

# Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno

*Evaluation of vulnerability to loss of soil in watershed of Salobra river, MS, based on the forms of terrain*

João Cândido André da Silva Neto<sup>1</sup>

**RESUMO:** A vulnerabilidade da paisagem à perda de solos é entendida como as rupturas desencadeadas pela atuação da sociedade na natureza, caracterizando-se assim, uma nova organização dos fenômenos e dinâmicas nas formas espaciais que se materializam na paisagem. O objetivo deste artigo é definir a vulnerabilidade das formas do terreno à perda de solos, avaliando-se as características morfológicas das curvaturas vertical e horizontal das vertentes e, das formas do terreno. Assim, a partir da análise das vertentes estabeleceu-se uma relação direta com os processos erosivos, no qual se utilizou dados geomorfométricos, derivados de processamentos efetuados em imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) do Projeto TOPODATA - INPE, como curvatura horizontal, curvatura vertical e formas do terreno. Portanto, para definição das classes de vulnerabilidade da paisagem à perda de solos, avaliou-se que os fluxos de água concentram-se e aumentam encosta abaixo, ou seja, às partes inferiores das encostas, considerando, os segmentos côncavos, com maior capacidade de transporte de sedimentos. Assim, o processamento dos dados SRTM-TOPODATA, que resultaram nos mapas temáticos, efetivou-se com a utilização o Sistema de Informações Geográficas (SIG) implementados no *software* SPRING. Os resultados das Formas do Terreno, apesar de serem atributos qualitativos foram passíveis de ponderação, considerando-se que as dinâmicas e intensidades dos processos erosivos estão diretamente ligadas às Formas do Terreno e aos formatos das vertentes, tanto na análise do formato do seu perfil, côncavo, retilíneo e convexo, quanto na análise do direcionamento dos fluxos de escoamento da água, convergente, planar e divergente. Nesse sentido, considerou-se possível atribuir a partir das formas das vertentes e do terreno uma ponderação coerente, que possa ser utilizada como uma variável na análise da vulnerabilidade da paisagem à perda de solos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Curvatura vertical. Curvatura horizontal. Formas do terreno. Processos erosivos.

**ABSTRACT:** *The vulnerability landscape of loss of soil is understood as triggered ruptures by the actions of society in nature, characterizing thus a new organization of phenomena and dynamics in spatial forms that materialize in the landscape. The objective of this article is define the vulnerability of forms of terrain loss of soil, to evaluate the morphological characteristics of vertical and horizontal curvatures of the slopes and forms of terrain. Thus, from the analysis of the slopes established a relationship direct with erosive processes. We used geomorphometric data derived from processing images made in SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) Project TOPODATA - INPE, as plan curvature, profile curvature and form of the terrain. Therefore, to define the classes of vulnerability landscape loss of soil, was evaluated that the water flows concentrate and increase the downslope, which was attributed to the lower parts of slopes, or the segments concave, the largest capacity sediment transport. The processing of the data SRTM-TOPODATA, resulting in thematic maps was realized using the Geographic Information System (GIS) SPRING. The results of Forms Terrain though they are qualitative attributes where likely weighing, considering that the dynamics and intensity of erosive processes are directly linked to the terrain forms and slopes of format, so much in analysis of shape format, concave, straight and convex, and in the analysis of the direction of flow of water runoff, convergent and divergent planar. Accordingly, it is considered possible to attribute from the forms of slope and of terrain a coherent a weighting, which can be used as a variable in the analysis of the vulnerability of the landscape to the loss of soil.*

**KEYWORDS:** *Profile curvature. Plan curvature. Terrain forms. Erosive processes.*

---

<sup>1</sup> Bacharel em Geografia. Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Doutorando em Geografia pela Universidade Estadual Paulista, Campus Presidente Prudente, Bolsista CNPq.

## INTRODUÇÃO

A vulnerabilidade da paisagem à perdas de solos é considerada a metodologia proposta por Crepani (2008) que tem como principal aporte teórico a obra Ecodinâmica elaborada pelo geógrafo francês Jean Tricart (1977). Essa proposta caracteriza-se por estabelecer uma inter-relação entre os elementos da paisagem, propondo uma superposição dos elementos da paisagem, no qual para cada elemento é estabelecida uma ponderação conforme a vulnerabilidade apresentada pela paisagem à perda de solos.

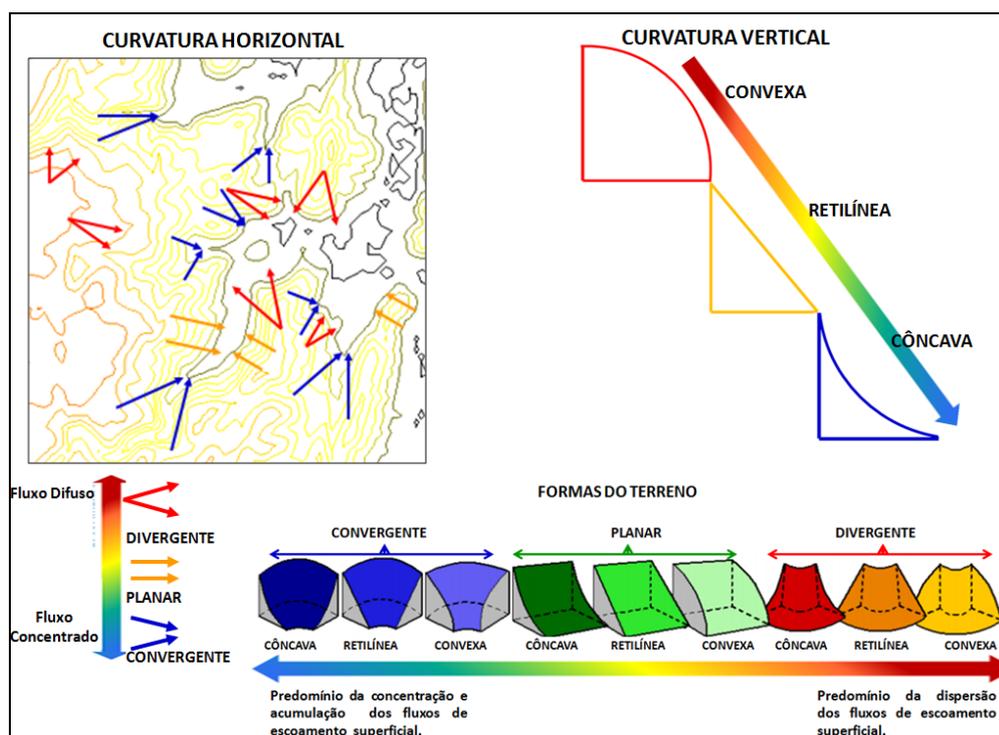
Estes elementos da paisagem são definidos como variáveis, que são analisadas abordam os principais elementos que influenciam no desencadeamento dos processos erosivos como: tipos de solos, tipos de rochas, uso do solo, cobertura vegetal, intensidade pluviométrica e morfologia do relevo.

Nesse sentido, as vertentes representam a categoria de forma que se constitui no objeto primordial da geomorfologia, pois são componentes básicos de qualquer paisagem (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Para Bloom (1970) uma paisagem é normalmente composta de pequenos elementos de encosta, cada um deles reagindo de modo particular ao efeito local do intemperismo, escorregamento e erosão.

A análise da vertente justifica-se por entendê-la como elemento dominante do relevo e categoria central na sua dinâmica processual (CASSETI, 1995). O autor destaca ainda que nas vertentes se materializam as relações de apropriação da natureza pelo homem.

Desse modo, utilizou-se dados geomorfométricos, derivados de processamentos efetuados em imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) do Projeto TOPODATA - INPE (VALERIANO, 2008a), como curvatura horizontal, curvatura vertical e formas do terreno (Figura 1).

**Figura 1** – Variáveis geomorfométricas locais, derivadas da altimetria

Fonte: Adaptado de Valeriano (2008a).

Assim, o objetivo deste trabalho é definir a vulnerabilidade das Formas do Terreno à perda de solos, na bacia do rio Salobra, Mato Grosso do Sul, avaliando-se as características morfológicas das curvaturas vertical e horizontal das vertentes e, das formas do terreno. Assim, a partir da análise das vertentes, se estabelecer uma relação direta com os processos erosivos.

O projeto TOPODATA caracteriza-se por disponibilizar variáveis geomorfométricas locais de todo o território nacional. Essas variáveis correspondem aos elementos básicos sobre os quais se fundamentam as técnicas de interpretação e análise do relevo (VALERIANO, 2008a).

Além de fornecer dados geomorfométricos de todo Brasil, o Projeto TOPODATA, aumenta a resolução espacial dos dados SRTM, de 90 m para 30 m pixel, utilizando métodos de interpolação por Krigagem.

## ANÁLISE DE VERTENTE E PROCESSOS MORFOGENÉTICOS

Considerou-se que a geometria das vertentes atua direta e indiretamente no escoamento superficial e nos desenvolvimentos dos processos erosivos, apresentando uma relação importante das implicações do balanço de materiais e natureza dos processos

morfogenéticos e pedogenéticos (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2009).

Casseti (1995) salientou a importância da geometria das vertentes, considerando que além do fator declividade, as formas geométricas das vertentes devem ser abordadas como intensificadores dos processos morfogenéticos ou diferenciadores da intensidade de fluxo por terra.

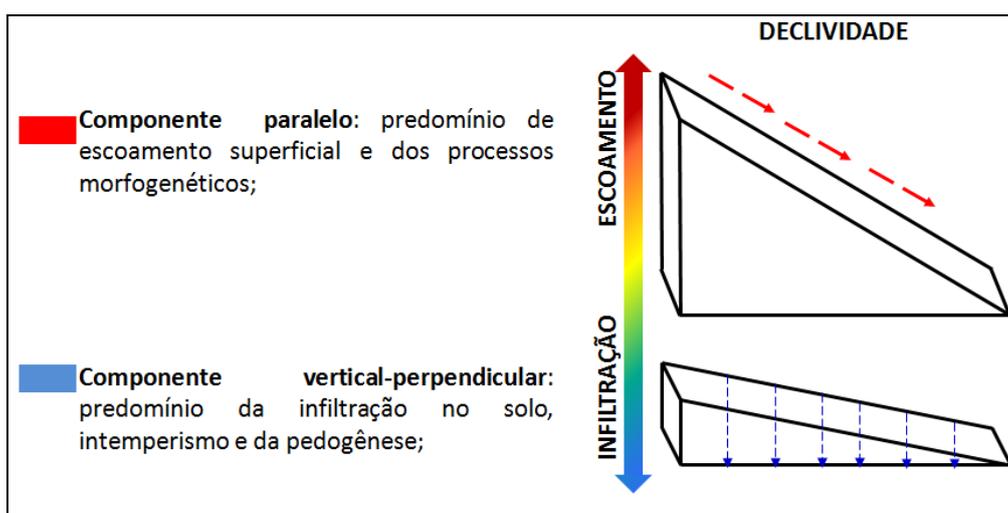
Nessa perspectiva, se estabelece uma relação entre geometria de vertente e os processos de pedogênese e morfogênese, apontando para o conceito de balanço morfogenético, que pode ser entendido como a relação da vertente em propiciar o desenvolvimento dos solos (componente vertical ou perpendicular - pedogênese) ou desenvolvimento dos processos erosivos (componente paralelo - morfogênese) (Figura 2).

O balanço morfogenético apresenta ainda uma relação estreita com a geometria das vertentes por estar intrinsecamente ligada à dinâmica de fluxo do escoamento superficial e infiltração de água no solo.

O intemperismo e a pedogênese correspondem aos componentes verticais - perpendiculares, a ação combinada desses componentes tem o efeito de aumentar a espessura do regolito e dos solos (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Os processos morfogenéticos correspondem aos componentes paralelos, tais processos se caracterizam pela remoção de detritos das vertentes, resultando na perda de solos e esculturação do relevo.

**Figura 2** - Exemplo de declividade da vertente e processos morfogenético e pedogenético.



Fonte: Do autor.

Casseti (1995) observou que tem-se um balanço morfogenético positivo, com a retirada do material intemperizado, que implica a redução gradativa da camada pedogenizada, e conseqüentemente a intensificação dos processos erosivos.

Portanto, assume-se a postura conforme Guerra (1994) considerando que os fluxos de água concentram-se e aumentam, encosta abaixo, favorecendo o cisalhamento das partículas do solo, e finalmente a erosão, que se intensifica a partir da distância crítica do topo da vertente.

Nesse sentido, Bloom (1970) na porção convexa do perfil da vertente verifica-se predominantemente o rastejamento, e nos trechos inferiores, côncavos, predomina o transporte pela água, caracterizado pelo escoamento por filetes.

Na mesma perspectiva Silva et al. (2007) consideraram que na dinâmica das encostas, é destacado que as formas geométricas côncavas são zonas preferenciais para ocorrência de processos erosivos, em razão da convergência dos fluxos d'água, acelerando a ruptura entre materiais de diferentes características.

Observa-se que o início do escoamento superficial caracteriza-se de forma difusa, em perfil convexo da vertente, em seguida os fluxos adquire uma tipologia constituída de pequenos filetes, em perfil retilíneo, e na porção da vertente de perfil côncavo os filetes aumentam capacitando o fluxo a transportar partículas maiores do que as removidas pelo escoamento inicial difuso (BIGARELLA, 2003) (Figura 3).

Bigarella (2003, p. 923) considerou que:

[...] a força erosiva do escoamento aumenta com a distância vertente abaixo e com a sua declividade. Numa vertente com perfil convexo -côncavo, a energia do fluxo aproxima-se do máximo na parte mais íngreme, geralmente na porção central do perfil. A maior parte da ação erosiva ocorre abaixo de zona, onde se inicia o fluxo em canais e onde se forma as ravinas.

Bloom (1970) também atribui às partes inferiores das encostas, ou seja, aos segmentos côncavos, a maior capacidade de transporte de sedimentos:

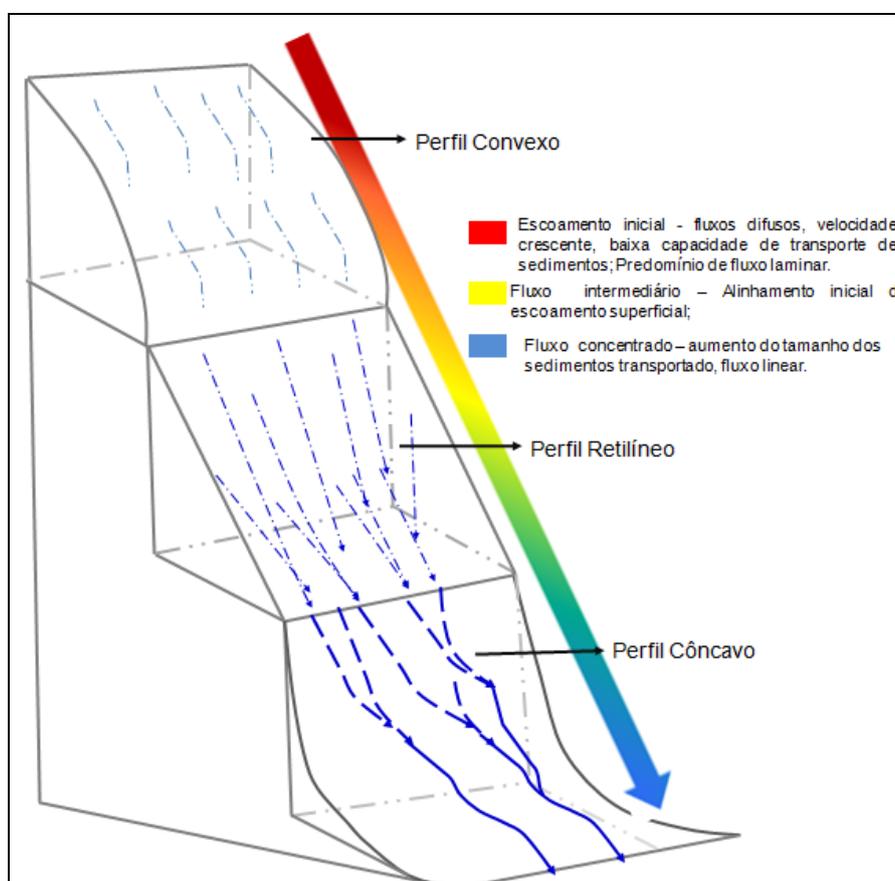
Quando dois filetes de água se unem, o pequeno curso de água resultante adquire massa proporcionalmente maior do que o aumento da superfície umedecida. O atrito é reduzido em proporção à descarga, e o pequeno curso de água pode transportar as cargas combinadas dos dois filetes sem perda de velocidade, mas em declive mais suave. (BLOOM, 1970, p. 68).

Bigarella (2003) considerou ainda que a saturação dos solos pela água é um fator fundamental nos processos erosivos, pois a partir da saturação solos, há o predomínio do escoamento superficial concentrado. O fluxo concentrado favorece a dissecação do terreno de maneira vertical e aos processos morfogenéticos como a erosão.

Remete-se à Caseti (1995) para sustentar a postura que os segmentos côncavo-convergentes das vertentes apresentam maior vulnerabilidade à perda de solos, devido à ocorrência dos fluxos convergentes e concentrados do escoamento superficial.

[...] a forma geométrica da vertente apresenta uma significativa participação no balanço morfogenético, o que foi evidenciado por Ruhe (1975). Como exemplo: a) as vertentes portadoras de comprimento reto e largura reta respondem pelo domínio do fluxo laminar; b) as representadas por comprimento reto e largura curva respondem por processos complexos (largura convexa: fluxo disperso; largura côncava: fluxo convergente com ocorrência de escoamento concentrado); c) as de comprimento curvo e largura também curva caracterizam processos mais complexos (ocorrência de fluxo concentrado em linhas de drenagem de primeira ordem). (CASSETI, 1995, p. 68).

**Figura 3** – Relação dos fluxos de água conforme as formas da vertente



**Fonte:** Do autor.

Nas porções côncavas das vertentes verificam-se tendências à concentração do escoamento superficial, desse modo o aumento do fluxo de água potencializa o transporte de material detrítico de dimensões maiores, resultando assim, na remoção e deslocamento das partículas superficiais do solo, para um canal de drenagem á jusante.

Destaca-se que a análise das vertentes deve ser abordada como uma unidade,

visto que cada segmento de uma vertente está diretamente ligado ao segmento à jusante, e esses segmentos são resultados direto e/ou indiretos dos processos desencadeados à montante.

## **DADOS GEOMORFOMÉTRICOS**

O presente artigo contou com a consulta bibliográfica de trabalhos que englobassem as temáticas relacionadas à vulnerabilidade da paisagem, como os trabalhos de Costa Neto (2010), Mota e Valladares (2011) e Oliveira et al. (2009), e sobre análise de vertentes e vulnerabilidade do terreno em trabalhos como de Santos e Ferreira (2010), Souza (2005), Silva e Cunha (2008) e Santos e Sobreira (2008), além de obras da Geomorfologia como Bigarella (2003), Bloom (1970), Caseti (1995), Christofolletti (1980), Guerra (1994) e Tricart (1977).

Definida as variáveis a serem utilizadas e, revisada a literatura que abrange os conceitos de geomorfologia considerando-se os parâmetros utilizados em cada variável, estabeleceu-se uma ponderação coerente que pudesse expressar os níveis de vulnerabilidade da paisagem à perda de solos.

### **Curvatura Vertical**

Valeriano (2008b) considerou que a curvatura vertical é uma variável de alto poder de identificação de unidades homogêneas do relevo, por referir-se à forma convexo/côncavo do terreno.

A curvatura vertical relaciona-se com os processos de transporte e acumulação de água, minerais e matéria orgânica no solo. Assim, as formas das vertentes poderá ser um indicativo da dinâmica erosiva da área abordada (VALERIANO, 2008b).

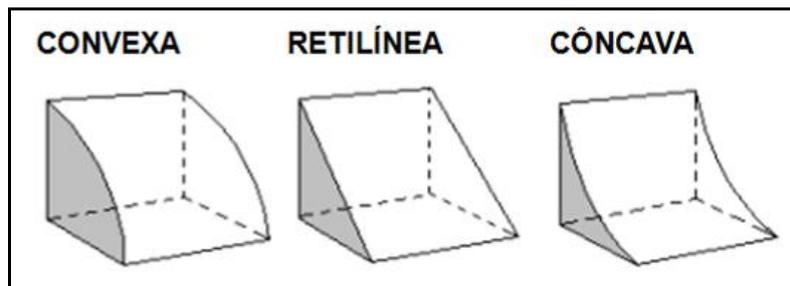
Bloom (1970) definiu as encostas quanto ao eixo vertical em perfil convexo, dominadas por rastejamento e predomínio de escoamento superficial, de perfil côncavo como predomínio transporte e acumulação detrítica.

Silva et al. (2007) definiram os perfis das vertentes convexo por apresentarem em seus trechos baixos, próximos da base declividades acentuadas, enquanto que nos trechos médios apresentam declividades menores e nos topos apresentam declividades quase nulas (Figura 4).

Os perfis côncavos caracterizam-se por apresentar próximo da base declividades baixas, nos trechos médios do perfil apresenta declividades moderadas e próximas aos topos com declividades acentuadas (SILVA et al., 2007).

Os perfis retilíneos apresentam valores de declividade similares em todos os pontos da vertente.

**Figura 4** - Geometria das vertentes considerando a curvatura vertical

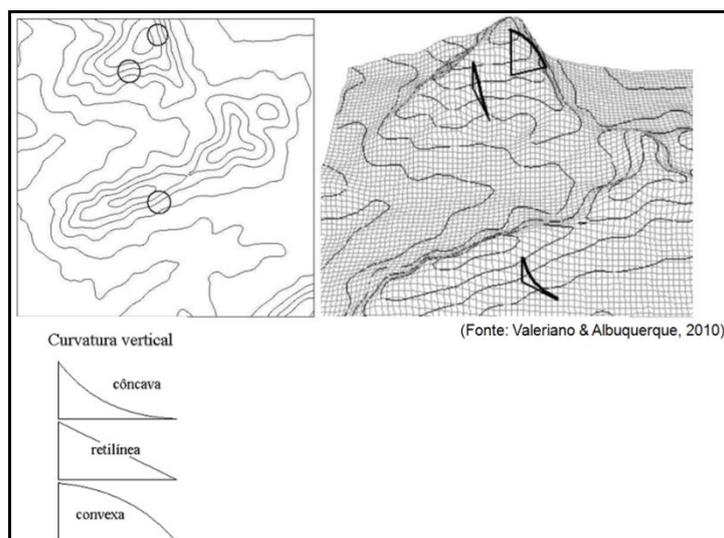


**Fonte:** Valeriano (2008a).

A percepção da curvatura vertical do terreno no campo, quando não ocorre visualmente (em perfil), se dá pela variação da declividade enquanto se percorre a vertente em sua orientação (direção do desnível) (VALERIANO, 2008a).

[...] Com relação a processos atuais, esta variável está relacionada aos processos de migração e acúmulo de matéria através da superfície (sobretudo água), proporcionados pela gravidade. Por este mecanismo, atua indiretamente no equilíbrio entre os processos de pedogênese/morfogênese, além de influenciar a distribuição local do regime hídrico e, conseqüentemente, o regime térmico (VALERIANO, 2008a, p. 36).

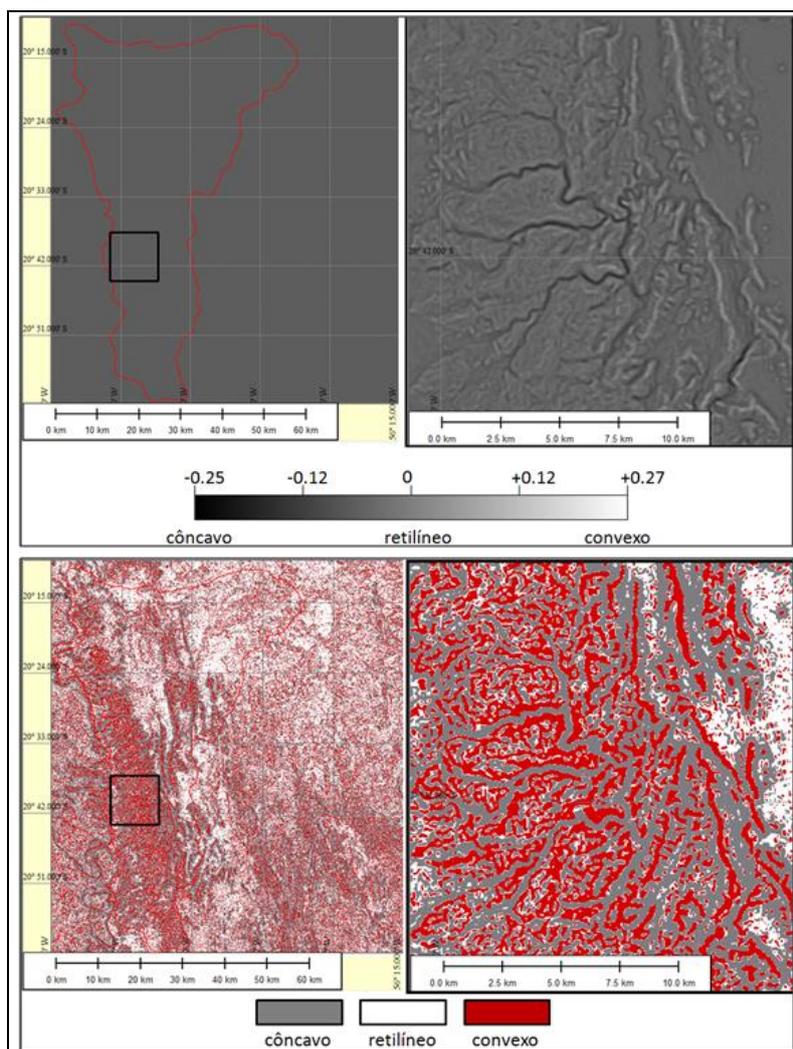
Segundo Valeriano e Albuquerque (2010), “a estimativa da curvatura vertical se baseia na observação de dois segmentos consecutivos de vertente ao longo de uma linha de fluxo” (Figura 5).

**Figura 5 - Representação da curvatura vertical**

**Fonte:** Valeriano e Albuquerque (2010).

Para Valeriano (2008a) a definição da curvatura vertical em cartas topográficas demanda da avaliação de no mínimo três curvas de nível próximas, que por meio da progressiva aproximação ou afastamento das curvas de nível ao longo das vertentes, serão definidas as configurações das classes de curvatura vertical.

Valeriano e Albuquerque (2010) consideraram que o valor (classe) da curvatura vertical é definido pela diferença de ângulo de declividade em relação à respectiva distância horizontal, assim se não houver diferença desse ângulo, o resultado é nulo, portanto, com curvatura vertical retilínea. Os perfis de vertente convexa apresentam os valores positivos e os perfis côncavos apresentam os valores negativos (Figura 6).

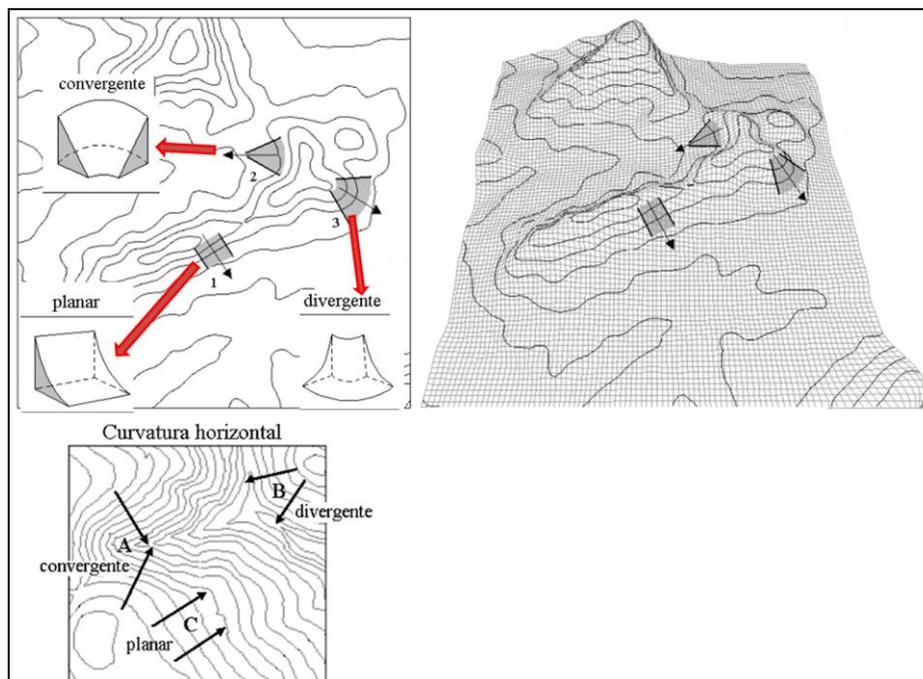
**Figura 6** - Curvatura vertical em MNT (acima) e fatiado/classificado (abaixo)

**Fonte:** Do autor.

### Curvatura Horizontal

Segundo Valeriano e Albuquerque (2010) “a medida da curvatura horizontal se baseia na mudança da orientação de vertentes em relação à distância horizontal, ao longo das curvas de nível”.

A curvatura horizontal é expressa em ângulo pela distância ( $^{\circ}/m$ ), e representa o formato geométrico horizontal de como as curvas de nível se configuram, ou seja, refere-se à própria curvatura das isolinhas (Figura 7).

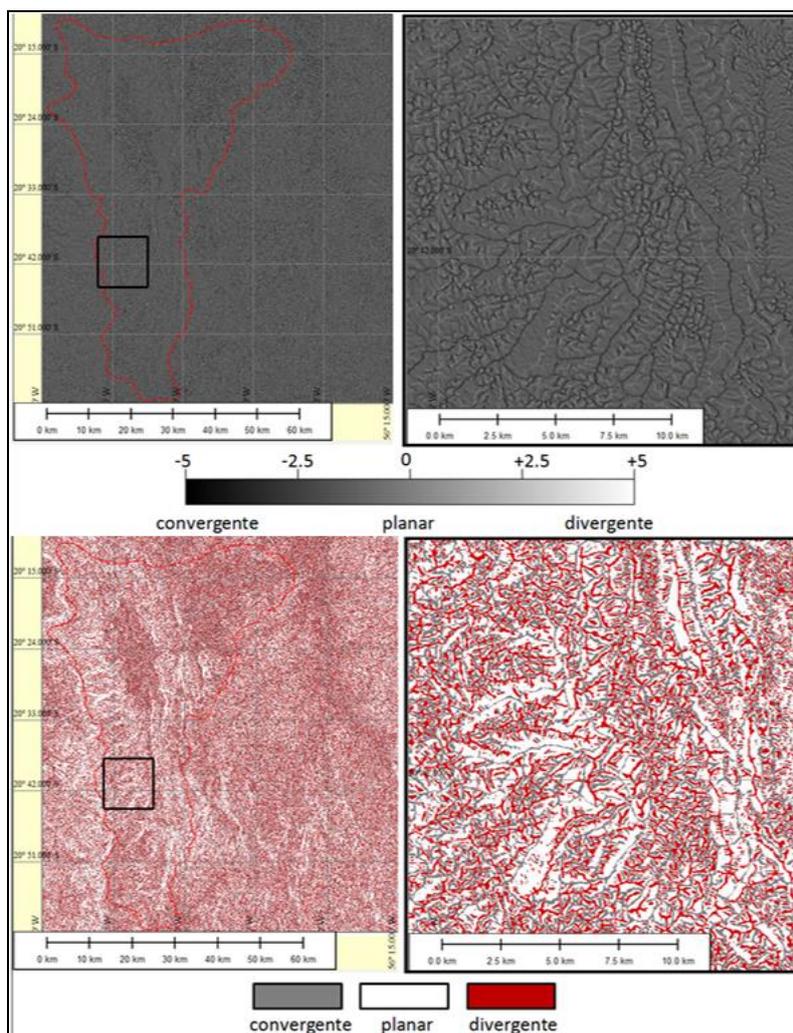
**Figura 7** – Representação da curvatura horizontal das vertentes

**Fonte:** Valeriano e Albuquerque (2010).

A curvatura horizontal das vertentes indicam as áreas de escoamento superficial divergente e convergente, de modo que as vertentes de fluxos concentrados (convergente) tende ao transporte de partículas maiores, que aquelas movidas pelo escoamento laminar difuso (divergente) (BIGARELLA, 2003).

A curvatura horizontal das vertentes refere-se ao direcionamento dos fluxos de água orientados pela forma da vertente. Bloom (1970) definiu as encostas, com relação à curvatura horizontal em “coletoras de água” (vertentes convergentes) e “distribuidoras de água” (vertentes divergentes).

Assim, quanto mais concentrados os fluxos d’água, maior seu potencial de erosão pluvial. A erosão torna-se mais efetiva, pois o material colocado em suspensão nas águas passa a ser transportado vertente abaixo com uma energia capaz de desagregar maiores porções de solo e produzir sulcos de erosão (BIGARELLA, 2003) (Figura 8).

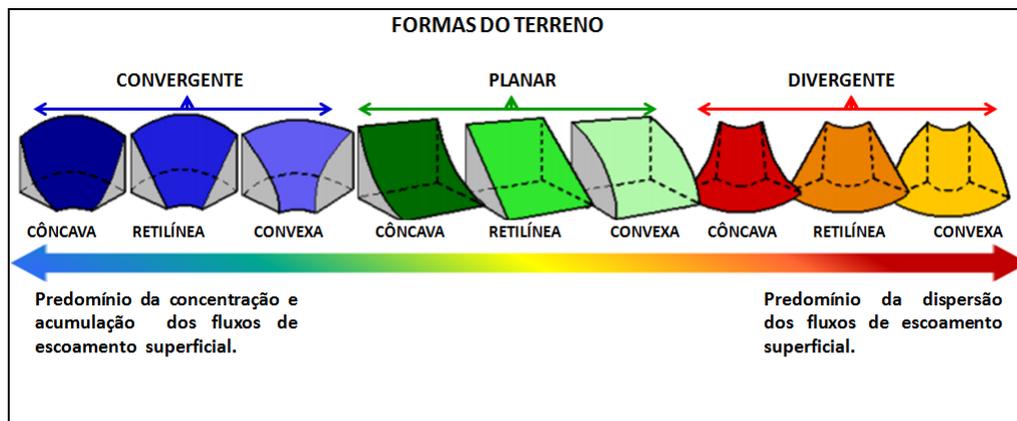
**Figura 8** - Curvatura horizontal em MNT (acima) e fatiado/classificado (abaixo)

Fonte: Do autor.

### Formas do terreno

As formas do terreno resultam da combinação entre as curvaturas vertical e horizontal. Como produto final da associação da curvatura vertical (côncavo, retilíneo e convexo) e curvatura horizontal (convergente, planar e divergente), estabelecendo-se nove classes distintas para as formas do terreno (VALERIANO, 2008a) (Figura 9).

Desse modo, apoiado na literatura referida no presente estudo, considerou-se a forma do terreno, Côncava - convergente como a classe de maior concentração e acúmulo de escoamento superficial, que corresponderia também à classe com maior vulnerabilidade aos processos erosivos mais intensos.

**Figura 9** – Classes das formas do terreno

**Fonte:** Do autor.

As formas do terreno Convexas - divergentes caracterizam-se como a classe de maior dispersão do escoamento superficial e menor concentração e acúmulo.

Essas classes apresentam formas do terreno onde o escoamento superficial apresenta baixa capacidade de transporte e de remoção das partículas do solo, portanto, apresentam baixa vulnerabilidade à perda de solos.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

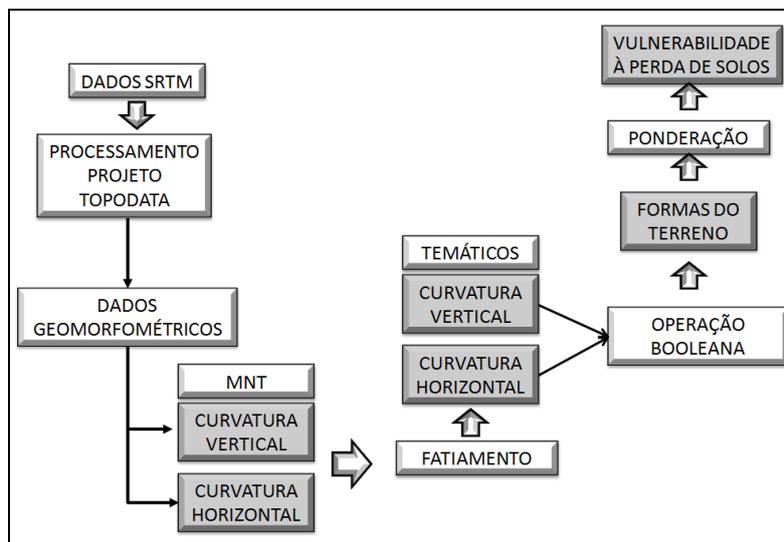
No presente estudo utilizou-se como exemplo de análise, a Bacia Hidrográfica do Rio Salobra que está localizada na região Sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul, considerada uma importante área fonte dos fluxos de matéria e energia da bacia do rio Miranda no Pantanal sul-mato-grossense. Está situada entre as Latitudes 20° 59' 55" S e 20° 08' 54" S e longitudes 57° 00' 00" W e 56° 26' 30" W, sua área abrange os municípios de Bonito (algumas nascentes), Bodoquena (maior parte da extensão de sua rede de drenagem) e Miranda (baixo curso e foz), com área de aproximadamente 2.350 km<sup>2</sup>.

O processamento dos dados SRTM-TOPODATA, que resultaram nos mapas temáticos, foram realizados com a utilização o Sistema de Informações Geográficas (SIG) implementada no *software* SPRING.

Os dados do projeto TOPODATA, de curvatura vertical e horizontal, foram inseridos no ambiente de SIG, como Modelo Numérico do Terreno (MNT) e fatiado em classes temáticas. A operação "Fatiamento" consiste na conversão de um Modelo Numérico em um Modelo Temático (Figura 10).

Após o fatiamento, foram gerados os mapas temáticos de curvatura vertical e horizontal, classificados em três classes cada um, ou seja, para curvatura vertical as classes côncavas, retilíneas e convexas, e para curvatura horizontal, as classes convergente, planar e divergente.

**Figura 10-** Fluxograma dos procedimentos metodológicos



Fonte: Do autor.

O Plano de informação de Forma do Terreno resultou da combinação dos P.I.s das Curvaturas Vertical e Horizontal, que por meio da implementação de Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) no SPRING, permitiu a implementação da operação Booleana.

Resultados de operações Booleanas são os campos obtidos a partir da comparação entre valores locais de outros campos quantitativos ou qualitativos, baseada em relações de ordem ou igualdade (CORDEIRO et al., 2003).

O passo seguinte consistiu na ponderação do P.I. das formas do terreno, no qual, foram atribuídos por meio de implementação do Programa em LEGAL, valores para cada uma das nove classes de formas do terreno.

Para ponderação do P.I. Formas do Terreno estabeleceu-se valores variando de 0.0 à 1.0, sendo que os valores próximos a 1.0 correspondem às classes de alta vulnerabilidade aos processos erosivos intensos, correspondendo também as formas do terreno côncavas - convergentes (Quadro 1).

Para formas do terreno, convexo - divergentes foram atribuídos os valores de baixa vulnerabilidade à perda de solos, portanto próximos à 0.0.

**Quadro 1** - Classes de formas do terreno e vulnerabilidade à perda dos solos

Curvatura Horizontal	Curvatura Vertical	Forma Terreno	Sigla	Canais			Valor ponderado p/ Vulnerabilidade	Classe de Vulnerabilidade	Área em %
				R	G	B			
convergente	concavo	Côncavo-Convergente	cc-cg	0	0	155	1,00	Forte	13
	retilíneo	Retilíneo-Convergente	rt-cg	58	58	220	0,89	Forte	23
	convexo	Convexo-Convergente	cv-cg	161	181	255	0,78	Forte	3
planar	concavo	Côncavo-Planar	cc-pl	0	124	0	0,67	Moderada	6
	retilíneo	Retilíneo-Planar	rt-pl	0	205	0	0,56	Moderada	11
	convexo	Convexo-Planar	cv-pl	205	255	209	0,45	Moderada	3
divergente	concavo	Côncavo-Divergente	cc-dg	213	0	0	0,34	Baixa	8
	retilíneo	Retilíneo-Divergente	rt-dg	233	142	0	0,23	Baixa	20
	convexo	Convexo-Divergente	cv-dg	255	240	0	0,12	Baixa	13

Fonte: Do autor.

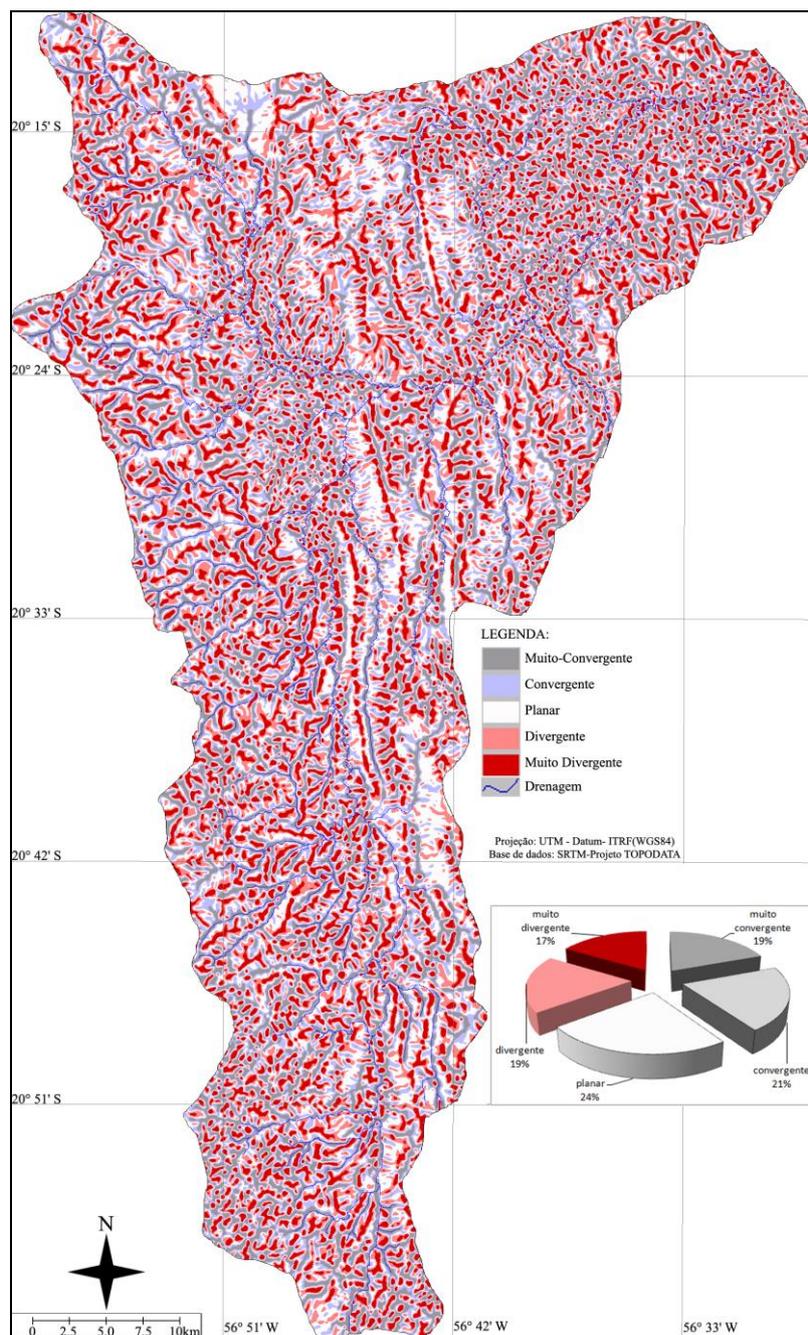
## RESULTADOS

A curvatura horizontal indica uma relação direta com o escoamento superficial nas vertentes e com a concentração e dispersão dos fluxos de água.

Assim, verificou-se que 40% da área estudada apresentou vertentes com curvatura horizontal convergente ou muito convergente, ou seja, vertentes com maior potencial ao transporte de partículas maiores e à erosão pluvial.

Observou-se que 24% da bacia hidrográfica do rio Salobra apresentou vertentes com curvatura horizontal planar, esse tipo de curvatura horizontal corresponde a uma classe intermediária entre as vertentes convergentes e divergentes.

As vertentes com curvatura horizontal divergente e muito divergente foram observadas em 36% da área de estudo. Essas vertentes caracterizam-se por apresentar geometria que tendem à distribuição dos fluxos de água, menor capacidade de transporte das partículas do solo (Figura 11).

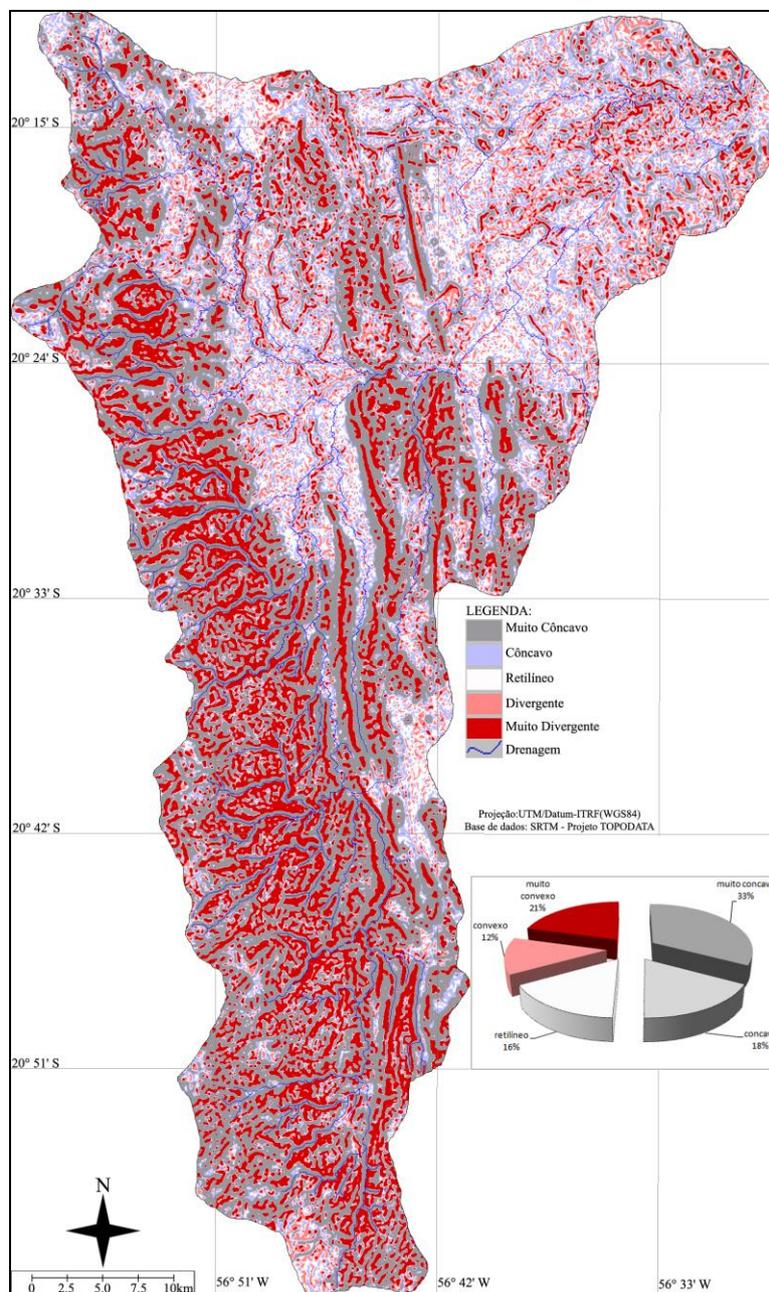
**Figura 11 - Curvatura horizontal da bacia hidrográfica do rio Salobra**

**Fonte:** Do autor.

Quanto à curvatura vertical, verificou-se que 51% da área estudada apresentou curvatura vertical Muito Côncavo e Côncavo, que apresenta disposição à concentração do escoamento superficial, representando as formas de vertentes que potencializa o transporte de material detrítico de dimensões maiores, devido ao acúmulo de água (Figura 12).

Verificou-se a classe curvatura vertical Retilíneo em 16% da área, essa classe caracteriza-se como a intermediária entre os perfis Côncavo e Convergente e indica áreas de relevo movimentado.

**Figura 12 - Curvatura Vertical da Bacia Hidrográfica do Rio Salobra**

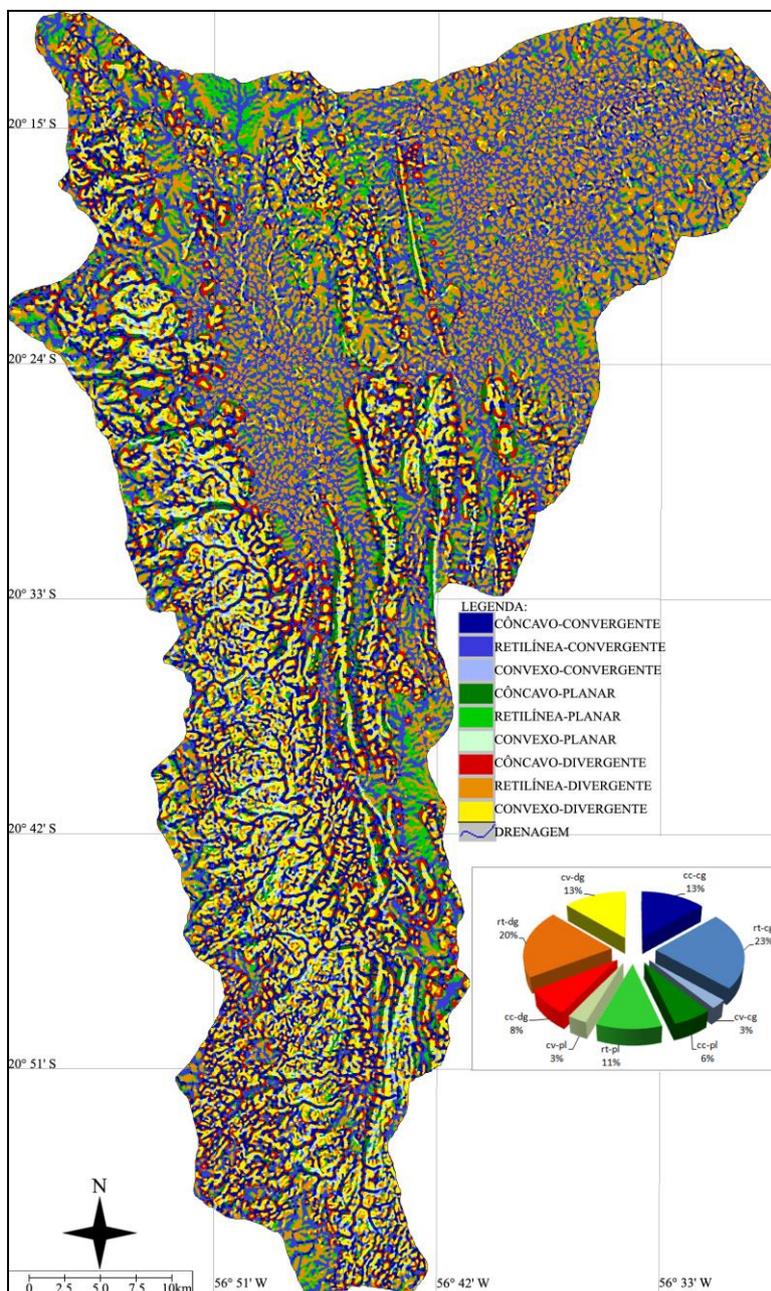


Fonte: Do autor.

As áreas de curvatura vertical convexo e muito convexo representam 33% da área estudada, nesses tipos de vertentes predominam os fluxos difusos com baixa capacidade de transporte de sedimentos (Figura 12).

Quanto às Formas do Terreno, definiu-se que as formas mais vulneráveis à perdas de solos são as classes, cuja geometria das vertentes estão condicionadas à maior concentração e acúmulo de escoamento superficial (Figura 13).

**Figura 13-** Formas do terreno da bacia hidrográfica do rio Salobra



Fonte: Do autor.

Portanto, as formas côncavo-convergente, retilíneo- convergente e convexo – convergente correspondem às classes de maior vulnerabilidade aos processos erosivos mais intensos, essas classes foram verificadas em 39% da área estudada. Estas formas são

consideradas as classes de forma do terreno que apresentam maior vulnerabilidade aos processos erosivos mais intensos (BIGARELLA, 2003).

A forma de terreno constitui-se como uma variável essencialmente qualitativa, e a partir da sua geometria são atribuídos efeitos que podem ser ordenados pela sua intensidade, desse modo, sendo passivo de ponderação quanto aos valores de vulnerabilidade à perda de solos (VALERIANO, 2008a).

As formas de terreno intermediárias que resultam da combinação das Curvaturas Verticais (côncavo, retilíneo e convexo) com a Curvatura Horizontal Planar foram observadas em 20% da área da estudada. Essas classes intermediárias podem ser denominadas com Vulnerabilidade Moderada.

As formas de terrenos que combinam as Curvaturas Verticais (Côncavo, Retilíneo e Convexo) com a Curvatura Horizontal Divergente são definidas como classe de Baixa Vulnerabilidade à perda de solos. Essa classe é verificada em 41% da área estudada, e caracteriza-se por apresentar formas do terreno onde o escoamento superficial apresenta baixa capacidade de transporte e de remoção das partículas do solo.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em termos gerais, os resultados obtidos no processamento dos dados SRTM – TOPODATA, utilizando-se Sistema de Informação Geográfica, permitiu considerar o papel desempenhado pelas Curvaturas Vertical e Horizontal no escoamento dos fluxos de águas e sua relação com a intensidade da erosão pluvial.

Quanto aos procedimentos metodológicos adotados no presente artigo, observou-se que os resultados foram satisfatórios na perspectiva da avaliação da vulnerabilidade à perda de solos a partir das formas do terreno.

As formas do terreno apesar de serem atributos qualitativos são passíveis de ponderação, considerando-se que as dinâmicas e intensidades dos processos erosivos estão diretamente ligadas às formas do terreno e aos formatos das vertentes, tanto na análise do formato do seu perfil, côncavo, retilíneo e convexo, quanto na análise do direcionamento dos fluxos de escoamento da água, convergente, planar e divergente.

Nesse sentido, considerou-se possível definir a partir das formas das vertentes e do terreno, uma ponderação coerente que possa ser utilizada como uma variável na análise da vulnerabilidade da paisagem à perda de solos.

Ressalta-se, que as Formas do Terreno quando analisada utilizando-se qualquer método multi-critério hierárquico, como por exemplo, o método AHP (Processo Analítico Hierárquico), deve-se considerar que outras variáveis, como declividade, uso do solo e cobertura vegetal, assumem um papel de maior importância na dinâmica dos processos erosivos, quando comparadas as Forma do Terreno.

Desse modo, variáveis como declividade, tipos de solos e cobertura vegetal, devem ser consideradas como fatores/variáveis, ligeiramente mais importante que as formas do terreno, por se tratar de uma variável qualitativa, na dinâmica dos processos erosivos.

Para melhor compreensão da correlação entre os processos erosivos e as formas das vertentes e terreno, deve-se identificar a ocorrência e tipologias dos fenômenos de erosão, tais como erosão laminar, sulcos ou voçorocas, relacionando-os com os tipos de solos e usos da terra na área estudada.

## REFERÊNCIAS

- BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: UFSC, 2003. v. 3.
- BLOOM, A. L. **Superfície da terra**. São Paulo: Edgard Blücher, 1970.
- CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 1995.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- CORDEIRO, J. P; et.al. Álgebra de campos e objetos. In: FUCKS S. D.; et al. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. 3ª. edição - on-line, revista e ampliada, São José dos Campos, INPE, 2003. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>
- COSTA NETO, J. F. Elaboração de mapas de vulnerabilidade natural à erosão como subsídio ao zoneamento ambiental em bacias hidrográficas com o uso de geoprocessamento. **Revista Brasileira de Espeleologia**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 52-60, 2010.
- CREPANI, E. et al. Zoneamento ecológico-econômico. In: FLORENZANO, Teresa G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 285-318.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 149-209.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009.
- MOTA, L. H. S. O.; VALLADARES, G. S. Vulnerabilidade à degradação dos solos da Bacia do Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 39-50, jan./mar. 2011.
- OLIVEIRA, P. T. S. et al. Processo analítico hierárquico aplicado à vulnerabilidade natural a erosão. **Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 417-424, 2009.
- SANTOS C. A.; SOBREIRA, F. G. Análise da fragilidade e vulnerabilidade natural dos terrenos aos processos erosivos como base para o ordenamento territorial: o caso das

- bacias do córrego Carioca, córrego do Bação e ribeirão carioca na região do alto rio das Velhas-MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 65-73, 2008.
- SANTOS, S. L. M.; FERREIRA, M. M. Avaliação das vertentes da bacia do igarapé Belmont Porto Velho – RO. **Geografia**, Londrina, v. 19, n. 2, p. 85-114, 2010.
- SILVA, A. M. et al. **Hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. 2. ed. São Carlos: RIMA, 2007.
- SILVA, D. L.; CUNHA, C. M. L. Análise morfométrica da bacia do córrego do Lajeado (SP). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 9, n. 26, p. 153-172, jun. 2008.
- SOUZA, C. R. G. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, ano 6, n. 1, p. 45-61, 2005.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.
- VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008b. p. 74-103.
- VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008a.
- VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. **Topodata: processamento dos dados SRTM**. São José dos Campos: INPE, 2010.

Recebido em 30/07/2012

Aceito em 16/01/2014