ posto tem o mesmo significado que o critério de classificação do $C_{j(k+1)}$, então a prioridade comparativa é $\varphi_{\frac{k}{k+1}} = 1$.

b) Com base em uma escala pré-definida para comparação de critérios, os tomadores de decisão comparam os critérios e, assim, determinam o significado de

cada critério individual na expressão (1). A comparação é feita com relação ao primeiro colocado (o mais significativo). Assim, a importância dos critérios ($\varpi_{C_{J(K)}}$) para todos os critérios classificados na Etapa 1 são obtidos. Como o primeiro critério é comparado consigo mesmo (seu significado é $\varpi_{C_{J(K)}}=1$), pode-se tirar uma conclusão de que a comparação n-1 dos critérios deve ser realizada.

Por exemplo: um problema com três critérios classificados como $C_2 > C_1 > C_3$ está sendo submetido à consideração. Suponha que a escala $\varpi_{C_{J(K)}} \in [1,9]$ é usado para determinar a prioridades dos critérios e que, com base nas prioridades do decisor, o Método FUCOM na tomada de decisão em grupo: seleção de empilhadeira em um armazém obtém as seguintes prioridades dos critérios $\varpi_{C_2} = 1, \varpi_{C_1} = 3.5$ e $\varpi_{C_3} = 6$. Com base nas prioridades obtidas dos critérios e condição $\frac{W_K}{W_{K=1}} = \varphi_{K(K=1)}$. Nós obtemos os seguintes cálculos:

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{3.5}{1} \text{ i.e.}$$

$$W_2 = 3.5 \times W_1,$$

$$\frac{W_1}{W_3} = \frac{6}{3.5} \text{ i.e.}$$

$$W_1 = 1.71 \times W_3$$

Assim, calculam-se as seguintes prioridades comparativas: $\varphi_{C_2/C_1} = 3.5/1=3.5$ e $\varphi_{C_1/C_3} = 6/3.5=1.714$ (expressão (2)).

Como podemos ver no exemplo mostrado na Etapa 2b, o modelo FUCOM permite comparação par a par dos critérios por meio do uso de valores inteiros, decimais ou os valores da escala predefinida para a comparação pareada dos critérios.

Etapa 3. Na terceira etapa, os valores finais dos coeficientes de peso da avaliação de critério $(W_1, W_2, \dots, W_n)^T$ são calculados. Os valores finais dos coeficientes de peso devem satisfazer as duas condições:

(1) que a razão dos coeficientes de peso é igual à prioridade comparativa entre os critérios observados ($\varphi_{\frac{k}{k+1}}$) definido na Etapa 2, ou seja, que a seguinte condição é cumprida:

$$\frac{W_k}{W_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)} \quad (3)$$

Além da condição (3), os valores finais dos coeficientes de peso devem satisfazer a condição de transitividade matemática, ou seja, que:

$$\varphi_{k/(k+1)} \times \varphi_{(k+1)/(k+2)} = \varphi_{k/(k+2)}.$$

Desde que:

$$\varphi_{k/(k+1)} \frac{w_k}{w_{k+1}} \text{ e } \varphi_{(k+1)/(k+2)} = \frac{w_{(k+1)}}{w_{(k+2)}},$$

é obtido isso:

$$\frac{w_k}{w_{k+1}} \times \frac{w_{k+1}}{w_{k+2}} = \frac{w_k}{w_{k+2}}.$$

Assim, mais uma condição para que os valores finais dos coeficientes de ponderação dos critérios de avaliação a satisfazer, nomeadamente

$$\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \times \varphi_{(k+1)/(k+2)} \quad (4)$$

Consistência total, quando o DFC mínimo (x) é satisfeito apenas se a transitividade for totalmente respeitadas, ou seja, quando as condições de $\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)}$ e $\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \times \varphi_{(k+1)/(k+2)}$ são atendidas. . Dessa forma, o requisito de consistência máxima é atendido, ou seja, DFC é x = 0 para os valores obtidos dos coeficientes de peso. Para que as condições sejam atendidas, é necessário que os valores dos coeficientes de peso ($W_1, W_2, \dots, W_n$)^T atendam as condições de:

$$\left| \frac{w_k}{w_{k+1}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq x \text{ e}$$

$$\left| \frac{w_k}{w_{k+2}} - \varphi_{k/(k+1)} \times \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq x, \text{ com o minimização do valor } x.$$

Dessa forma, a exigência de máximo consistência é satisfeita.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item serão mostrados os métodos que serão utilizados para o desenvolvimento da pesquisa. O local de estudo foi a bacia do Rio do Prosa localizado em Campo Grande-MS.

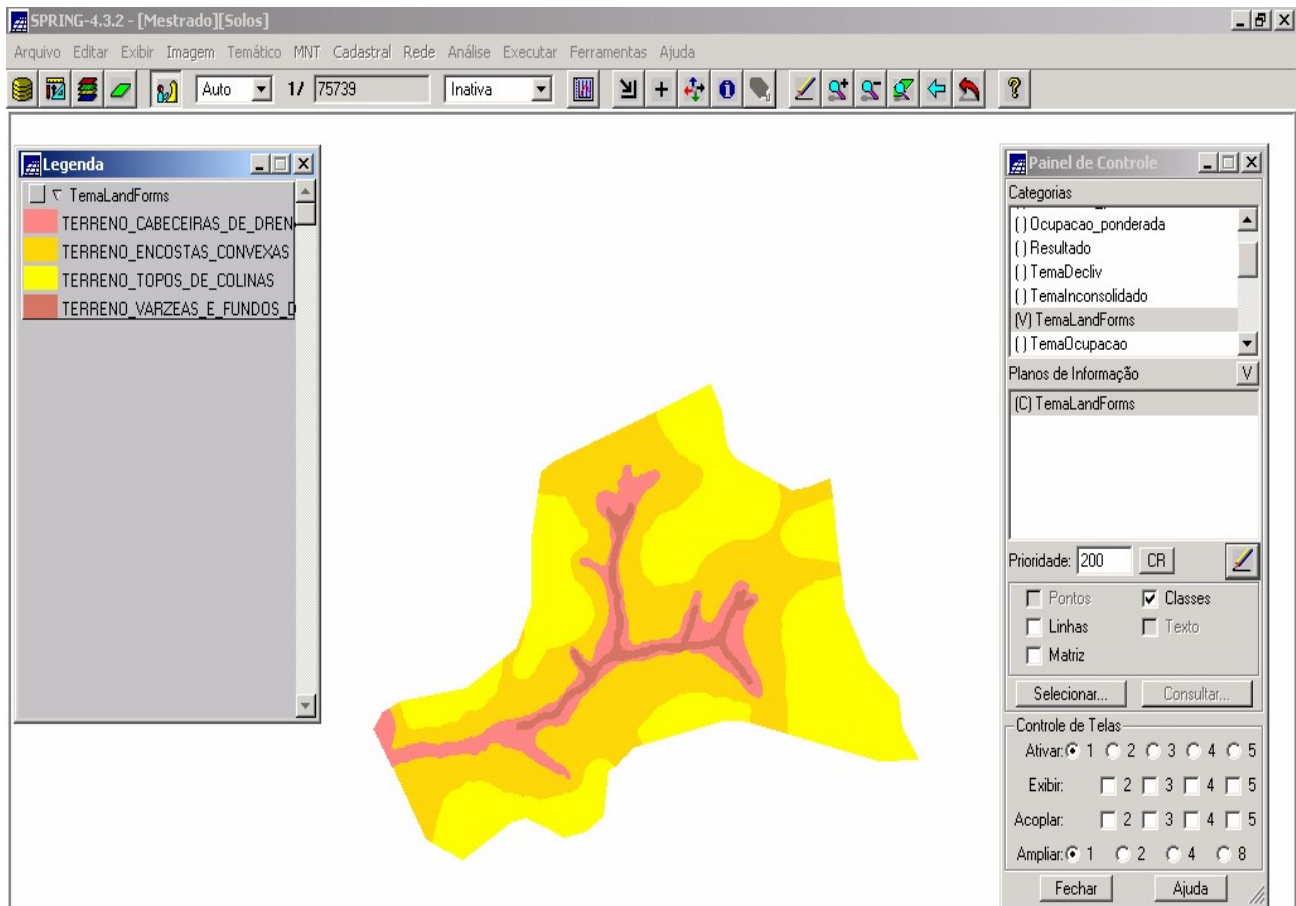
A bacia do Prosa se encontra na cidade de Campo Grande no Estado do Mato Grosso do Sul em uma área de 3.682,6888ha, esta bacia foi escolhida para o estudo pois já foram executadas as cartas necessárias para este trabalho por Sena (2008).

4.1 AQUISIÇÕES DE DADOS E INFORMAÇÕES

Foram utilizadas as cartas utilizadas por Sena (2008) apresentadas nas Figuras de 12 a 17.

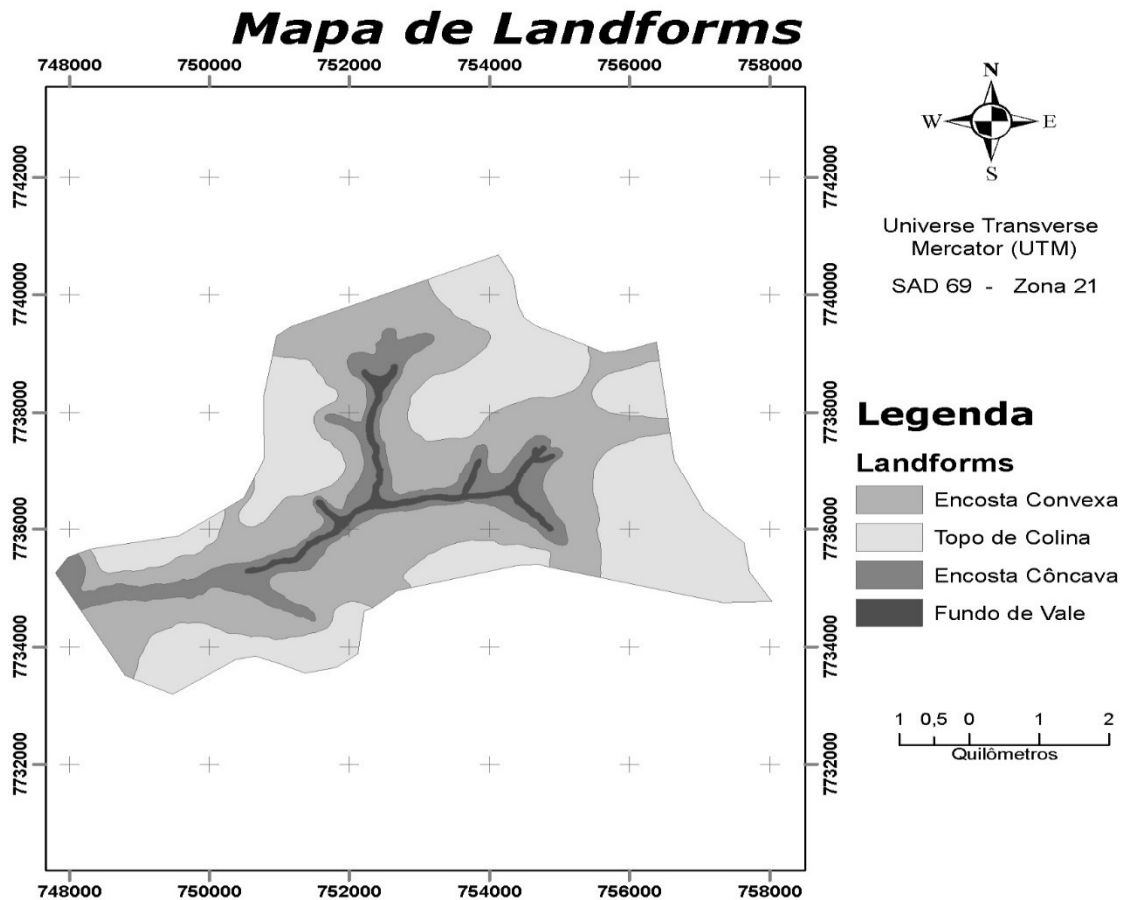
Considerando as características dos elementos do terreno na área descrita, especialmente a forma predominante das encostas e o comprimento das rampas das mesmas, os landforms foram divididos em três categorias: baixa suscetibilidade - topos das colinas; suscetibilidade média - áreas de várzea e fundos de vale; e alta suscetibilidade - cabeceiras de drenagem e encostas convexas. A Figura 12 apresenta a representação digital da carta de Landforms, que ilustra os tipos de relevo na área em estudo, como encostas, várzeas e fundo de vales.

Figura 11 – Representação digital da Carta de Landforms da Bacia do Prosa



Fonte: Autor (2024)

Figura 13 – Carta de Landforms da Bacia do Prosa



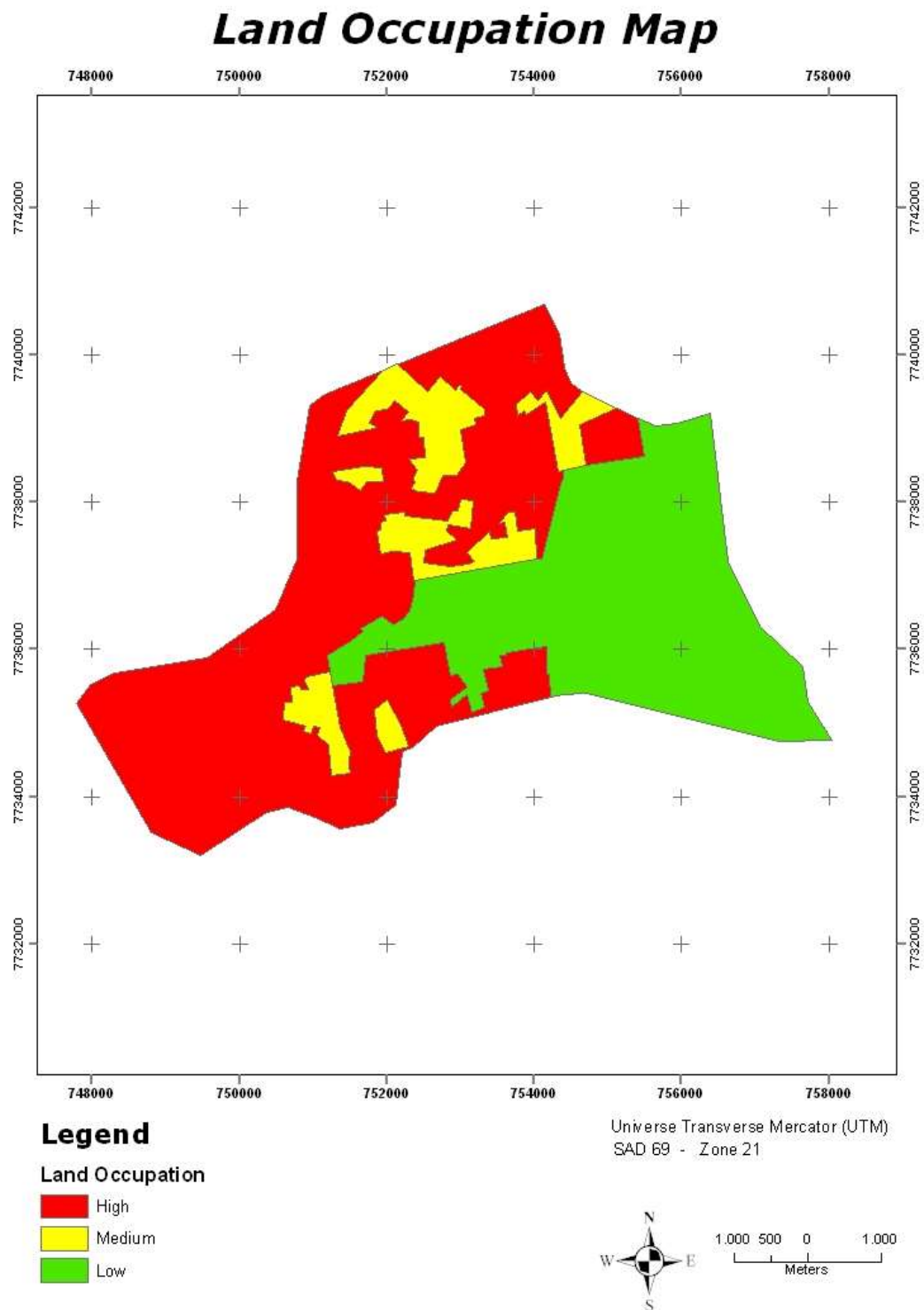
Fonte: Sena (2008)

A classificação do uso e ocupação do solo em termos de suscetibilidade foi determinada com base na intensidade de ocupação e na suposição de que áreas mais ocupadas tendem a apresentar condições mais propícias ao aparecimento e desenvolvimento de processos erosivos.

Seguindo esse princípio, as parcelas da área foram classificadas conforme sua suscetibilidade à erosão da seguinte forma: baixa suscetibilidade - baixa ocupação, suscetibilidade média - ocupação moderada e suscetibilidade alta - alta ocupação. A carta de ocupação do solo ilustra os diferentes níveis de ocupação, classificados como baixa, média ou alta. A Figura apresenta a representação digital da carta de ocupação do solo.

A distribuição percentual da área é a seguinte: 55% de alta ocupação, 15% de ocupação média e 30% de baixa ocupação.

Figura 14 – Carta de Ocupação do uso do solo (representação digital)



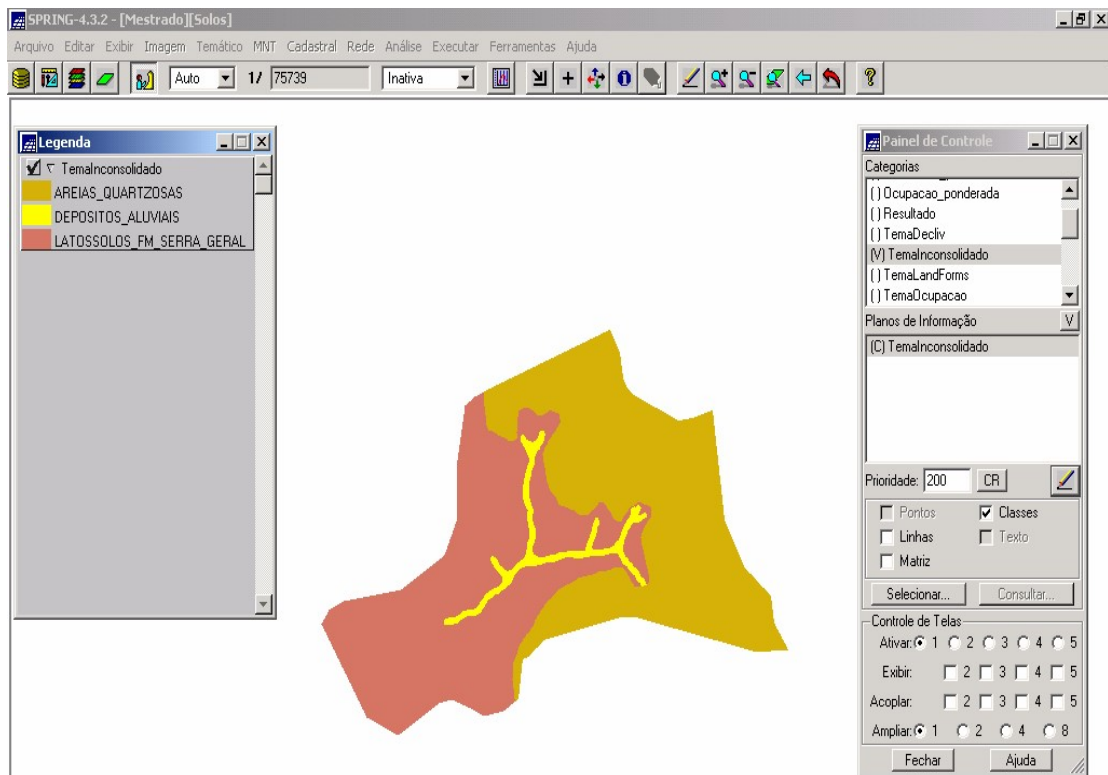
Fonte: Sena (2008)

Neste estudo, assim como em outros de natureza semelhante, os critérios essenciais para distinguir diferentes potenciais de suscetibilidade à erosão foram analisadas as características dos materiais em termos de textura e estrutura.

De acordo com os critérios estabelecidos, as áreas onde predominam os latossolos e os solos litólicos residuais de basalto foram consideradas de baixa suscetibilidade, enquanto as áreas com areias quartzosas profundas (residuais dos arenitos) e depósitos aluviais foram classificadas como de alta suscetibilidade à erosão.

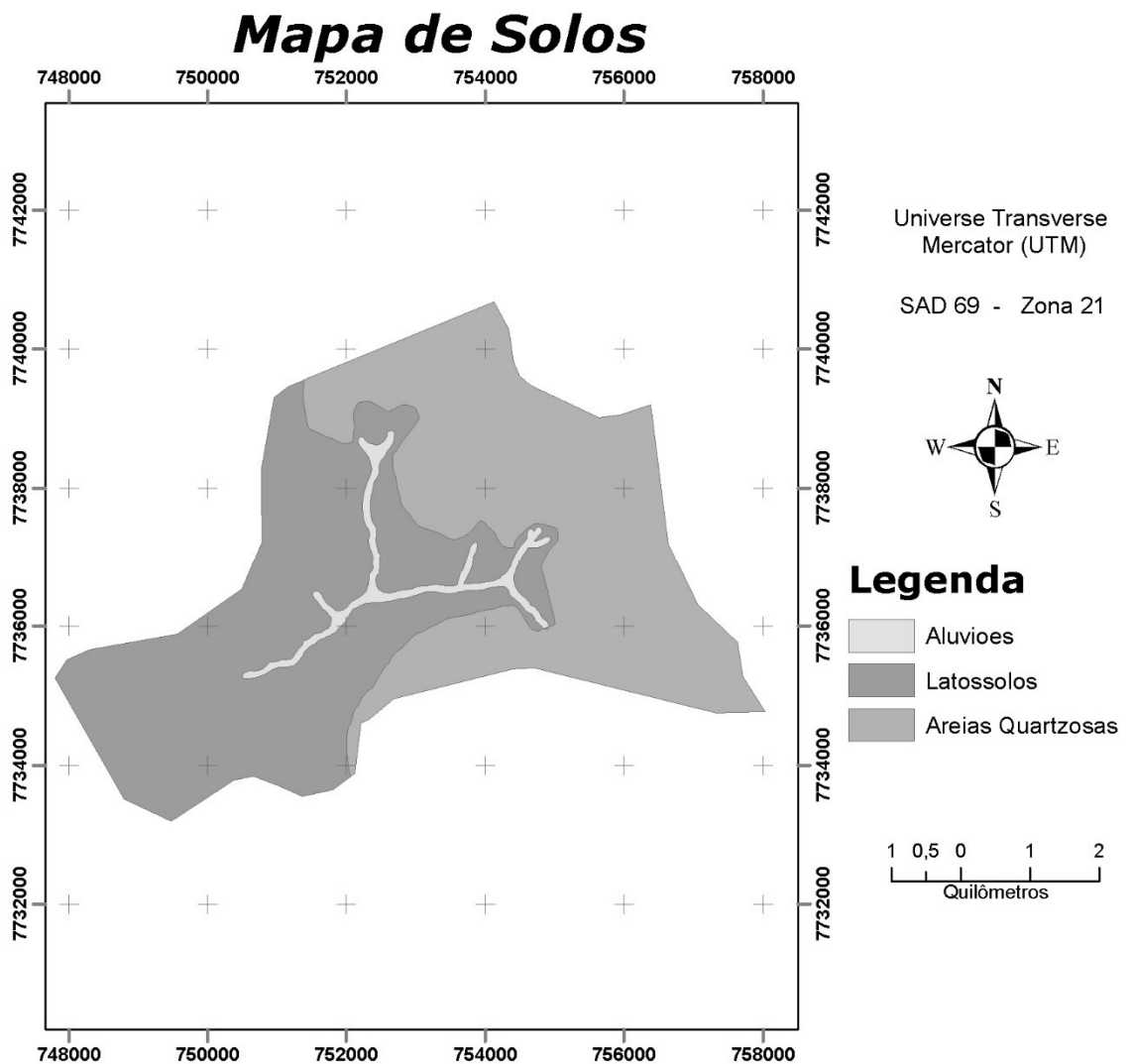
Conforme ilustrado na Figura 14, a representação digital da carta de solos representando os diferentes tipos de solos em cada região.

Figura 15 – Carta de solos da Bacia do Prosa (representação digital)



Fonte: Autor (2024)

Figura 16 – Carta de solos



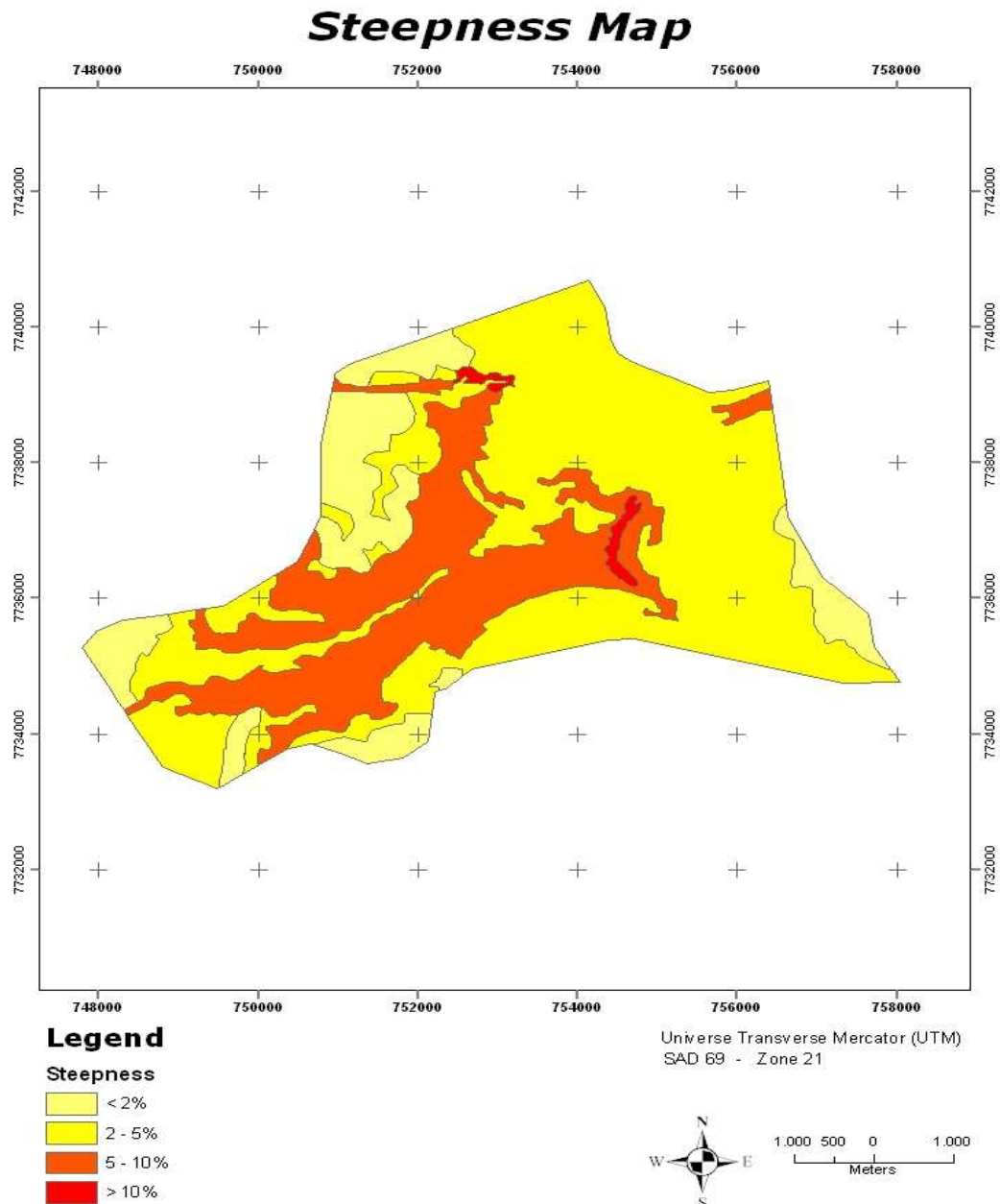
Fonte: Sena (2008)

A carta de declividade da bacia do Rio do Prosa apresenta as diversas inclinações encontradas na área avaliada. A influência da topografia do terreno na intensidade erosiva é verificada através da declividade e do comprimento da rampa (COELHO, 1999). A Figura 15 exhibe a representação digital da carta de declividade da bacia do Rio do Prosa.

Com base nas classes de declividades adotadas (2%, 2-5%, 5-10%, 10-20% e > 20%), na metodologia proposta por Zuquette (1987) e em outros estudos considerados na revisão bibliográfica sobre o tema, este atributo foi classificado de acordo com sua influência no processo erosivo: baixa suscetibilidade para

declividades inferiores a 5%, suscetibilidade média para declividades entre 5% e 10%, e alta suscetibilidade para declividades do terreno superiores a 10%.

Figura 17 – Carta de declividade (representação digital)

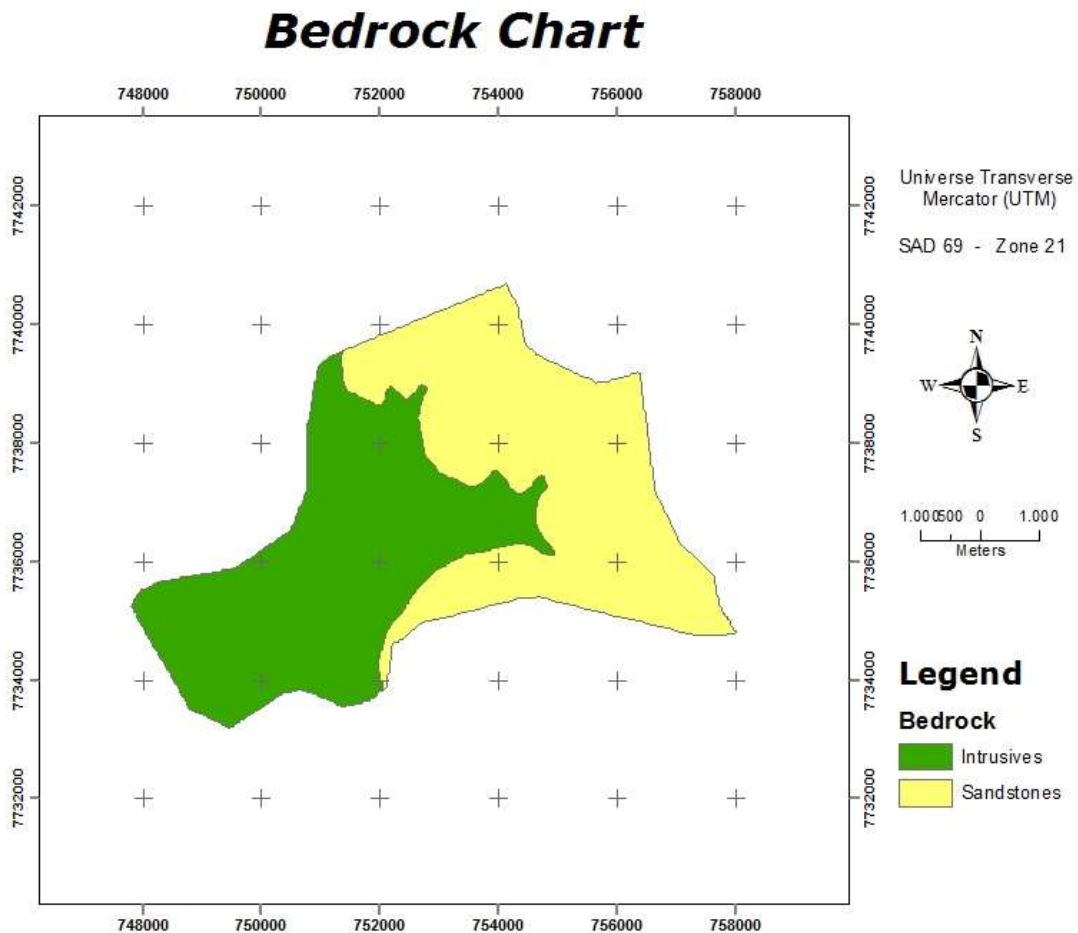


Fonte: Sena (2008)

A figura 18 exibe a representação digital da carta de substrato rochoso onde as áreas de ocorrência de substrato rochoso da Formação Serra Geral (basaltos) foram

consideradas áreas de baixa suscetibilidade enquanto as porções com substrato da Formação Caiuá (arenitos) foram consideradas áreas de alta suscetibilidade.

Figura 18 – Carta de Substrato rochoso (representação digital)

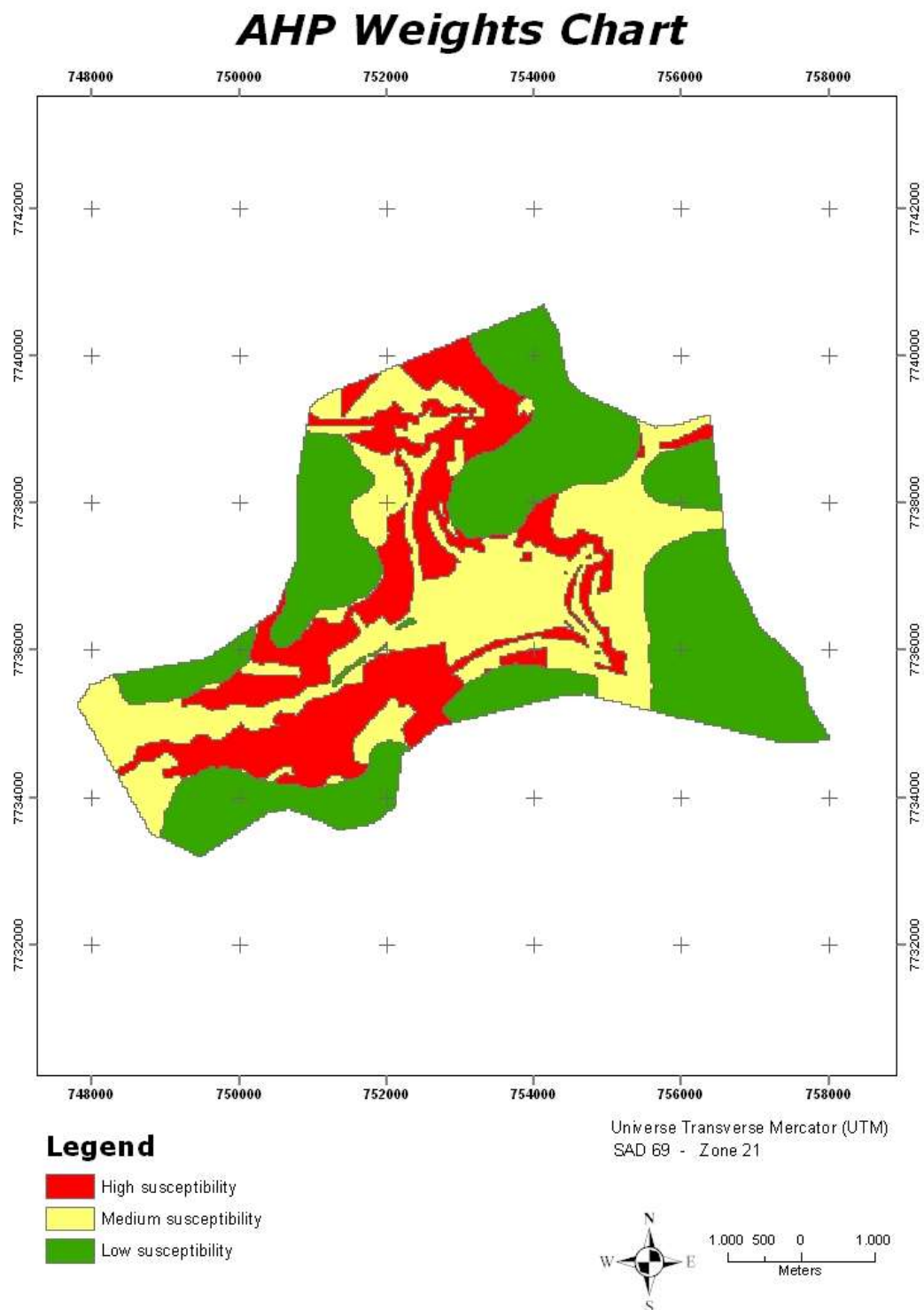


Conforme pode ser observado na Figura 19, as parcelas classificadas como alta suscetibilidade estão localizadas em áreas com maiores declividades e nos landforms caracterizados por porções de várzea e fundos de vales, encostas convexas e cabeceiras de drenagem.

Os pesos utilizados neste caso foram estabelecidos com base em uma matriz de preferências elaborada a partir do conhecimento dos atributos considerados e de sua variação na bacia.

Este resultado concluiu que os atributos landform e declividade desempenham um papel significativo no processo erosivo, especialmente no que se refere ao desenvolvimento de processos erosivos acelerados, como as voçorocas.

Figura 19 – Cartas de suscetibilidade a erosão segundo AHP (representação digital)



Fonte: Sena (2008)

A estrutura de dados no Spring foi composta por cinco categorias fundamentais: “Declividade”; “Solos”; “ocupação do solo”; “substrato rochoso” e “landforms”. As categorias (com modelo de dados temático) contém a representação espacial das áreas de influência das empresas estudadas, definidas segundo os critérios de abrangência espacial apresentados dos impactos. Apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Uso e ocupação da bacia do Prosa

Categoria	Modelo	Categoria Baixa	Categoria Media	Categoria Alta
Declividade	Temático	< 5%	5-10%	>10%
Solos	Temático	Areias quart		Depósitos aluviais
Ocup. solo	Temático	baixa ocupação	média ocupação	alta ocupação
Substrato	Temático	Basaltos		Arenitos
Landforms	Temático	topos das colinas	áreas de várzea e fundos de vale	cabeceiras de drenagem e encostas convexas.

Fonte: Sena (2008)

4.2 ELABORAÇÕES DO PROGRAMA

A criação de programas utilizando a linguagem LEGAL para Geoprocessamento Algébrico, que opera sobre o Banco de Dados Spring. LEGAL permite expressões algébricas em diversas categorias de dados espaciais, como mapas temáticos, numéricos, de imagem, cadastrais e objetos. As operações podem ser locais, focais ou zonais, proporcionando uma ampla gama de análises espaciais.

Operações locais caracterizam cada posição em uma área de trabalho em relação a valores em outras representações de dados na mesma área. Operações focais, embora não explicitamente definidas na linguagem, podem ser implementadas através de mecanismos de acesso a posições vizinhas. Operações zonais envolvem a avaliação de estatísticas sobre valores distribuídos em zonas definidas.

LEGAL é fortemente baseada no modelo de dados Spring, e seus operadores atuam em representações numéricas, de imagem, temáticas, cadastrais e de objeto. A coerência entre modelo de dados e operadores é mantida para garantir controle

semântico na definição de modelos espaciais, com feedback de erro durante a execução do programa para auxiliar o usuário.

Um programa em LEGAL é composto por uma sequência de operações organizadas gramaticalmente, envolvendo operadores, funções e dados espaciais categorizados de acordo com o modelo de dados Spring. Os dados podem ser representados em planos matriciais ou vetoriais, dependendo do tipo de informação.

Um programa em LEGAL é composto por uma série de comandos, cada um determinando uma ação específica a ser realizada pelo sistema. Essas ações podem ser classificadas em três tipos: declarações, instanciações e atribuições.

As declarações definem o nome de uma ou mais variáveis que serão utilizadas ao longo do programa, juntamente com a categoria de dados geográficos associada a esses nomes. Por exemplo, "Temático solos" define uma variável chamada "solos" que está associada à categoria de dados "pedologia".

As instanciações associam um nome de variável previamente declarado a um plano de informação presente no banco de dados, ou criam um novo plano de informação e o associam a uma variável. Isso é feito através dos comandos "Recupere" e "Novo", onde "Recupere" associa um plano de informação existente ao nome da variável, enquanto "Novo" cria um novo plano de informação no banco de dados e o associa ao nome da variável.

As atribuições consistem em associar o resultado de uma expressão, envolvendo operadores da linguagem e dados do banco de dados, a uma variável previamente declarada e instanciada. Por exemplo, "Solonumerico = 2.35 * Pondere(solos, pesos)" atribui à variável "Solonumerico" o resultado da expressão "2.35 * Pondere(solos, pesos)".

Para executar um programa em LEGAL na versão 4.3.2, é necessário ter o SPRING em execução, junto com um banco de dados e um projeto ativos.

4.3 OBTENÇÕES DOS PESOS PARA CADA TÉCNICA USADA

Para obtenção de pesos dos atributos, foi feito um questionário com especialistas da área e ponderado os resultados (Tabela 5), onde lhes foi enviado a mensagem:

“Caro especialista, a presente consulta tem por objetivo solicitar sua avaliação quanto à importância de componentes e atributos do meio físico e de uso e cobertura num processo de análise preliminar da suscetibilidade à erosão do solo.

Se trata de uma bacia hidrográfica com ocorrência de unidades geológicas sedimentares e magmáticas de idade mesozóica na Bacia do Paraná e de solos residuais das mesmas, em área de relevo de colinas, com declividades predominantemente inferiores à 10% e ocupação urbana e peri-urbana.

A aplicação pretendida envolve a análise de diferentes abordagens de Análise de Decisão Multicritério.

Considerando uma escala de 1 a 9, onde os valores são diretamente proporcionais à importância relativa do componente / atributo, favor definir os valores que considera adequados para os seguintes componentes ou atributos: declividade do terreno, landform, materiais inconsolidados, substrato rochoso, uso e cobertura:

Desde já agradeço sua boa vontade em colaborar.”

A partir disso, utilizado o excel disponibilizado, o qual faz os cálculos já explicado no tópico 4.2 exibido na Figura 18.

*Tabela 5 – Consulta grau de importância dos pesos utilizados no FUCOM
(continua)*

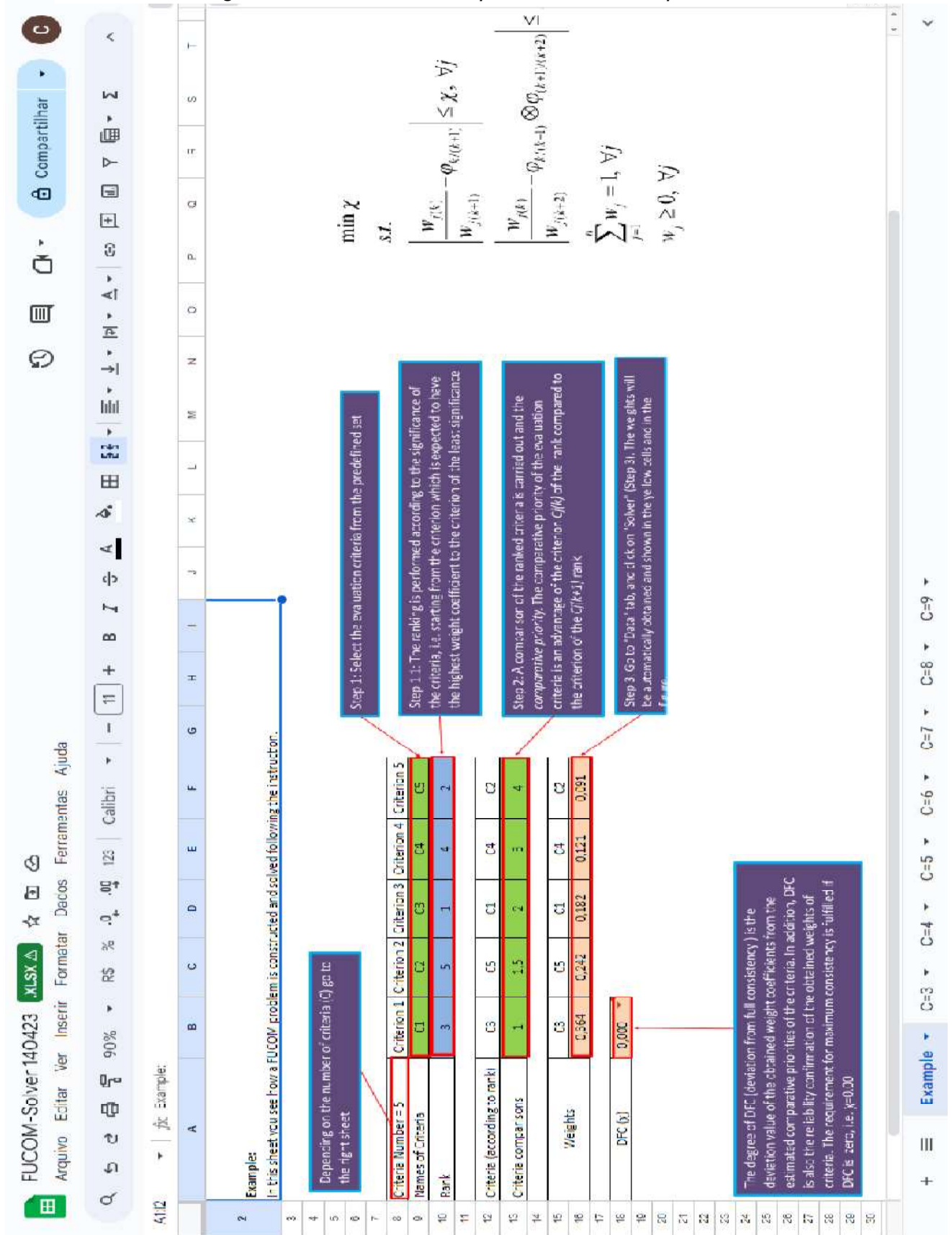
	landform	declividade	mat incon	substrato	uso
especialista 1	6	8	9	5	9
especialista 2	8	9	8	5	7
especialista 3	3	5	4	5	9
especialista 4	7	8	9	7	8
especialista 5	6	8	9	5	7
especialista 6	7	9	4	3	8
especialista 7	5	4	6	7	8
especialista 8	6	7	9	5	8
especialista 9	5	6	9	4	8
especialista 10	9	4	7	6	8
especialista 11	3	7	9	6	7
especialista 12	5	6	9	5	8
especialista 13	5	6	9	5	8

Tabela 6 – Consulta grau de importância dos pesos utilizados no FUCOM
(continuação)

Moda	5	8	9	5	8
Média	5,83	6,75	7,67	5,25	7,92
So...	6	7	8	5	9
Ponderada	0,175	0,202	0,229	0,157	0,237

Fonte: Autor (2024)

Figura 20 – Excel utilizado para encontrar os pesos do FUCOM



5 RESULTADOS

5.1 OBTENÇÃO DOS PESOS

Após a aplicação do excel, chegamos aos seguintes pesos apresentados na tabela 6

Tabela 7 – Pesos FUCOM

Atributo	Peso
Declividade	0,106
Solo	0,141
LandForms	0,424
Uso e ocupação	0,159
Substrato Rochoso	0,17

5.2 PROGRAMAS EM LEGAL

O algoritmo gerado para combinação de pesos considerada foi:

{

// ***** PONDERAÇÃO *****

// DEFININDO VARIÁVEIS E SUAS CATEGORIAS

Tematico Substrato ("TemaSubstrato"), decl ("TemaDecliv"), LandForms ("TemaLandForms"), Ocupacao ("TemaOcupacao"), Inconsolidado ("TemaInconsolidado");

Tabela pSubstrato (Ponderacao), pdecl (Ponderacao), pLandForms (Ponderacao), pOcupacao (Ponderacao), pInconsol (Ponderacao);

Numerico substratop ("solo_ponderada"), declp ("declividade_ponderada"), LandFormsp ("LandForms_ponderada"), Ocupacaop ("Ocupacao_ponderada"),

Inconsolidadop ("Inconsolidado_ponderada");

// DECLARAÇÃO DAS TABELAS

pSubtrato = Novo (Categorialni = "TemaSubtrato",
 "Basalto" : 1,
 "Arenito" : 3);

pdecl = Novo (Categorialni = "TemaDecliv",
 "Menor2" : 1,
 "De2a5" : 1,
 "De5a10" : 2,
 "Maior10" : 3);

pInconsol = Novo (Categorialni = "TemaInconsolidado",
 "LATOSSOLOS_FM_SERRA_GERAL" : 1,
 "DEPOSITOS_ALUVIAIS" : 3,
 "AREIAS_QUARTZOSAS" : 2);

pLandForms = Novo (Categorialni = "TemaLandForms",
 "TERRENO_TOPOS_DE_COLINAS" : 1,
 "TERRENO_VARZEAS_E_FUNDOS_DE_VALE" : 2,
 "TERRENO_CABECEIRAS_DE_DRENAGEM" : 3,
 "TERRENO_ENCOSTAS_CONVEXAS" : 3);

pOcupacao = Novo (Categorialni = "TemaOcupacao",
 "OCUPACAO_BAIXA" : 1,
 "OCUPACAO_MEDIA" : 2,
 "OCUPACAO_ALTA" : 3);

// RECUPERANDO PLANOS DE INFORMAÇÕES

Subtrato = Recupere (Nome = "TemaSubtrato");

decl = Recupere (Nome = "PITemasDecliv");

Inconsolidado = Recupere (Nome = "TemaInconsolidado");

```
LandForms = Recuperar (Nome = "TemaLandForms");
Ocupacao = Recuperar (Nome = "TemaOcupacao");
```

```
// CRIANDO NOVO PLANO DE INFORMAÇÕES
```

```
substratop = Novo (Nome = "classes_de_solos_ponderada", ResX = 5, ResY =
5, Escala = 1000, Min = 0.01, Max = 15);
```

```
declp = Novo(Nome = "classes_de_declividade_ponderada", ResX = 5, ResY
= 5, Escala = 1000, Min = 0.01, Max = 15);
```

```
LandFormsp = Novo(Nome = "classes_de_LandForms_ponderada", ResX = 5,
ResY = 5, Escala = 1000, Min = 0.01, Max = 15);
```

```
Ocupacaop = Novo(Nome = "classes_de_Ocupacao_ponderada", ResX = 5,
ResY = 5, Escala = 1000, Min = 0.01, Max = 15);
```

```
Inconsolidadop = Novo(Nome = "classes_de_Inconsol_ponderada", ResX = 5,
ResY = 5, Escala = 1000, Min = 0.01, Max = 15);
```

```
// DEFINIDO PONDERAÇÃO
```

```
substratop = Pondere (Substrato, pSubstrato);
```

```
declp = Pondere (decl, pdecl);
```

```
LandFormsp = Pondere (LandForms, pLandForms);
```

```
Ocupacaop = Pondere (Ocupacao, pOcupacao);
```

```
Inconsolidadop = Pondere (Inconsolidado, pInconsol);
```

```
// ***** CRIA PI RESULTANTE DOS PI PEDOLOGIA PONDERADA E
HIPSOMETRIA PONDERADA ****
```

```
// DEFININDO VARIÁVEIS E SUAS CATEGORIAS
```

```
Numerico somap ("analises_ponderada");
```

```
//CRIAÇÃO DE NOVO PI
```

```
somap = Novo (Nome = "resultados_ponderados", ResX = 5, ResY = 5, Escala
= 1000, Min = 0.01, Max = 40);
```

```
// OPERAÇÃO
```

$$\text{somap} = (\text{substratop} * 0.17) + (\text{declp} * 0.106) + (\text{LandFormsp} * 0.424) + (\text{Ocupacaop} * 0.159) + (\text{Inconsolidadop} * 0.0141);$$

// ***** FATIAMENTO *****

// DECLARAÇÃO

Tematico fat ("analises");

Tabela tabf (Fatiamento);

//CRIAÇÃO DE NOVO PI

fat = Novo (Nome = "suscetibilidade", ResX = 5, ResY = 5, Escala = 1000);

// DECLARAÇÃO DAS TABELAS

tabf = Novo (CategoriaFim = "analises",

[1.1, 1.66] : "suscetibilidade baixa",

[1.66, 2.33] : "suscetibilidade media",

[2.33, 4] : "suscetibilidade alta");

// OPERAÇÃO

fat = Fatie (somap, tabf);

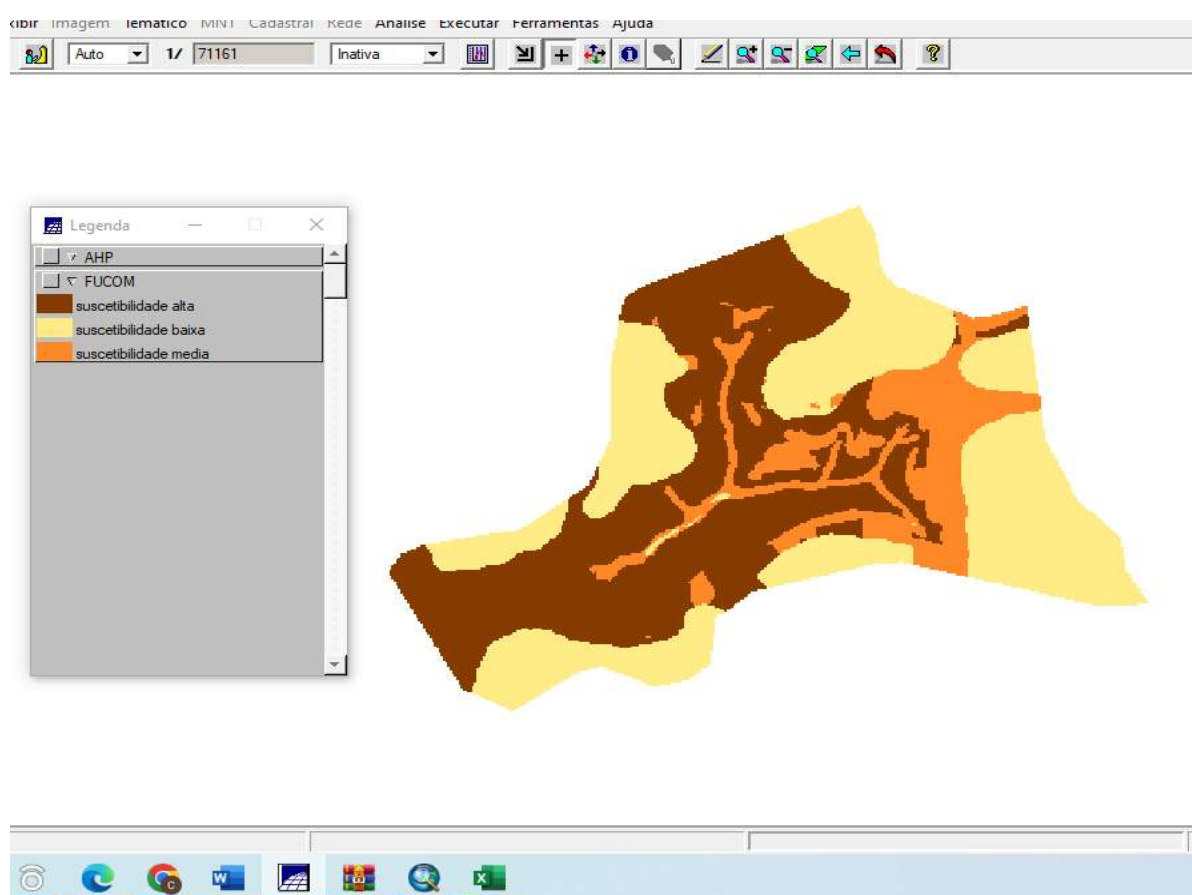
}

5.3 CARTAS DE SUSCETIBILIDADE A EROSÃO SEGUNDO FUCOM

A carta gerada, mostrada na Figura 19 possui as áreas definidas como de baixa suscetibilidade concentradas nas porções mais elevadas da Bacia do Prosa, onde o relevo apresenta formas menos íngremes, solos menos erodíveis, e com menores índices de ocupação, ou seja, áreas com menor potencial de desenvolvimento de processos erosivos. É importante destacar que as áreas com média suscetibilidade reúnem combinações de atributos (especialmente declividade, landform e solos) que resultariam em suscetibilidade média à erosão qualquer que fosse a técnica utilizada, como mostra a literatura.

A área de alta suscetibilidade do FUCOM combina atributo de maior índices de uso e ocupação do solo com índices de média suscetibilidade de Landforms, o que corrobora com o método tendo em vista que são os atributos com os maiores pesos.

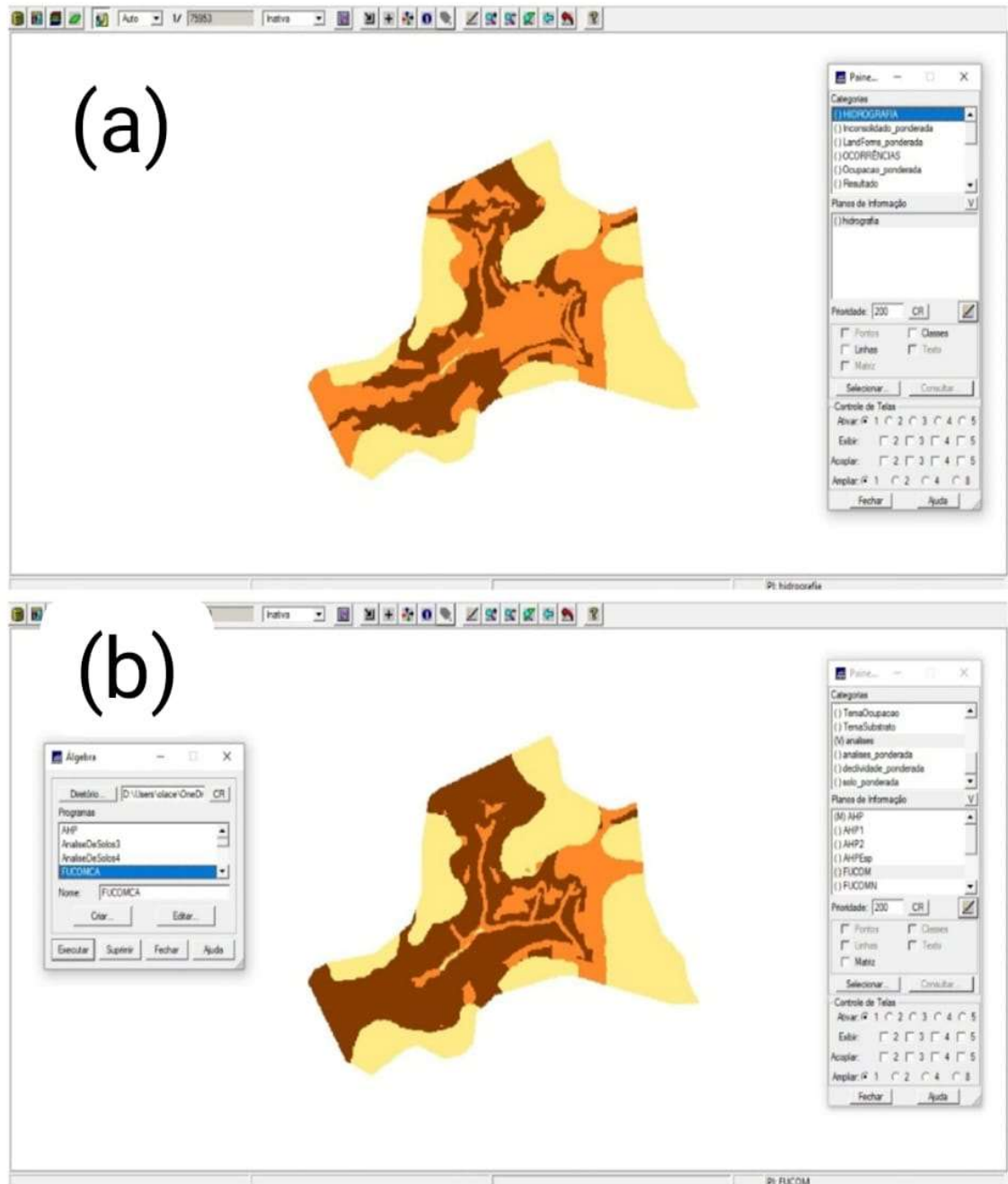
Figura 21 – Representação digital da suscetibilidade á erosão segundo FUCOM



Fonte: Autor (2024)

A Figura 22 compara as cartas de suscetibilidade usando o método AHP, (em cima) e o método FUCOM (embaixo). É notório que o mapa do FUCOM possui mais áreas com grau de suscetibilidade alta, tais áreas, em sua maioria, eram considerada de média suscetibilidade no método FUCOM, o que é comprovado na tabela 7.

Figura 22 – Comparação das representações digitais da suscetibilidade á erosão segundo os métodos AHP (a) e FUCOM (b)



Fonte: Autor (2024)

Tabela 8 – Áreas de suscetibilidade segundo os métodos

Métodos Estudados	Área de Suscetibilidade		
	Baixa suscetibilidade	Média Suscetibilidade	Alta Suscetibilidade
Pesos "AHP"	36%	34%	30%
Pesos "FUCOM"	42,6%	15,6%	41,8%

Fonte: Autor (2024)

Observa-se que o mapa de suscetibilidade á erosões pelo AHP possui áreas de baixa, média e alta suscetibilidade com porcentagens próximas, diferente do que encontramos no mapa gerado pelo método FUCOM, o qual tem pouca área de média suscetibilidade.

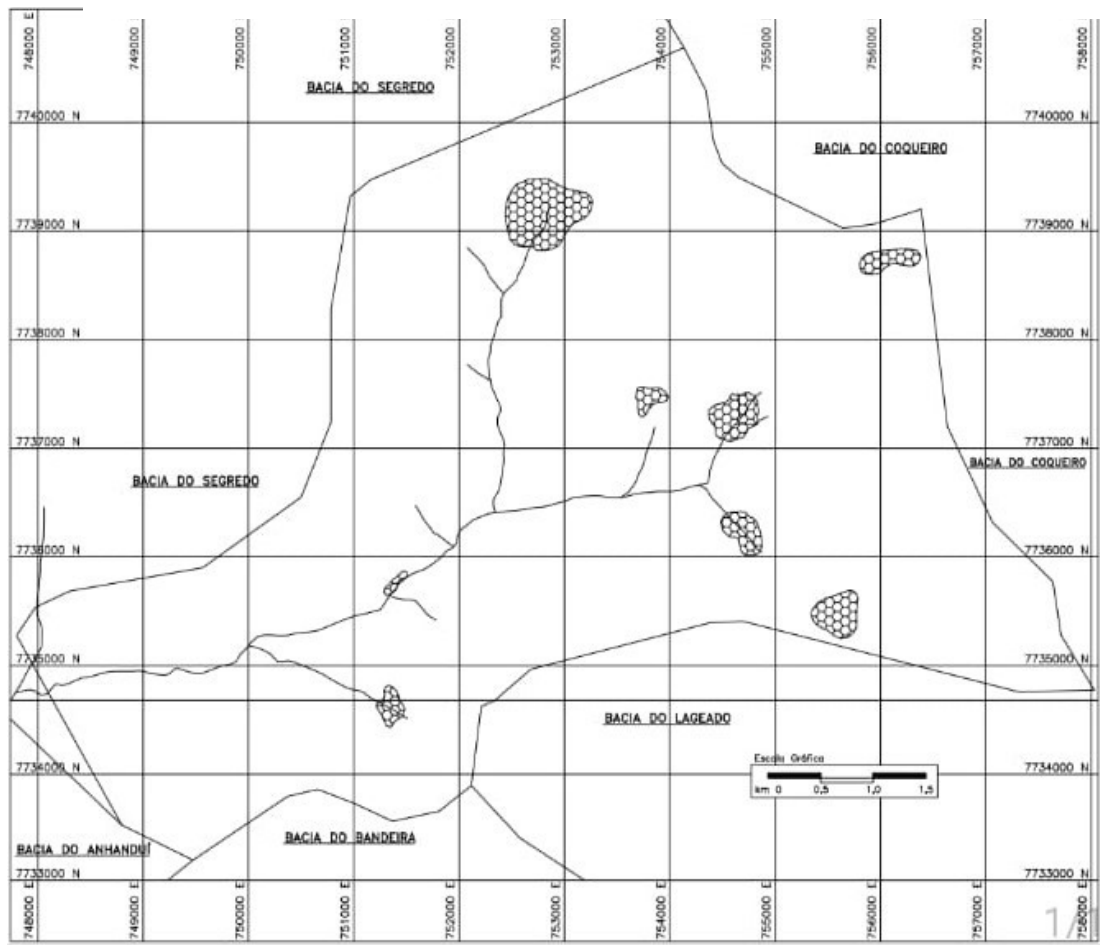
Ambos os mapas possuem as áreas definidas como de baixa suscetibilidade concentradas nas porções mais elevadas da Bacia do Prosa, onde o relevo apresenta formas menos íngremes, solos menos erodíveis, e com menores índices de ocupação, ou seja, áreas com menor potencial de desenvolvimento de processos erosivos. Também é importante destacar que as áreas com média suscetibilidade reúnem combinações de atributos (especialmente declividade, landform e solos) que resultariam em suscetibilidade média à erosão qualquer que fosse a técnica utilizada, como mostra a literatura.

A área de alta suscetibilidado do FUCOM combina atributo de maior índices de uso e ocupação do solo com índices de média suscetibilidade de Landforms, o que corrobora com o método tendo em vista que são os atributos com maiores pesos

5.4 MAPA DE OCORRÊNCIAS DA BACIA DO PROSA NO ANO DE 2008

Apesar deste trabalho ter sido feito em 2024, foram usados as cartas geradas em 2001, como não há disponível o mapa de ocorrências de erosões do ano em que as cartas foram geradas, usaremos o mapa de ocorrências mais próximo da época, que é o de 2008, mostrado na Figura 20, para analisar qual método melhor condiz com a realidade.

Figura 23 – Ocorrências



Fonte: Sena (2008)

Por fim, o mapa de ocorrências foi utilizado para calcular a densidade de erosão por grau de suscetibilidade e concluir se o método utilizado representa a verdadeira situação da bacia. A tabela 8 contempla as densidades das erosões por grau de suscetibilidade referente ao mapa de suscetibilidade a erosões segundo FUCOM, tal tabela gerou o Gráfico 1 onde é possível visualizar a linha de tendência. similarmente, a tabela 9 contempla as densidades das erosões por grau de suscetibilidade referente ao mapa de suscetibilidade a erosões segundo AHP, e o Gráfico 2, a linha de tendência referente ao mapa de suscetibilidade a erosões segundo AHP.

Tabela 9 – Densidade de erosão por grau de suscetibilidade (FUCOM)

Grau de suscetibilidade	FUCOM	Erosões	Densidade
Baixa	15,61384	1,5	0,10
Média	5,717743	3	0,52
Alta	15,32062	3,5	0,23

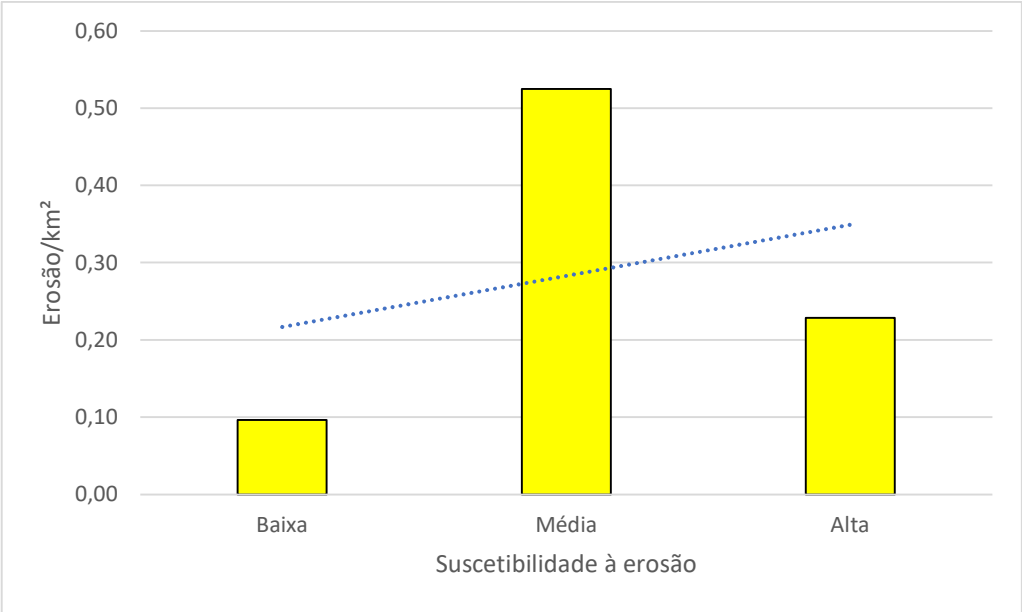
Fonte: Autor (2024)

Tabela 10 – Densidade de erosão por grau de suscetibilidade (AHP)

Grau de suscetibilidade	AHP	Erosões	Densidade
Baixa	13,19479	1,5	0,11
Média	12,46175	3,5	0,28
Alta	10,99566	3	0,27

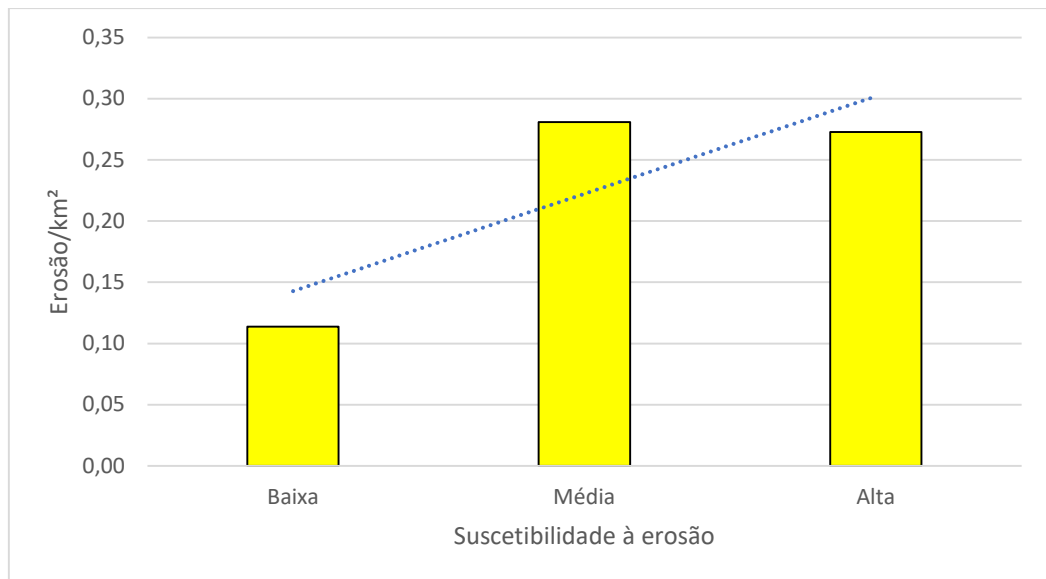
Fonte: Autor (2024)

Gráfico 1 – Densidade de erosão para cada grau de suscetibilidade (FUCOM)



Fonte: Autor (2024)

Gráfico 2 – Densidade de erosão para cada grau de suscetibilidade (AHP)



Fonte: Autor (2024)

Comparando os gráficos, a linha de tendência do gráfico 2 tem uma inclinação mais próxima dos 45 graus, isso ocorre devido as erosões por km² nas áreas consideradas de alta suscetibilidade à erosões serem maiores no gráfico 2.

6 ANÁLISES

A Bacia do Prosa reúne condições naturais que favorecem o desenvolvimento de processos erosivos em seu interior, o que foi confirmado em ambas as cartas de suscetibilidade á erosões analisadas neste trabalho. O avanço da ocupação do solo na bacia tende a potencializar tais processos, e ao observar a carta de ocupação do Solo feito pelo Sena em 2008 (Figura 13) com o mapa de uso e ocupação da bacia do Prosa (Figura 10), feito em 2024, vemos que o processo de urbanização intensificou.

O uso da AHP mostrou-se mais eficiente para o tratamento das erosões, enquanto o uso do FUCOM é mais eficiente para zoneamento de suscetibilidade a erosão mais propício para planejamento de uso e ocupação do solo porque além de valorizar as condições naturais da bacia, utiliza o atributo de “uso e ocupação do solo” como o segundo mais importante. Isso é comprovado pelos gráficos, onde a linha de tendência quando utilizado o método AHP apresenta uma angulação maior, devido o maior número de erosões por KM² em áreas de alta suscetibilidade em comparação ao Gráfico 1.

O uso do framework SPRING para desenvolvimento de projetos na área de análise e prevenção de processos erosivos oferece diversas vantagens. O SPRING é um sistema estabelecido e suportado por uma comunidade ativa, além de disponibilizar tutoriais em língua portuguesa, o que facilita sua adoção por profissionais de diferentes níveis de habilidade. Sua gratuidade também o torna acessível para órgãos públicos, permitindo a realocação de recursos financeiros para outras áreas do projeto. Quanto às técnicas de análise, o FUCOM é eficaz na prevenção do processo erosivo, enquanto a AHP é útil para a alocação eficiente de recursos em situações emergenciais, como obras preventivas. Ambas as técnicas, quando combinadas com o SPRING, oferecem uma abordagem abrangente e eficaz para o estudo e prevenção de processos erosivos, especialmente em projetos públicos que visam a preservação do meio ambiente e da infraestrutura.

REFERÊNCIAS

- BASTOS, C. A. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999. 302 f. Tese. (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação dos solos**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1999.
- BLOOM, A. **Superfície da Terra**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1970. 184 p.
- BORRELLI, P.; WUEPPER, D.; FINGER, R. Countries and the global rate of soil erosion. **Nature Sustainability**, London, v. 3, n. 1, p. 51–55, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0438-4>. Acesso em: 29 de fev. de 2024.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SE.21 Corumba e parte da folha SE.20: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1982. 448 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 27).
- BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford: Oxford University Press, 2015.
- CAMPO GRANDE; INSTITUTO MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO E DE MEIO AMBIENTE. **Relatório de monitoramento hidrogeológico: projeto urbanístico Lagoa Itatiaia**. Campo Grande, 2008. Técnico responsável: Rosemeire Luckmann.
- CAMPO GRANDE. PREFEITURA MUNICIPAL; INSTITUTO MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO E DE MEIO AMBIENTE - PLANURB. **Carta de drenagem de Campo Grande - MS**. Campo Grande: [S. l.], 1997. Disponível em: <https://prefcg-repositorio.campogrande.ms.gov.br/wp-cdn/uploads/sites/18/2017/01/TextoCartadeDrenagem.pdf>. Acesso em: 11 de maio de 2023.
- CAMPO GRANDE. PREFEITURA MUNICIPAL. **Córrego Limpo: rede hidrográfica de Campo Grande**. Campo Grande, 2023. Disponível em: http://www.pmcg.ms.gov.br/semadur/canaisTexto?id_can=6385. Acesso em: 11 de maio de 2023.
- CARSON, M. A.; KIRKBY, M. J. **Hillslope Form and Process**. Cambridge: Cambridge University Press, 1975. 475 p.
- COELHO, T. A. F. **Diagnóstico geo-ambiental da cidade de Lins – SP**. Rio Claro, 1999. 182 p. Tese (Doutorado em Geociência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- COORDINATION OF INFORMATION ON THE ENVIRONMENT - CORINE. **CORINE land cover: technical guide**. Bruxelas: European Communities, 1992. 106 p.

- COUTO, B. O. C. **Análise de erodibilidade em taludes com horizontes resistentes e suscetíveis aos processos erosivos**. 2015. 125 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia do Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- SMITH, M. J.; GOODCHILD, M. F.; LONGLEY, P. A. **Geospatial analysis: a comprehensive guide**. Market Harborough: Troubador Publishing Ltd, 2018.
- FIORI, O. C.; SOARES, P. C. Aspectos evolutivos das voçorocas. **Notícia Geomorfológica**, [s. l.], v. 16, n. 32, p. 114-124, 1976.
- FOURNIER, F. **Climat et érosion**. Paris: Press Universitaires de France, 1960. 199 p.
- FRANCISCO, A. B. A erosão de solos no extremo oeste paulista e seus impactos no campo e na cidade. **Revista GEOMAE**, Campo Mourão, v. 2, n. 2, p. 57-68, 2011.
- FRENZEL, A. Medidas preventivas contra os processos erosivos. *In*: SIMPÓSIO SOBRE O CONTROLE DE EROÇÃO, 1980, Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE, 1980. p. 201-213.
- GALETI, P. A. **Práticas de controle à erosão**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1984. 278 p.
- GONÇALVES, W. **Integração de técnicas de análise multivariada e método multicritério para localização de centros de distribuição**. 2016. Tese (Doutorado) – Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara D'Oeste, 2016. Disponível em: https://iepapp.unimep.br/biblioteca_digital/pdfs/docs/18112016_160918_wellingtongoncalves_ok.pdf. Acesso em: 29 de fev. de 2024.
- GOUVEIA, I. C. M. C.; ROSS, J. L. S. Fragilidade ambiental: uma proposta de aplicação de geomorphons para a variável relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 37, p. 123-136, 2019.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. *In*: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, B. S. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p. 149-210.
- HEYWOOD, I.; CORNELIUS, S.; CARVER, S. **An introduction to geographical information systems**. Harlow: Pearson Education Limited, 2012.

HUDSON, N. **Soil Conservation**. New York: Cornell University Press, 1977. 320 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Senso de Crescimento Populacional, 1997.

INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. **Geologia da Engenharia**. São Paulo: Editora. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

LAL, R. **Soil Erosion in the Tropics**: principles and management. New York: McGraw-Hill, 1990. 580 p.

LIMA, M. C. **Contribuição ao estudo do processo evolutivo de voçorocas na área urbana de Manaus**. 1999. 150 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 1999

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 51, p. 189–196, 1992. DOI: 10.1590/S0006-87051992000200008.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Geographic Information Science & Systems**. Hoboken: Wiley, 2015.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation**. Australia: Blackwell, 2005. 304 p.

MORTARI, D. **Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no Distrito Federal**. 1994. 200 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 1994.

NACHTERGAELE, J.; POESEN, J.; OOSTWOUD WIJDENES, D.; VANDEKERCKHOVE, L. Medium-term evolution of a gully developed in a loess-derived soil. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 46, p. 223-239, 2002. DOI: 10.1016/S0169-555X(02)00075-2.

NIMER, E.; BRANDÃO, A. M. P. M. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, [s. l.], v. 19, p. 196-199, 1979.

O'SULLIVAN, D.; UNWIN, D. J. **Geographic Information Analysis**. New York: John Wiley & Sons, 2014.

PEREIRA, G. S.; GOUVEIA, I. C. M. C. Suscetibilidade à erosão linear no município de Álvares Machado-SP. **RevistaGeoUECE (Online)**, Fortaleza, v. 8, n. 15, p. 111-123, jul./dez. de 2019. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/2170>. Acesso em: 29 de fev. de 2024.

PEJON, O. J. **Mapeamento geotécnico regional da folha de Piracicaba – SP (Escala 1:100.000)**: estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos. 1992. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ROSS, J. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para o planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 208 p.

SALOMÃO, F. X. T.; IWASA, O. Y. Erosão e a ocupação rural e urbana. In: BITAR, O. Y. (Coord.). **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: ABGE/IPT, 1995. p. 5-148.

SANTORO, J. **Fenômenos erosivos acelerados na região de São Pedro-SP: Estudo da fenomenologia, com ênfase geotécnica**. 1991. Dissertação (Mestrado em Geociências e Análise Ambiental) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

SANTORO, J. Erosão Continental. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.). **Desastres Naturais**: conhecer para prevenir. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2015. 196 p.

SENA, J. **O uso de sistema de informação geográfica na avaliação de diferentes alternativas de geração de cartas de suscetibilidade à erosão**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

SILVA, T. **Caracterização e monitoramento de voçoroca associada a técnicas de controle através do método de estacaamento**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, Buri – SP, 2021.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente. Diretoria Técnica, 1977. p. 97.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 285-291, 1958. doi: 10.1029/TR039i002p00285.

WUEPPER, D.; BORRELLI, P.; FINGER, R. Countries and the global rate of soil erosion. **Nature Sustainability**, London, v. 3, n. 1, p. 51–55, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0438-4>.

YIN, S.; NEARING, M. A.; BORRELLI, P.; XUE, X. Rainfall erosivity: An overview of methodologies and applications. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 16, n. 12, 2017.

ZATTA, F. N.; MATTOS, A. L.; OLIVEIRA, R. R.; FREITAS, R. R.; GONÇALVES, W. Aplicação do Analytic Hierarchy Process na escolha de planos de saúde. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 8, n. 1, p. e1881532, 2019. <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i1.532>.