

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA INFORMAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ANÁLISE DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS À EROSÃO NA BACIA DO  
ARROIO PELOTAS (RS), COM AUXÍLIO DO GEOPROCESSAMENTO.**

**Rafael Cruz da Silva**  
(Dissertação de Mestrado)

**Rafael Cruz da Silva**

**ANÁLISE DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS À EROÇÃO NA BACIA DO  
ARROIO PELOTAS (RS), COM AUXÍLIO DO GEOPROCESSAMENTO.**

Dissertação apresentada à Fundação  
Universidade Federal do Rio Grande,  
como parte dos requisitos para  
obtenção do Título de Mestre em  
Geografia.

Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Rosa Elena Noal

Rio Grande, RS.

2009

Folha de aprovação

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho – UFSM

---

Prof. Dr. Pedro de Souza Quevedo Neto – FURG

## Dedicatória

Agradeço a Deus por tudo.

A minha família pelo apoio e carinho que me deram nesta caminhada.

A minha namorada por estar do meu lado no momentos difíceis, pelo carinho e amor que me deste.

Ao meu sobrinho querido que, embora ainda não saiba, proporcionou a todos muita alegria e união.

A professora Rosa pela oportunidade que me deste no desenvolvimento profissional, pela grande ajuda na elaboração deste trabalho e pelos conhecimentos geográficos.

Ao professor Alcir pelo companheirismo e pelos conhecimentos que adquiri sobre a história e a geografia da região.

Ao professor Edinei pelo conhecimento atrelado as geociências e pelo incentivos as práticas de campo.

Ao professor Marcelo pelas palavras boas nos momentos difíceis.

Ao grande colega e amigo Sandrinho pelo companheirismo e pelo apoio nas saídas de campo.

Aos amigos e companheiros Arthur, Nasser e Marcelo pelo momentos bons e pelo grandes debates no campo da justiça social.

A todos os funcionários e professores dos cursos de geografia da FURG e UFPel por possibilitarem o pleno desenvolvimento deste trabalho.

*“Solitária no espaço, única em seus sistemas geradores de vida, carregada de energias incompreensíveis, que nos transfere por meio dos mais delicados mecanismos; instável, caprichosa, imprevisível, mas extremamente nutritiva, estimulante e enriquecedora – não é esta uma casa maravilhosa para nós, terrestres? Não é digna de nosso amor? Não merece toda a criatividade, coragem e generosidade de que sejamos capazes para preservá-la da degradação e da destruição, e assim agindo assegurarmos nossa própria sobrevivência?”*

*Bárbara Ward e René Dubos. “Only one Earth”.*

## Resumo

### **ANÁLISE DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS À EROÇÃO NA BACIA DO ARROIO PELOTAS (RS), COM AUXÍLIO DO GEOPROCESSAMENTO.**

A produção do espaço com suas novas configurações, ao longo da história da humanidade, proporcionou um amplo e poderoso arsenal de tecnologias, capaz de transformar o meio geográfico em um curto espaço de tempo. Porém, esta inserção tecnológica no meio proporcionou modificações de grande magnitude, onde se destaca a degradação dos solos e suas conseqüências nos diversos setores agregados. Segundo dados do IBGE (2002) o assoreamento está entre os quatro problemas ambientais mais freqüentes no país. Este problema atinge, principalmente, a metade sul do Rio Grande do Sul, onde 58% do assoreamento somos ocasionados pela erosão hídrica. Diante do exposto, surge a necessidade de estudos relacionados ao planejamento socioambiental em diferentes escalas de análise, como por exemplo, as bacias hidrográficas. Um dos desafios nas pesquisas de cunho ambiental é a definição de unidades ambientais homogêneas que possibilite abarcar as novas demandas no enfrentamento dos problemas ambientais na escala global ou local e de forma integrada (NOAL, 2001). Neste contexto, insere-se a realização deste estudo que busca identificar e caracterizar os processos de degradação do solo, com ênfase na definição e análise de áreas suscetíveis à erosão na região que abrange a bacia do Arroio Pelotas, com o auxílio dos Sistemas de Informações Geográficas e do Sensoriamento Remoto. Para análise dos processos erosivos adotou-se como unidade de estudo a Bacia do Arroio Pelotas, que abrange os municípios de Pelotas, Canguçu, Morro Redondo e Arroio do Padre. Os pressupostos teórico-metodológicos que fundamentam esta pesquisa baseiam-se na abordagem sistêmica aplicada ao planejamento ambiental e às novas aplicações de geotecnologias no âmbito da Ciência Geográfica. Através da cartografia, um método de análise e representação espacial, elaborou-se o mapa de suscetibilidade à erosão utilizando-se o Sistema de Informações Geográficas ARCGIS. A partir da Cartografia de Síntese obtiveram-se cinco unidades de risco à erosão. Os resultados obtidos com este estudo apontaram que cerca de 90% da bacia do Arroio Pelotas apresenta áreas suscetíveis à erosão. Destes, 8% são consideradas de intensidade forte; 41% de intensidade forte a moderada; e 44% de intensidade moderada. Por fim, estes dados poderão subsidiar atividades relacionadas ao planejamento socioambiental na área da bacia do Arroio Pelotas.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica; análise ambiental; geoprocessamento

## Résumé

### **ANALYSE DES ZONES SENSIBLES A L'EROSION DANS LE BASSIN ARROIO PELOTAS (RS), AVEC L'AIDE DE GEOTECHNIQUES.**

La production de l'espace avec vos nouveaux paramètres, travers l'histoire de l'humanité, a fourni un large et puissant arsenal de technologies qui peuvent transformer l'environnement géographique dans un court espace de temps. Cependant, cette insertion technologique dans le milieu, conduit à des changements de grande ampleur, ce qui fait saillants la dégradation des sols et de ses conséquences dans les plusieurs domaines agrégats. Selon l'IBGE (2002), la sédimentation est parmi les quatre problèmes environnementaux les plus courants dans le pays. Ce problème affecte principalement la partie sud du Rio Grande do Sul, où 58% de la sédimentation est causée par l'érosion hydrique. Donc, se pose le besoin d'études liées au développement sociale et environnementaux dans différentes échelles d'analyse, comme par exemple les bassins. Un défi pour les études de base environnementaux sur la définition des unités de l'environnement, qui permet la couverture homogène des nouvelles exigences dans le traitement des problèmes environnementaux de une manière globale ou locale et intégrée (Noal, 2001). Dans ce cas, on pose la réalisation de cette recherche environnementaux qui vise à identifier et caractériser les processus de dégradation des sols, en mettant en évidence sur la définition et l'analyse des zones sensibles à l'érosion de la région qui couvre le bassin Pelotas, avec l'aide des systèmes d'information géographique et de remote sensing. Pour l'analyse du processus d'érosion a été assumé comme unité d'étude le bassin Pelotas, qui comprend les Villes de Pelotas, Canguçu, Morro Redondo et Arroio do Padre. Les hypothèses théoriques et méthodologiques qui sous-tendent cette recherche sont basés sur le traitement systémique appliquée au développement environnementale et de nouvelles applications des SIG autour de la Science géographique. Par la cartographie, une méthode d'analyse et de représentation spatiale, nous avons élaboré le plan de la susceptibilité d'érosion en utilisant le système d'information géographique ArcGIS. A partir de la cartographie de synthèse on a obtenu cinq unités de risque d'érosion. Les résultats de cette étude a montré qu'environ 90% du bassin Pelotas présente des zones sensibles à l'érosion. De ce nombre, 8% sont considérées comme de haute intensité, 41% d'intensité modérée à forte, et 44% d'intensité modérée. Enfin, ces données pourraient soutenir les activités liées à la planification socio environnementaux dans la zone du bassin Pelotas.

Mots-clés: Bassin ; analyse de l'environnement; géotechnique

## Lista de Figuras

<b>Figura 1:</b> Condições dos solos no mundo.....	3
<b>Figura 2:</b> Interação do homem com o ambiente natural.....	12
<b>Figura 3:</b> Práticas conservacionistas.....	18
<b>Figura 4:</b> Áreas de preservação permanente referentes à mata ciliar.....	20
<b>Figura 5:</b> Esquema teórico do geoprocessamento.....	25
<b>Figura 6:</b> Processos hidrológicos e correlação com os processos erosivos.....	29
<b>Figura 7:</b> Comportamento hidrológico em diferentes áreas de ocupação do solo.....	32
<b>Figura 8:</b> Zonas morfoclimáticas.....	34
<b>Figura 9:</b> Interceptação da vegetação.....	38
<b>Figura 10:</b> Diagrama do processo erosivo.....	47
<b>Figura 11:</b> Etapas do processo de erosão.....	48
<b>Figura 12:</b> Processos de degradação do solo.....	49
<b>Figura 13:</b> Inter-relação dos fatores de degradação do solo.....	50
<b>Figura 14:</b> Impacto pela chuva.....	51
<b>Figura 15:</b> Erosão laminar.....	51
<b>Figura 16:</b> Erosão em sulcos.....	52
<b>Figura 17:</b> Formação de voçoroca.....	52
<b>Figura 18:</b> Diagrama de Hjulström.....	54
<b>Figura 19:</b> Climograma de Pelotas.....	57
<b>Figura 20:</b> Mapa base da bacia do Arroio Pelotas.....	58
<b>Figura 21:</b> Bloco-diagrama da bacia do Arroio Pelotas.....	59
<b>Figura 22:</b> Mapa de densidade populacional.....	62
<b>Figura 23:</b> Método de sobreposição.....	67

<b>Figura 24:</b> Fluxograma da etapa de geoprocessamento.....	67
<b>Figura 25:</b> Procedimento de análise granulométrica.....	69
<b>Figura 26:</b> Jogo de Peneiras.....	70
<b>Figura 27:</b> Interpretação da imagem de satélite Landsat 7 .....	72
<b>Figura 28:</b> Classificação pelo método de verossimilhança.....	73
<b>Figura 29:</b> Pessegueiros.....	75
<b>Figura 30:</b> Plantação de milho.....	75
<b>Figura 31:</b> Plantação de fumo.....	76
<b>Figura 32:</b> Plantação de arroz em latifúndio.....	77
<b>Figura 33:</b> Olarias na Sanga Funda.....	78
<b>Figura 34:</b> Localização da barreira na Sanga Funda.....	79
<b>Figura 35:</b> Barreira em funcionamento.....	79
<b>Figura 36:</b> Barreira abandonada.....	80
<b>Figura 37:</b> Paisagem rural.....	81
<b>Figura 38:</b> Extrato arbóreo em vale fluvial no Arroio Caneleiras.....	82
<b>Figura 39:</b> Mata ciliar herbáceo-arbustiva no baixo curso do Arroio Pelotas.....	83
<b>Figura 40:</b> Mapa de índice de vegetação por diferença normalizada.....	84
<b>Figura 41:</b> Mapa topográfico.....	86
<b>Figura 42:</b> Paisagens da área da bacia do Arroio Pelotas.....	87
<b>Figura 43:</b> Modelo digital de terreno.....	89
<b>Figura 44:</b> Plano de curvatura vertical.....	90
<b>Figura 45:</b> Vertentes em formas convexas.....	91
<b>Figura 46:</b> Vertente côncava.....	91
<b>Figura 47:</b> Declividade média do terreno em porcentagem.....	92
<b>Figura 48:</b> Vetores de intensidade de escoamento superficial.....	93

<b>Figura 49:</b> Padrão de drenagem dendrítico.....	94
<b>Figura 50:</b> Canal retilíneo.....	95
<b>Figura 51:</b> Canal meandrante.....	96
<b>Figura 52:</b> Canal entrelaçado.....	97
<b>Figura 53:</b> Zonas de produção, transporte e sedimentação em bacia hidrográfica.....	98
<b>Figura 54:</b> Diferentes perfis ao longo da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas.....	99
<b>Figura 55:</b> Pontos de coletas de sedimentos.....	100
<b>Figura 56:</b> Análise de sedimentos do leito do Arroio Pelotas .....	101
<b>Figura 57:</b> Assoreamento no Arroio Pelotas.....	102
<b>Figura 58:</b> Argilossolo vermelho-amarelo na localidade da Colônia Maciel.....	103
<b>Figura 59:</b> Planossolo hidromórfico de textura arenosa no <i>horizonte A</i> .....	105
<b>Figura 60:</b> Neossolo litólico.....	106
<b>Figura 61:</b> Área das unidades de susceptibilidade à erosão.....	109
<b>Figura 62:</b> Mapa de suscetibilidade à erosão.....	110
<b>Figura 63:</b> Erosão laminar em topo de morro.....	111
<b>Figura 64:</b> Processo de voçorocamento.....	112
<b>Figura 65:</b> Erosão por escoamento laminar.....	113
<b>Figura 66:</b> Erosão em área de pastagem associado a planossolos.....	114
<b>Figura 67:</b> Depósito fluvial.....	115

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1:</b> Perdas de terras associadas ao uso agrícola.....	14
<b>Tabela 2:</b> Relação entre a cobertura vegetal e a perda de solo por escoamento.....	36
<b>Tabela 3:</b> Proteção do solo em relação à cobertura vegetal/uso da terra..	34
<b>Tabela 4:</b> Valores do Índice de Área Folhar para diferentes tipos de vegetação.....	39
<b>Tabela 5:</b> Fragilidade a erodibilidade dos solos.....	41
<b>Tabela 6:</b> Incidência dos fatores causadores da degradação dos solos por região.....	46
<b>Tabela 7:</b> Cartas topográficas.....	64
<b>Tabela 8:</b> Plano de curvatura.....	65
<b>Tabela 9:</b> Intensidade de cobertura vegetal.....	65
<b>Tabela 10:</b> Declividade.....	66
<b>Tabela 11:</b> Uso do solo e vegetação.....	66
<b>Tabela 12:</b> Solos.....	66
<b>Tabela 13:</b> Classificação dos sedimentos (escala de Wentworth).....	68
<b>Tabela 14:</b> Tipos de solos na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas.....	102
<b>Tabela 15:</b> Unidades de suscetibilidade à erosão.....	108

## Lista de Abreviaturas

- APPs – Áreas de Preservação Permanentes
- ANA – Agência Nacional de Águas
- BHAP – Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas
- CLSWS – Committee on Long-Range Soil and Water Conservation/EUA
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- ENVI – Environment for Visualizing Images
- EUPS – Equação Universal de Perda de Solos
- FAO – Food and Agriculture Organization
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IIRR – International Institute of Rural Reconstruction
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- ISRIC – World Soil Information
- LACEA – Laboratório de Cartografia e Estudos Ambientais/UFPEL
- LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite
- LEUR – Laboratório de Estudos Urbanos e Regionais/UFPEL
- MDT – Modelagem Digital de Terreno
- NDVI – Normalized Difference Vegetation Index
- ONU – Organização das Nações Unidas
- SEUR – Secretaria de Urbanismo de Pelotas
- SIGs – Sistemas de Informação Geográficas
- SRTM – Shuttle Radar Topography Mission/NASA
- UNEP – United Nations Environment Programme/ONU

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>RÉSUMÉ</b> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xi
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	xii
Capítulo I	
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
Capítulo II	
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	6
Capítulo III	
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	7
3.1. Os sistemas da natureza.....	7
3.2. Planejamento ambiental.....	10
3.2.1. Dinâmica da paisagem.....	16
3.2.2. Práticas conservacionistas.....	17
3.3. Legislação ambiental.....	18
3.3.1. Áreas de preservação permanentes ( <i>APPs</i> ).....	19
3.4. Ciência, técnica e tecnologia de representação do espaço.....	21
3.4.1. Cartografia.....	21
3.4.2. Síntese cartográfica.....	22
3.4.2. Geotecnologias.....	23
3.5. Hidrogeografia.....	27
3.5.1. Bacia hidrográfica.....	27
3.5.2. Processos hidrológicos.....	29
3.5.3. Drenagem em bacias hidrográficas.....	30
3.6. Climatologia.....	33
3.7. Vegetação.....	35
3.7.1. Interceptação.....	37
3.8. Solos.....	39
3.9. Erosão e degradação dos solos.....	42

3.9.1. Processos erosivos.....	47
3.9.2. Classificação dos tipos de erosão.....	50
3.9.2.1. Erosão hídrica.....	50
3.9.2.2. Erosão eólica.....	52
3.10. Assoreamento e sedimentação.....	53
Capítulo IV	
<b>4. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL.....</b>	<b>56</b>
4.1. Área de estudo.....	56
4.2. Clima.....	56
4.3. Relevo.....	59
4.4. Pequena história da ocupação territorial.....	60
4.5. Demografia.....	61
Capítulo V	
<b>5. METODOLOGIA.....</b>	<b>63</b>
5.1. Materiais cartográficos e estatísticos.....	64
5.2. Etapa de geoprocessamento.....	64
5.3. Análise em laboratório de sedimentos.....	68
Capítulo VI	
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>71</b>
6.1. Análise do uso do solo através da aplicação do sensoriamento remoto.....	71
6.2. Uso do solo.....	73
6.2.1. Policultura.....	74
6.2.2. Monocultura.....	76
6.2.3. Olarias.....	78
6.3. Vegetação.....	80
6.3.1. Campos da planície.....	80
6.3.2. Campos de coxilhas.....	81
6.3.3. Campos de relevo alto e ondulado.....	81
6.4. Geomorfologia.....	85
6.5. Hidrologia.....	93
6.5.1. Classificação dos canais fluviais.....	94
6.5.1.1. Canal retilíneo.....	94

6.5.1.2. Canal meandrante.....	95
6.5.1.3. Canal entrelaçado.....	96
6.5.2. Processos fluviais.....	97
6.5.3. Análise granulométrica.....	100
6.6. Solos .....	102
6.6.1. Argilossolo .....	103
6.6.2. Planossolo.....	104
6.6.3. Neossolo.....	105
6.6.4. Chernossolo.....	106
6.6.5. Gleissolo.....	107
6.6.6. Luvisso.....	107
6.7. Unidades de suscetibilidade à erosão.....	107
6.7.1. Setor muito forte.....	111
6.7.2. Setor forte.....	112
6.7.3. Setor moderado-forte.....	112
6.7.4. Setor moderado.....	113
6.7.5. Setor fraco.....	114
Capítulo VII	
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>116</b>
Capítulo VIII	
<b>8. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>118</b>

### 1. INTRODUÇÃO

As questões relativas à degradação ambiental vêm se tornando parte de nosso cotidiano, podendo ser citado como exemplo os problemas ambientais envolvendo a poluição nas grandes cidades, as mudanças climáticas, a superprodução de dejetos e o consumo desenfreado dos recursos naturais. Porém, nem sempre as notícias são tratadas com cientificismo, havendo por parte da mídia exageros, pois mesmo fenômenos naturais são totalmente atribuídos à interferência humana no meio ambiente. Segundo Mendonça (1998), mesmo determinados processos de ordem completamente natural, como erupções vulcânicas ou chuvas torrenciais, passam a ser encarados como “acidentes ecológicos”.

No final da década de 90 a grande preocupação, não só na esfera acadêmica como nos demais setores, público e privado, era com os recursos hídricos, posteriormente, surgem preocupações com a matriz energética do mundo, o petróleo e, mais recentemente, o grande enfoque é dado às questões relativas ao aquecimento global. Da mesma forma, o crescimento dos índices de “fome”, de acordo com as informações noticiadas, ocorre, predominantemente, como consequência das mudanças climáticas.

De acordo com Santos (2000, p.18) é preciso que a sociedade, de modo geral, compreenda que o desenvolvimento técnico-científico e informacional, ainda no final do século passado, já a livrou da simples condição de vítima da natureza. Assim, para o referido autor “na realidade, a natureza hoje, é um valor, ela não é natural no processo histórico. Ela pode ser natural na sua existência isolada, mas, no processo histórico, ela é social”.

O fato é que os agravos à natureza são, sobretudo, originários do modelo de civilização que adotamos. Será este irreversível? É esta a discussão que se impõe para evitar ao mesmo tempo as ofensas à Terra e ao homem. Não podemos esquecer que uma certa pregação ecologista-naturalista acaba por encobrir o processo de produção da globalização perversa. Por isso os propagandistas-pregadores são alarmantes financiados pelos que lucram com a globalização (SANTOS, 2000, P.20).

A produção do espaço com suas novas configurações, ao longo da história da humanidade, acentua-se cada vez mais, principalmente, após a revolução técnico-científica, a qual proporcionou um amplo e poderoso arsenal de tecnologias capazes de transformar o meio geográfico num tempo muito curto. Porém, esta inserção tecnológica no meio geográfico proporcionou modificações de grande magnitude, onde se destaca a degradação dos solos e suas conseqüências nos diversos setores agregados.

Sabe-se que a degradação dos solos constitui-se, principalmente, na perda de suas qualidades naturais (físicas e bioquímicas), gerados em sua maioria pelos processos erosivos, o que acarreta em um problema socioeconômico e ambiental, pois, em reciprocidade ao aumento da perda dos solos por erosão, há a diminuição gradativa da sua camada mais produtiva e, conseqüentemente, a lixiviação<sup>1</sup> dos nutrientes superficiais, ocasionando uma contínua e gradual redução na produtividade agrícola e, conseqüentemente, o aumento na aplicação de insumos agrícolas.

Segundo dados do IBGE (2002), o assoreamento está entre os quatro problemas ambientais mais freqüentes no país. No Rio Grande do Sul este problema atinge principalmente a metade sul do estado, onde 58% do assoreamento é ocasionado pela erosão hídrica. Os problemas relacionados à erosão dos solos – assoreamento e contaminação dos recursos hídricos – estão associados ao uso da terra de maneira inadequada; seja na agricultura, moradia, indústria, entre outros.

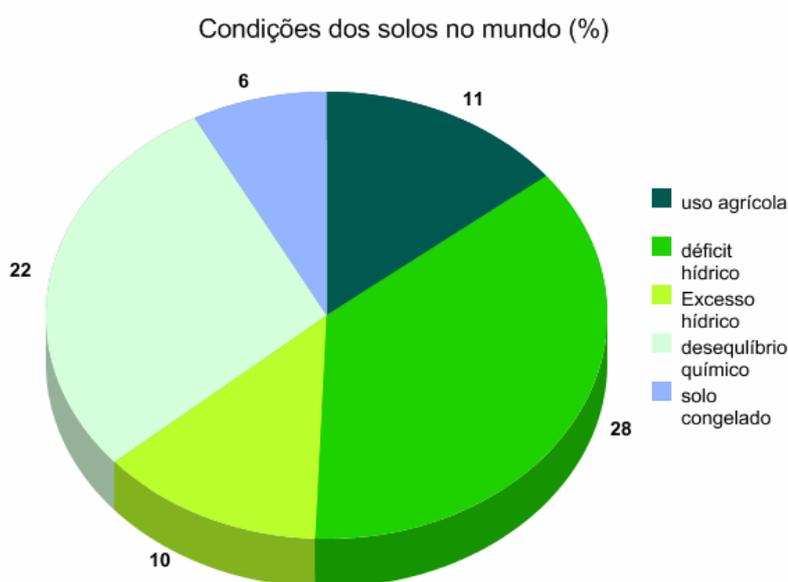
De acordo com os dados da FAO (FAO, 1980), somente 11% dos solos (Fig.1) não apresentam alguma restrição ao seu uso. Estes dados demonstram a escassez deste recurso, já que a sua formação é um processo lento. Em algumas

---

<sup>1</sup> Processo pelo qual a matéria orgânica e os sais minerais são removidos do solo, de forma dissolvida, pela percolação da água da chuva (IBGE, 2004).

regiões de degradação acelerada a pedogênese<sup>2</sup> não acompanha o mesmo ritmo da perda dos solos. Araújo *et al.* (2007) coloca que a degradação das condições do solo é muito mais séria, no sentido de que não é facilmente reversível, uma vez que processos de formação e regeneração do solo são muito lentos.

Essa lentidão é tal que 2,5 cm de solo podem levar de 100 a 2 mil anos para se formar. Esse tempo pode ser ainda maior conforme o tipo de solo. Uma das preocupações ambientais importantes da atualidade é a velocidade com que perdemos solo pela sua utilização predatória. Estima-se que por erosão os mesmos 2,5 cm de solo são destruídos em menos de dez anos (CONTI e FORLAN, 2001).



**Figura 1** – Condições dos solos no mundo.  
Fonte: FAO, 1980.

Grande parte da erosão – aproximadamente 2/3 – decorre da ação pela água que lava a camada superficial do solo<sup>3</sup> (WRI *et al.*, 1992).

<sup>2</sup> Modo pelo qual o solo se origina, com especial referência aos fatores e processos responsáveis pelo seu desenvolvimento. Os fatores que regulam os processos de formação do solo são: material de origem, clima, relevo, ação de organismos e o tempo (IBGE, 2004).

<sup>3</sup> CROSSON (1994) estimou que a degradação do solo entre 1945 e 1990 diminuiu a produção de alimentos no mundo em torno de 17%. Estudos regionais têm identificado também essas perdas. Na África, as perdas na produção provenientes somente da erosão do solo são estimadas em mais de 8% (LAL, 1995). Dados de diferentes pesquisas indicam que o declínio na produtividade resultante da degradação dos solos pode ultrapassar 20% em um determinado número de países da Ásia e do Oriente Médio (SCHERR e YADAV, 1996 *apud* ARAÚJO *et al.*, 2007).

Diante do exposto, surge a necessidade de estudos relacionados ao planejamento socioambiental em diferentes escalas de análise, como por exemplo, as bacias hidrográficas. Um dos desafios nas pesquisas de cunho ambiental é a definição de unidades ambientais homogêneas que possibilite abarcar as novas demandas no enfrentamento dos problemas ambientais na escala global ou local e de forma integrada (NOAL, 2001).

A Geografia possui um papel de suma importância ao desvendar o que acontece nesse contexto, justamente por se preocupar com o estudo das relações do sistema ambiental com o sistema socioeconômico, as quais levam à produção das organizações espaciais (CHRISTOFOLETTI, 1999). De acordo com Mendonça (1998, p. 27), “a Geografia, ao lado de algumas outras ciências, desde a sua origem, tem tratado de perto a temática ambiental, elegendo-a de maneira geral, como uma de suas principais preocupações”. Ross (1995), por sua vez, afirma que “interesse da Geografia em apreender como cada sociedade humana estrutura e organiza o espaço físico-territorial em face das imposições do meio natural, de um lado, e da capacidade técnica, do poder econômico e dos valores sócio culturais de outro”.

Neste contexto, insere-se a realização deste estudo que busca identificar e caracterizar os processos de degradação do solo, com ênfase na análise de áreas suscetíveis à erosão na região que abrange a bacia do Arroio Pelotas, através do princípio da ecodinâmica de Tricart, para tanto, utilizando-se o método de síntese cartográfica.

A partir dessa premissa se adotou, para a realização deste trabalho, a área da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, que possui uma área de cerca de 909 Km<sup>2</sup> e, no qual abrange, parcialmente quatro municípios da metade sul do estado do Rio Grande do Sul, ou seja, Pelotas, Arroio do Padre, Morro Redondo e Canguçu; sendo este um dos mais importantes sistemas de drenagem para o município de Pelotas. Somando-se a isso, situa-se em uma região onde predominam as atividades agropastoris importantes para a economia dos municípios inseridos na bacia, acentuando-se a necessidade de estudos que possibilitem o planejamento socioambiental na região.

Os resultados obtidos com este estudo buscam subsidiar atividades relacionadas ao planejamento socioambiental e, também, para o aprimoramento da gestão territorial na área da Bacia do Arroio Pelotas.

A presente dissertação está estruturada em quatro capítulos, descritos a seguir.

O capítulo I enfatiza aspectos que caracterizam a degradação dos solos no contexto geral, ou seja, suas causas e conseqüências para o ambiente, bem como os pressupostos que fundamentam a presente dissertação, como o problema da pesquisa, objetivos, justificativa, procedimentos metodológicos e a relevância da realização deste estudo.

No capítulo II têm-se os pressupostos teórico-metodológicos que fundamentam esta pesquisa que se baseia na abordagem sistêmica aplicada ao planejamento ambiental e as novas aplicações de geotecnologias no âmbito da Ciência Geográfica. Posteriormente, são apresentados os conceitos de bacia hidrográfica, processos hidrológicos, erosão e assoreamento, e as possíveis aplicações destes temas em pesquisas ambientais.

No capítulo III são apresentados os materiais e métodos para o desenvolvimento da presente pesquisa. São descritos os procedimentos implementados no SIG para elaboração do mapa de susceptibilidade à erosão.

No capítulo IV são apresentados os resultados obtidos através da identificação das áreas suscetíveis a erosão, bem como a caracterização das mesmas, como o uso da terra, demografia, geomorfologia, clima, vegetação e solos. Na seqüência são apresentadas propostas de práticas de conservação do solo de acordo com o grau de fragilidade ambiental de cada unidade identificada.

E por último, no capítulo V, as considerações finais, fechando o trabalho, apresentam a síntese dos resultados alcançados bem como as sugestões de possíveis soluções para a redução da perda dos solos por erosão na área de estudo, visando o aprimoramento da gestão territorial na área da Bacia do Arroio Pelotas.

Os resultados obtidos com este trabalho poderão servir de referência no planejamento ambiental para a área da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, podendo, ainda, serem utilizados como um ferramental teórico-técnico pelos órgãos ambientais na elaboração, por exemplo, do zoneamento agrícola, do plano diretor e, também, do planejamento territorial como um todo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

- Identificar as áreas suscetíveis à erosão na área da bacia do Arroio Pelotas.

### **2.2. Objetivo específico**

- Analisar os processos erosivos atuantes na área da bacia do Arroio Pelotas;
- Identificar a distribuição espacial e intensidade dos processos erosivos atuantes na bacia do Arroio pelotas.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. Os sistemas da natureza

Devido à complexidade da natureza, à sua compreensão antecede um quadro teórico e metodológico que possa processar as inúmeras variáveis e interações entre os elementos do meio natural. Assim, a abordagem sistêmica se apresenta como um dos métodos mais apropriados para análise das interações ambientais.

Antes de se adentrar no conceito sistêmico é necessário conhecer o termo básico da análise sistêmica, ou seja, o que é *sistema*. Neste sentido, pode-se citar alguns pesquisadores que trabalham com o conceito de sistema, como Chorley e Kennedy (1977), Hall e Fagen (1977), Miller (1977), Christofolletti (2002) e Monteiro (2002).

Um *sistema* pode ser definido como um conjunto de objetos agrupados por alguma interação ou interdependência, de modo que existam relações de causa e efeito nos fenômenos que ocorrem com os elementos desse conjunto [...]. Um sistema é *dinâmico* quando algumas grandezas que caracterizam seus objetos constituintes variam no tempo (MONTEIRO, L. 2002).

Complementando o conceito de sistema, Chorley e Kennedy reiteram a idéia de sua complexidade e dinâmica.

Um sistema é o conjunto estruturado de objetos e/ou atributos. Esses objetos e atributos consistem de componentes ou variáveis (isto é, fenômenos que são passíveis de assumir magnitudes variáveis) que exibem relações discerníveis um com os outros e operam conjuntamente como um

todo complexo, de acordo com determinado padrão (CHORLEY e KENNEDY, 1971 *apud* CHRISTOFOLETTI, 2002).

Como se pode observar, o sistema se caracteriza por uma relação entre os seus elementos e/ou atributos, embora alguns teóricos ainda considerem a questão da organização como atributo principal em um sistema.

Para HALL e FAGEN o termo sistema é entendido como conjunto dos elementos e das relações entre eles e entre seus atributos. MILLER amplia a discussão sobre o tema, descrevendo sistema como um conjunto de unidades com relações entre si, sendo que a idéia de conjunto deve ser encarada como unidades que possuem propriedades comuns entre si, que controlam, são controladas e possuem dependência umas das outras (SILVA e FILHO, 2007, p.263).

A adoção do conceito de sistema é referenciada em pesquisas de ordem ambiental, agrônômica e econômica, pois o mesmo permite a compreensão dos fenômenos como um todo e, ainda, a caracterização das interações de causa e efeito.

No universo sistêmico, o meio ambiente é constituído pelos sistemas que interferem e condicionam as atividades sociais e econômicas. [...] Os sistemas ambientais são responsáveis pelo fornecimento de materiais e energia aos sistemas sócio-econômicos e deles recebem os seus produtos (edificações, insumos, emissões, dejetos, etc.) (CHRISTOFOLETTI, 2002).

A relevância de se trabalhar a paisagem como um sistema aberto é defendido por inúmeros pesquisadores, como: Runge (1973), Gerrard (1992) e Guerra (2004), pois, na medida em que a paisagem recebe e perde energia além de suas fronteiras, torna-se imprescindível uma abordagem sistêmica que contemple o estudo das inúmeras variáveis que compõe a paisagem.

A seguir é apresentando um esboço sobre a influência dos conceitos sistêmicos aplicados a Geografia Física e a Geomorfologia.

É a partir de 1940 que a Teoria Geral dos Sistemas, proposta pelo biólogo Ludwig Von Bertalanffy, fora exposta ao meio científico. Mas, é só a partir do conceito de *ecossistema* que sua aceitação é concretizada. A Geografia, como parte

das ciências, também será influenciada por esta evolução teórico-científica, no qual se pode destacar o desenvolvimento do geossistema pelo geógrafo russo Victor Borissovitch Sotchava.

Guerra e Marçal (2006) informam que autores como Bertrand (1971); Tricart (1977); Bolós (1981); Rougerie e Beroutchachvili (1991); Christofolletti (1991), têm apontado a visão geossistêmica como a abordagem fundamental nos estudos de Geografia Física, na medida em que esta visão teórico-metodológica incorpora os sistemas naturais e o quadro socioeconômico em suas análises.

Aproveitando-se da segunda lei da termodinâmica, a lei da dissipação da energia e do conceito de *entropia*, BERTALANFFY, propõe a existência de *sistemas abertos* que, diferentemente dos *sistemas fechados*, propostos e descritos pela termodinâmica clássica, necessitam de fluxo contínuo de matéria e energia para se autoperpetuarem e se auto-regularem, o que é extraído dos ambientes que os cercam (SILVA e FILHO, 2007).

De acordo com Esteves e Vasconcellos (2003), a termodinâmica, em vez de focalizar os elementos individuais, as moléculas, passou a trabalhar com variáveis associadas à população de moléculas, ao conjunto dos elementos.

Podemos declarar, com características da ciência moderna, que este esquema de unidades isoláveis atuando segundo a causalidade em um único sentido mostrou-se insuficiente. Daí o aparecimento em todos os campos da ciência de noções tais como totalidade, holístico, organísmico, gestalt, etc., significando todas que, em última instância, temos de pensar em termos de sistemas de elementos em interação mútua (BERTALANFFY, 1977).

Paulatinamente, os conceitos presentes na Teoria Geral do Sistema se estenderam ao campo geográfico. Primeiramente, Richard J. Chorley introduz a *Teoria do Sistema de Erosão* na Geomorfologia e, posteriormente, sendo utilizada na Geografia.

Pode-se dizer que é a partir de uma crítica ao reducionismo e na busca de uma unicidade nas ciências que Bertalanffy legitimou sua abordagem dos sistemas. Em sua obra intitulada *Teoria Geral dos Sistemas* Bertalanffy reafirma a idéia de

uma abordagem unificadora, citando em sua argumentação: Bode, Mosteller, Tukey e Winsor.

Muitas vezes ouvimos dizer que “um único homem não pode mais abranger um campo bastante amplo” e que há demasiada especialização estreita”... Precisamos de uma abordagem mais simples, mais unificada dos problemas científicos, precisamos de homens que pratiquem a ciência e não de uma ciência particular, numa palavra precisamos de generalistas científicos (BODE e COL.,1949 *apud* BERTALANFFY, 1977).

A abordagem sistêmica é representada pela forma de compreensão do espaço geográfico como um todo, pois, *homem* e *natureza* são considerados como partes de um complexo sistema de interação, no qual não se pode compreender os elementos isoladamente.

A abordagem sistemática serve ao geógrafo como instrumento conceitual que lhe facilita tratar dos conjuntos complexos, como os da organização espacial. A preocupação em focalizar as questões geográficas sob a perspectiva sistêmica representou característica que favoreceu e dinamizou o desenvolvimento da Nova Geografia (CHRISTOFOLETTI,1982).

### **3.2. Planejamento ambiental**

Os estudos atrelados ao planejamento ambiental têm por finalidade definir a ordenação territorial a partir da idéia de se reduzir as alterações ambientais ocasionadas pelo uso da terra. O planejamento ambiental, em relação à abrangência geográfica, é normalmente utilizado em áreas de escalas grandes a médias (bacias hidrográficas, municípios ou zonas), por causa de questões técnicas como detalhamento das informações, custos operacionais e eficácia na fiscalização.

Para Kozel (2002), os estudos regionais apresentam os recortes físicos e humanos sem discutir as manipulações espaciais existentes nas várias escalas geográficas, o que comumente acontece ao se estabelecer diferentes recortes espaciais quando os critérios e as condições são acolhidos de acordo com interesses e ideologias vigentes.

O planejamento ambiental ou territorial é uma atividade intelectual por meio da qual se analisam os fatores físico-naturais, econômicos, sociológicos e políticos de uma zona (um país, uma região, uma província, um município, etc.) e se estabelecem as formas de uso do território e de seus recursos na área considerada (CENDRERO, 1982 *apud* BOTELHO, 2005).

A questão da erosão dos solos é de essencial importância no planejamento ambiental, pois áreas de forte erosão podem representar entraves na ampliação e melhoramento na produtividade agrícola de uma determinada área.

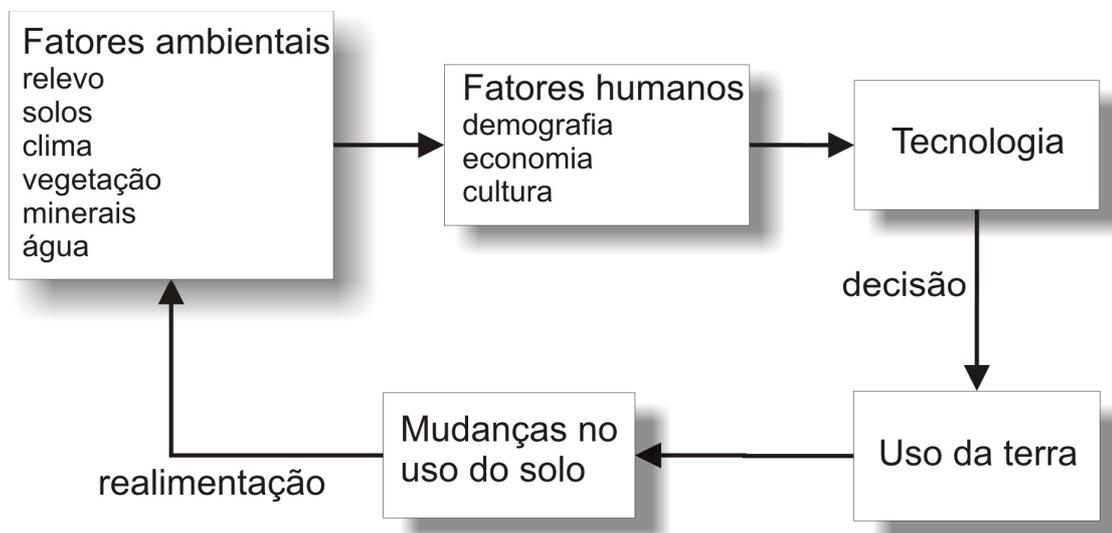
As pesquisas básicas associadas à erosão dos solos são fundamentais tanto para as práticas agrícolas como para subsidiar o planejamento ambiental, onde as práticas econômicas devem ser calcadas em princípios conservacionistas. Assim sendo, essas preciosas informações podem ser usadas como suporte quantitativo à análise até então feita de forma qualitativa para a fragilidade dos ambientes naturais (ROSS, 1996).

Para Mafra (2005), a erosão, no contexto do planejamento territorial, é vista por três momentos distintos de perspectivas:

- num primeiro momento (relativo à fase de inventário das condições físicas do território), a erosão reconhecida como causa da degradação das terras passará a ser inventariada quanto às manifestações visíveis na forma de morfologias erosivas;
- num segundo momento, a erosão passa a ser considerada como fator de limitação à capacidade de uso e, portanto, será avaliada como subclasse no *Sistema de Avaliação de Capacidade de Uso*;
- e, num terceiro momento, a erosão passa a ser entendida dentro do processo de *planificação* como um fator a ser estudado com base em suas causas e em suas implicações, ligado à degradação das terras.

Para realizar o trabalho de planejamento ambiental é necessário conceber as interações ambientais além do quadro físico, pois, como dito anteriormente, as interações ambientais são influenciadas pelas questões socioeconômicas. Drew (1989) expõe as interações homem-natureza representada por um ciclo contínuo de fluxos. Em relação ao quadro econômico, a aplicação de maior ou menor capital será

determinante, pois é a partir do capital que se dará a possibilidade de maior alteração do meio natural pelas novas tecnologias (Fig.2).



**Figura 2** – Interação do homem com o ambiente natural.  
Fonte: Adaptado de DREW, 1989.

O desenvolvimento do agronegócio tem levado a um quadro predatório dos recursos naturais, pois na medida em que se aumenta o capital investido neste sistema, também há proporcionalmente a transformação de ambientes naturais em áreas agrícolas. Com isso, gerando-se novos impactos ambientais pelos processos de degradação dos solos decorrentes do uso intensivo do solo agrícola e de seus recursos naturais.

A ocupação desordenada do solo em bacias hidrográficas, com rápidas mudanças decorrentes das políticas e dos incentivos governamentais, agrava seus desequilíbrios. Dentre as atividades que causam degradação podem ser citadas as práticas agrícolas, desmatamento, mineração, superpastoreio e urbanização. O mau uso da terra, desmatamento, mecanização intensa, monocultura, descalçamento e corte das encostas para a construção de casas, prédios e ruas são exemplos de atividades humanas que desestabilizam as encostas e promovem ravinas, voçorocas e movimento de massa (GUERRA e CUNHA, 1996, p.360).

Nesta mesma linha de pensamento, a expansão do agronegócio, desenvolvido principalmente por empresas multinacionais, vem expulsando o pequeno agricultor do meio rural, que não tendo alternativa acaba migrando para os

grandes centros urbanos. Nas cidades, devido à valorização de imóveis em bairros centrais e nobres, o agricultor se obriga a morar nas periferias das grandes cidades, longe de qualquer serviço básico.

Além de se tratar de um problema social, o êxodo rural proporciona um efeito em cascata, pois, novas áreas terão de ser urbanizadas para acomodar a população expulsa do campo, o que provoca o desmatamento de áreas de mata nativa. Também se destaca a ocupação de encostas de morros, geralmente suscetíveis à erosão e ao desmoronamento e, ainda, de áreas de nascentes, o que provoca a contaminação pelo esgoto doméstico.

Os processos de urbanização e industrialização têm tido um papel fundamental nos danos ambientais ocorridos nas cidades. O rápido crescimento causa uma pressão significativa sobre o meio físico urbano, tendo as conseqüências mais variadas, tais como: poluição atmosférica, do solo e das águas, deslizamentos, enchentes etc. (GUERRA e MARÇAL, 2006).

Outros impactos ambientais ocorrem nas áreas urbanas decorrentes da ocupação territorial: a mudança da paisagem natural para um ambiente construído, de concreto, artificial, desencadeia mudanças na hidrologia, nos solos, na biogeografia local e na paisagem, podendo se citar como exemplo a mudança no padrão hidrológico, a qual pode ocasionar um aumento na freqüência das enchentes, mesmo com valores moderados de precipitação.

Além das alterações na geometria das vertentes pela criação das superfícies planas, observa-se a impermeabilização destas áreas decorrentes principalmente do material superficial para construção dos arruamentos e das moradias e posteriormente das edificações. Como resultado da ocupação, ocorre a instalação de pequenos sulcos erosivos no arruamento após um evento chuvoso, principalmente em vias que acompanham o declive da vertente (FUJIMOTO, 2003, p.49).

Diferentemente das áreas urbanas, os problemas ambientais no meio rural estão associados à falta de práticas de conservação dos solos, tipo de uso da terra, e da omissão em relação à legislação ambiental.

As taxas de erosão nas áreas rurais aumentam, em frequência e magnitude, em especial nos terrenos que são deixados descobertos durante uma boa parte do ano ou naquelas áreas onde há o superpastoreio, aumentando a densidade do solo, com excessivo pisoteio do gado. Todas essas práticas tendem a elevar as taxas de erosão acelerada (GUERRA e MENDONÇA, 2004).

As taxas de erosão estão diretamente relacionadas com o uso do solo. Em pesquisa realizada por Lepsch (1977), áreas de mata apresentam uma perda de solo de 4Kg/ha/ano; áreas de pastagens 700Kg/ha/ano; áreas de cafezal de 1.000Kg/ha/ano; e áreas cultivadas por algodão de 38.000Kg/ha/ano.

Estes dados (Tab.1) revelam o quanto as modificações no uso do solo podem influenciar as taxas de erosão do solo. Nas áreas de culturas anuais, além de não se utilizar a técnica do plantio direto, também durante a época de colheita deixa-se o solo exposto por período considerável. Por outro lado, em áreas de florestas, além da redução na erosividade pelas copas das árvores, forma-se uma cobertura vegetal sobre o solo composta pelas folhas que caem das copas, chamada de serrapilheira.

**Tabela 1** – Perdas de terras associadas ao uso agrícola.

<b><i>Culturas/uso do solo</i></b>	<b><i>Perdas de terra (t /ha/ano)</i></b>
<b><i>Culturas anuais</i></b>	<b><i>(t /ha ano)</i></b>
Arroz	25,1
Milho	12,0
<b><i>Tipos de Ocupação</i></b>	<b><i>(t /ha ano)</i></b>
Pastagem	0,4
Vegetação	0,4
Reflorestamento	0,9
Áreas críticas (estrada e periurbana)	175,0

Fonte: BELLINAZZI, 1981 *apud* SILVA, 2003.

As práticas conservacionistas, como a questão do manejo dos solos para a agricultura, é fator fundamental para conter os efeitos erosivos e poupar os recursos naturais no processo de degradação da qualidade agrícola dos solos (ROSS, 1996).

Percebe-se, portanto, a necessidade de estudos amplos e detalhados, onde devem ser considerados os elementos naturais, sociais e econômicos, para se almejar uma gestão sustentável dos recursos naturais.

Os desequilíbrios ambientais originam-se, muitas vezes, da visão setorializada dentro de um conjunto de elementos que compõe a paisagem. A bacia hidrográfica, como unidade integradora desses setores (naturais e sociais) deve ser administrada com esta função, afim de que os impactos ambientais sejam minimizados (GUERRA e CUNHA, 1996).

O solo é um recurso de grande importância, pois este elemento natural é responsável pela sustentação alimentar da população mundial. Embora seja um recurso vital, assim como a água, o solo é explorado até a sua exaustão em algumas regiões pelo mundo. Cientistas apontam que se persistirem as atuais taxas de erosão, em longo prazo países subdesenvolvidos que já apresentam riscos de segurança alimentar tenderão a tornar este problema ainda mais crônico.

O principal efeito da degradação no meio rural é um declínio na produtividade ou uma necessidade crescente do aporte de nutrientes para manter as mesmas produtividades, uma vez que “os subsolos geralmente contêm menos nutrientes do que as camadas superiores, sendo necessário mais fertilizante para manter a produtividade das culturas. Isso, por sua vez, aumenta os custos de produção. Além do mais, a adição somente de fertilizantes não pode compensar todos os nutrientes que se perdem quando a camada superior erode” (FAO, 1983 *apud* ARAÚJO *et al.*, 2007).

Em estudo realizado pelo UNEP (*United Nations Environment Programme*), Programa de Meio Ambiente da ONU, apontou-se que a quantidade de solos perdidos por erosão, desertificação e arenização no mundo tem aumentado entre 5 a 6 milhões de hectares/ano.

Por volta de 1990, práticas agrícolas inadequadas contribuíram para a degradação de 562 milhões de hectares, aproximadamente 38% dos 1,5 bilhão de hectares de terras agricultáveis no mundo todo (Oldeman, 1994). Algumas dessas terras só estavam levemente degradadas, mas uma quantidade apreciável estava severamente prejudicada, o bastante para danificar sua capacidade produtiva ou para se obter uma produção. Desde

então, as perdas continuam a crescer, com 5 a 6 milhões de hectares apresentando degradação severa todos os anos (UNEP, 1997 *apud* ARAÚJO *et al.*, 2007).

### 3.2.1. Dinâmica da paisagem

Para explicar a dinâmica da paisagem frente às mudanças ambientais impostas pela ação antrópica, adota-se como método apropriado aos estudos geoambientais, o conceito de ecodinâmica de Tricart (1977).

No qual, segundo Almeida *et al.* (2008) a classificação proposta por Tricart (1977), a partir da intensidade das ações antrópicas sobre os ambientes mutantes, distingue três grandes tipos geodinâmicos. Os critérios taxonômicos baseiam-se em características geomorfológicas, tipos de influência da morfogênese sobre a pedogênese, influências litológicas e conseqüências gerais para a conservação do meio ambiente e usos agrícola.

Tricart (1977) propôs uma metodologia para classificação do ambiente com base no estudo da dinâmica dos ecótopos, a qual denominou de ecodinâmica. A premissa básica é que a dinâmica do ambiente onde incluem-se os ecossistemas é tão importante para a conservação e o desenvolvimento dos recursos ecológicos, quanto para a dinâmica das próprias biocenoses. O conceito de ecodinâmica está intimamente relacionado ao conceito de ecossistema, ou seja, baseia-se na abordagem sistêmica e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia-matéria no ambiente (MEDEIROS, 1999).

Portanto, a ecodinâmica baseia-se na distinção dos ambientes naturais em sistemas estáveis, integrados, e instáveis. Nos quais estes trocam matéria e energia permanentemente e, pelo qual, prevalecendo à morfogênese a tendência é atingir um estágio instável, ou outrora predominando a pedogênese teremos um meio estável.

De acordo com Medeiros (1999) a morfogênese é um dos componentes mais importantes da superfície terrestre, pois nesta ótica da dinâmica do relevo é possível sistematizar os processos atuantes, orientando para uma classificação dos ambientes em dois níveis taxionômicos. Esta classificação é baseada na relação morfogênese/pedogênese, sendo que o primeiro nível de classificação refere-se ao

aspecto da instabilidade ou não, e o segundo nível refere-se à resolução temporal. São identificados três grandes tipos de ambientes morfodinâmicos, em função da intensidade dos processos atuais, a saber: ambientes estáveis, ambientes intermediários e os ambientes fortemente instáveis (Tricart,1977).

Os sistemas ecodinâmicos apresentam variações e/ou flutuações no fornecimento de matéria e energia, embora os mecanismos de ajustamento interno dos mesmos tamponem, regularmente, dentro de determinada faixa de amplitude, as variações externas, controlando o sistema para evitar a ocorrência de modificações em seu estado, mantendo o equilíbrio dinâmico do sistema. Ocorre, porém, que certos condicionantes externos e/ou internos podem romper a faixa de amplitude e, por via de consequência, mudar a dinâmica de trajetória dos estados do sistema (Almeida *et al.*, 2008).

Em outras palavras, processos erosivos desencadeados pela mudança no uso da terra podem modificar a classe de um sistema, já que os fluxos de energia e matéria são alterados abruptamente pela ação antrópica. Assim, um meio estável pode, num ritmo acelerado, adquirir características predominantes de morfogênese e passar a ser classificado como um sistema instável.

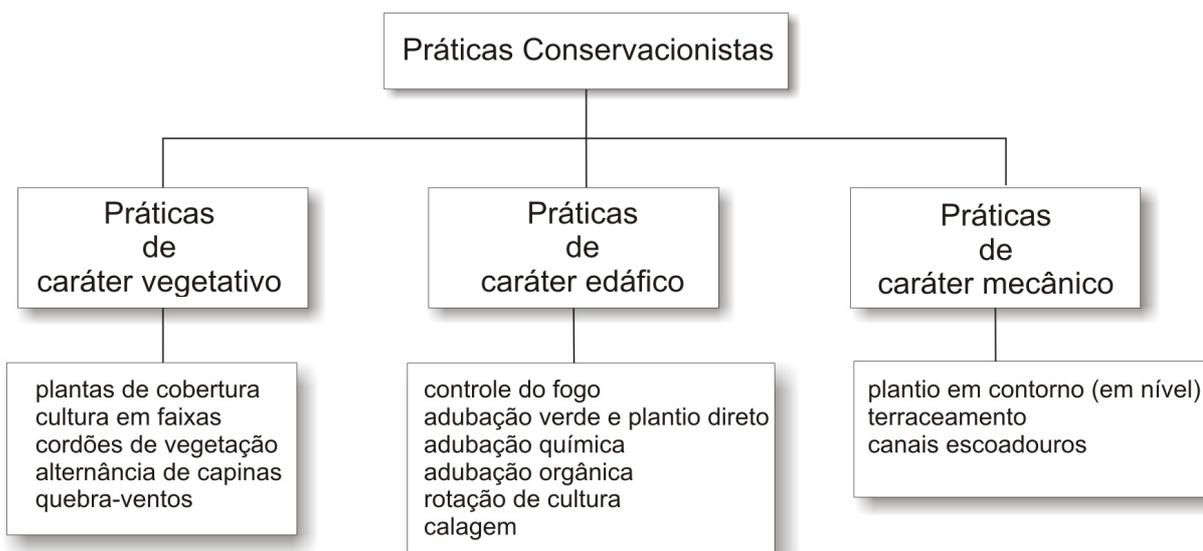
De acordo com Almeida *et al.* (2008) para a avaliação de um sistema é levado em consideração o ritmo (lento, moderado e taquilético), regime e o nível de influência biótica, pedogênica, morfogênica, climática e hidrológica (alta, moderada, mínima, nula).

Portanto, para o desenvolvimento de estudos no âmbito do planejamento ambiental devem-se considerar os elementos do meio físico e as possíveis alterações ambientais impostas pela ação antrópica.

### **3.2.2. Práticas conservacionistas**

As técnicas ou práticas de conservação dos solos visam minimizar as alterações decorrentes pelo uso agrícola. Embora, sua aplicação enquanto técnica de recuperação extrapole o campo da agricultura, ou seja, também é utilizada em áreas degradadas não-agrícolas.

Entre as práticas de conservação distinguem-se as de caráter vegetativo, edáfico e mecânico. De acordo com Salomão (2005) as técnicas de caráter vegetativo e edáfico são de mais fácil aplicação, menos dispendiosas e mantêm os terrenos cultivados em condições próximas ao seu estado natural [...] Ao passo que, as técnicas mecânicas são utilizadas em terrenos muito suscetíveis à erosão.



**Figura 3** – Práticas conservacionistas.

Fonte: Adaptado de SALOMÃO, 2005.

### 3.3. Legislação ambiental

Em nosso país há um déficit no controle e fiscalização pelos órgãos ambientais, os quais são responsáveis pela normalização das atividades humanas que proporcionem impactos ao meio ambiente. Com isso, devido às deficiências de controle, logística e fiscalização destas atividades, muitos infratores do código ambiental continuam a praticar danos ao meio ambiente, além de gerar uma sensação de impunidade perante a sociedade. Em alguns casos, a dimensão continental de nosso país dificulta a fiscalização, bem como em áreas de difícil acesso em florestas densas. Exemplos clássicos de agressão ao meio ambiente no Brasil são os madeireiros no norte do país, os agricultores no centro-oeste e os pecuaristas do sul.

A legislação ambiental representa o aparato legal de normas que visam à proteção ao meio ambiente. O código florestal, por exemplo, institui, entre outras, as áreas de proteção permanentes (APPs) para a cobertura vegetal.

Entre os diversos tipos de vegetação, a mata ciliar é, sem dúvida, o conjunto vegetal mais impactado pela ação humana, isto por causa de sua localização geográfica, pois ocorrem próximas de rios, de lagos e de vales úmidos, locais estes preferidos para a ocupação de núcleos urbanos devido às facilidades de acesso aos recursos hídricos e pelo relevo suave.

A mata ciliar é uma formação vegetal que está associada aos cursos d'água, cuja ocorrência é favorecida pelas condições físicas locais, principalmente relacionadas a maior umidade do solo. Essas áreas são de fundamental importância no gerenciamento ambiental, pois, além de contribuírem para a manutenção da qualidade dos recursos hídricos, funcionam como corredores úmidos entre as áreas agrícolas, favorecendo a proteção da vida silvestre local (EMBRAPA, 2006).

### **3.3.1. Áreas de preservação permanente (APPs)**

De acordo com a Lei nº 4.771/65 – Código Florestal Brasileiro –, instituiu-se com zonas de preservação permanente as florestas e vegetações com os seguintes parâmetros:

*I. Ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será:*

*a) de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;*

*b) de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;*

*c) de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;*

*d) de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;*

e) de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

II. Nas nascentes, ainda que intermitentes, e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;

III. Nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;

Considera-se, quando declarada pelo Poder Público, áreas de preservação permanente as florestas e demais formas de vegetação natural destinadas:

- a) a atenuar a erosão das terras;
- b) a manter o ambiente necessário à vida das populações silvícolas.

Na imagem a seguir (Fig.4) é possível visualizar um exemplo prático da Lei nº 4.771/65, que se refere à vegetação em torno dos cursos d'água e áreas de preservação permanentes (APPs).



**Figura 4** – Áreas de preservação permanente referentes à mata ciliar.  
Fonte: SEMA/PR, 2007.

### 3.4. Ciência, técnica e tecnologia de representação do espaço

#### 3.4.1. Cartografia

No século XVIII, durante o apogeu dos Estados Nacionais na Europa, surgiram inúmeros confrontos e guerras entre as nações europeias, sendo assim de grande importância para os militares, neste período, o conhecimento cartográfico e topográfico do terreno no planejamento dos *fronts* de guerra.

[...] cada vez mais se necessita de elementos que pudessem ser extraídos dos mapas com precisões adequadas aos interesses dos usuários. Assim, por exemplo, a precisão e o detalhamento dos mapas que foram sendo aprimorados a partir do século XVIII serviram para aumentar o poder de domínio dos países colonizadores (FITZ, 2008a).

A cartografia temática se popularizou a partir dos séculos XVIII e XIX, sendo de prioridade de militares, navegadores e governos. Esta vem a princípio solucionar o problema do excesso de dados num mapa, surgindo assim mapas especializados como os mapas demográficos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos, agrícolas, etc.

O objetivo dos mapas temáticos é o de fornecer, com o auxílio de símbolos quantitativos e/ou qualitativos dispostos sobre uma base de referência, geralmente extraída dos mapas topográficos ou dos mapas de conjunto, uma representação convencional dos fenômenos localizáveis de qualquer natureza e de suas correlações. A cartografia temática diferencia-se principalmente pela importância da análise dos dados nela contidos. Contrapondo as cartas topográficas essencialmente geodésicas e descritivas (JOLY, 1990).

Nas palavras de J. Morrison (*apud* SALICHTCHEV, 1988) a cartografia é a ciência da transmissão gráfica da informação espacial e os mapas são os meios de transmissão. Através da automação e sobreposição de informações teremos o princípio dos sistemas de informação geográficos.

Assim, os preceitos dos Sistemas de Informação Geográficas estão intrinsecamente relacionados com o desenvolvimento metodológico e operacional da

cartografia moderna. Tendo, com isso, desde o desenvolvimento da cartografia temática uma preocupação, por parte de cartógrafos e geógrafos, em como desenvolver métodos operacionais práticos na elaboração de mapas de sínteses.

### **3.4.2. Síntese cartográfica**

A elaboração de um produto de síntese precede a confecção de mapas analíticos (geomorfologia, solos, vegetação, declividade etc.) para que, posteriormente, se possa sintetizá-los através de uma metodologia e de procedimentos operacionais adequados.

Os produtos cartográficos de síntese são elaborados a partir dos analíticos e apresentam-se de forma variada, pois dependem da finalidade do estudo. Basicamente apresentam informações que representam as potencialidades e/ou fragilidades do território frente as características da ocupação do território e prognósticos face a dinâmica do uso e ocupação da terra (FUJIMOTO, 1999).

Na proposta de Fujimoto (1999) um produto que pode ser gerado a partir dos mapas analíticos é um mapa analítico-sintético, quando o território estudado requer uma espacialização sintetizada dos fatos geoambientais.

As pesquisas no âmbito da cartografia (automatizada ou manual), indiferentemente de suas aplicações, apresentam duas metodologias básicas, segundo se retira do ensinamento de Ross (1995 *apud* FUJIMOTO, 1999), para quem existem dois procedimentos metodológicos operacionais básicos para gerar produtos com dados georreferenciados.

Um dos procedimentos tem como característica elaborar produtos temáticos analítico-sintéticos, que tanto podem ser gerados por geoprocessamento através da interpretação automática, como executados a partir de análises convencionais (levantamento de campo; interpretação visual de produtos de sensoriamento remoto). O outro procedimento metodológico e operacional é multitemático, caracterizado por gerar produtos analíticos em uma primeira fase e de síntese posteriormente (ROSS, 1995 *apud* FUJIMOTO, 1999).

A seguir é apresentado um esboço das metodologias de produção cartográfica propostas por Fujimoto (1999):

a) **Analítico-sintéticos**: É a base para o início da pesquisa. Neste processo gera-se um único produto cartográfico representado por várias “unidades básicas de paisagem” que trazem consigo características do relevo, solo, geologia, vegetação, uso da terra e/ou questões sócio-econômicas, que são apresentados de forma integrada. Este procedimento é recomendado para as regiões que desejam ter uma análise integrada com informações sintetizadas de suas características geoambientais, para, através de programas e/ou projetos específicos, encaminhar políticas sócio-ambientais de acordo com suas necessidades gerenciais.

b) **Multitemático**: Trata-se de temas da natureza e da sociedade, tais como: geologia, geomorfologia, climatologia, recursos hídricos, história da ocupação, uso da terra, legislação, entre outros.

### 3.4.3. Geotecnologias

Embora não haja um consenso em relação ao conceito de geotecnologia, tende-se a considerá-la como a tecnologia que visa compreender a espacialidade dos fenômenos naturais e da sociedade. Por sua vez, estas tecnologias são ferramentas de análise espacial, como, por exemplo, os Sistemas de Informação Geográficas (*SIGs*), o sensoriamento remoto, a cartografia digital, o sistema de posicionamento global (*GPS*), a análise tridimensional de relevo e os acessórios de topografia.

As geotecnologias podem ser entendidas como as novas tecnologias ligadas às geociências e correlatas, as quais trazem avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processos de gestão, manejo e em tantos outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico (FITZ, 2008b).

Alguns autores consideram o termo geotecnologia atrelado somente aos Sistemas de Informação Geográficas (*SIGs*). Porém, contrapondo esta idéia, sabe-se que as geotecnologias são ferramentas tecnológicas de cunho espacial, entre os

quais estão os *SIGs*, os softwares de cartografia digital, de sensoriamento remoto e dos sistemas de posicionamento.

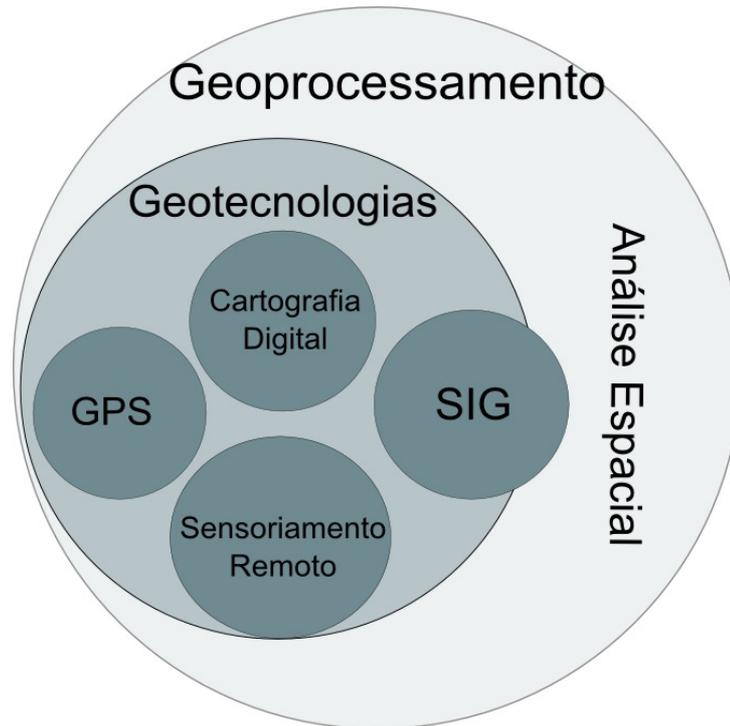
Na definição de Carvalho *et al.* (2000) o geoprocessamento deve ser considerado como o conjunto de ferramentas tecnológicas ligado a análise geográfica, colocando, assim, os Sistemas de Informação Geográficas (*SIGs*) como parte integrante do geoprocessamento.

Geoprocessamento é um termo amplo, que engloba diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos, através de programas computacionais. Dentre essas tecnologias, se destacam: o sensoriamento remoto, a digitalização de dados, a automação de tarefas cartográficas, a utilização de Sistemas de Posicionamento Global – GPS e os Sistemas de Informação Geográficas – SIG. Ou seja, o SIG é umas das técnicas de geoprocessamento, a mais ampla delas, uma vez que pode englobar todas as demais, mais nem todo o geoprocessamento é um SIG (CARVALHO *et al.*, 2000).

Por sua vez, os Sistemas de Informação Geográficas são *softwares* de manipulação de informações geográficas, no qual apresentam em sua estrutura os seguintes mecanismos: entrada de dados, armazenagem de banco de dados, análise espacial e saída cartográfica.

O SIG é um conjunto de funções de amplas aplicações espaciais, voltadas para a integração de dados, que agrupam idéias desenvolvidas em diferentes áreas, tais como na agricultura, botânica, computação, economia, matemática, fotogrametria, cartografia e principalmente na geografia. (FERREIRA, 1997).

Como visto anteriormente, muitos são os conceitos sobre as geotecnologias e seus correlatos, porém para simplificar o entendimento deste quadro teórico tomase como base a proposta exposta (FITZ, 2008b) no gráfico a seguir (Fig.5). No qual a geotecnologia é composta por equipamentos tecnológicos, entre os quais *softwares* de informações espaciais (*SIG*), sistemas de posicionamento (*GPS*), *softwares* de cartografia (*Mapper Desktop*) e de sensoriamento remoto.



**Figura 5** – Esquema teórico do geoprocessamento.

Fonte: Adaptado de (FITZ, 2008b).

Ampliando o conceito de geoprocessamento, Xavier-da-Silva e Zaidan (2004) reiteram a importância e aplicação do geoprocessamento como ferramenta de planejamento.

O geoprocessamento pode ser definido como uma tecnologia, isto é, um conjunto de conceitos, métodos e técnicas erigido em torno de um instrumental tornando disponível pela engenhosidade humana. A origem da tecnologia pode estar ligada a uma finalidade principal, porém é frequentemente que aplicações correlatas se desenvolvem em função de interesses posteriores. É o caso do geoprocessamento, originalmente (a até hoje) ligados às atividades bélicas, em associação com o sensoriamento remoto, para a obtenção de dados ambientais atualizados, visando à execução de análises da distribuição territorial de eventos e entidades de interesse militar. Atualmente, o geoprocessamento apresenta uso crescente para fins não militares. (XAVIER-da-SILVA e ZAIDAN, 2004).

Xavier-da-Silva e Zaidan (2004), todavia, advertem que o geoprocessamento não deve ser visto apenas como um meio de vida (visão, aliás, legítima, em certa medida), mas também como uma tecnologia a serviço da qualidade da vida humana.

[...] é um equívoco pensar que o uso das novas tecnologias por si só contribua para o desenvolvimento do pensamento geográfico. Sabemos que o raciocínio espacial não resulta tão-somente da presença das técnicas e, em especial, das novas tecnologias no âmbito do ensino e na pesquisa geográfica. Para que o “saber pensar o espaço geográfico” seja efetivo é necessário que se considerem as categorias e os conceitos científicos básicos à construção do conhecimento e do raciocínio geográficos. (SILVA, 2006).

Hoje a demanda ocorre em relação aos Sistemas de Informação Geográficas (*SIGs*), no qual através destes *softwares* se pode armazenar uma gama de dados considerável, bem como trabalhar com uma alta precisão em relação aos mapas antigos. Assim, pode-se considerar os *SIGs* como uma ferramenta de fundamental importância no planejamento territorial.

O crescimento das geotecnologias se dá, conforme Ferreira (2007), por três fatores *tecnoeconômicos*: expansão dos investimentos em informática, produção de microprocessadores com capacidade de processamento cada vez mais rápida e a acentuada queda nos preços dos microcomputadores e seus periféricos.

É inegável que o Geoprocessamento criou, para a pesquisa ambiental, uma dependência para com o processamento automático de dados. Entretanto, é inegável que o uso da computação eletrônica causou um desenvolvimento enorme e a absolutamente desejável, em termos teóricos, relativo à capacitação para a inspeção de incidências locacionalmente convergentes de ocorrências de fenômenos ambientais. (XAVIER-da-SILVA e ZAIDAN, 2004).

Os Sistemas de Informação Geográficas se consolidaram nas universidades, em instituições públicas e privadas como uma ferramenta de planejamento e análise ambiental, mas ainda as suas aplicações continuam sendo utilizadas, na maioria das vezes, somente em estudos sobre o meio físico e/ou ambientais (unidades de paisagem, geomorfologia, recursos minerais e aptidão agrícola), embora outras abordagens em geoprocessamento venham sendo utilizadas, como é caso de aplicações em estudos de planejamento urbano,

*geomarketing* e análise de redes de transportes, principalmente por geógrafos humanos.

### **3.5. Hidrogeografia**

#### **3.5.1. Bacia hidrográfica**

É a partir da energia provida pelo Sol que se inicia o ciclo hidrológico. Por causa deste ciclo contínuo, mares, oceanos, lagos e rios estão interconectados e compartilhando a mesma quantidade de água. Essa troca de matéria e energia se dá através dos processos hidrológicos de evaporação, precipitação, infiltração, escoamento superficial e subterrâneo.

A energia necessária para este ciclo provém do calor solar, e assim, por um número infinitamente grande de vezes, uma molécula de água é evaporada do oceano e a ele retorna, precipitada pela chuva, podendo cair no continente, infiltrando-se solo adentro, ser absorvida por uma planta qualquer que em pouco tempo devolverá a mesma molécula à atmosfera, podendo então, diretamente ou indiretamente, por meio dos regatos e rios retornar ao oceano (LEINZ e AMARAL, 2003).

Neste contexto, a bacia hidrográfica representa a área geográfica de compartilhamento da bacia de drenagem, isto é, a área de interconexão das redes hídricas superficiais e subsuperficiais do terreno. A bacia hidrográfica tem como característica apresentar pontos de entrada (*input*) e de saída (*output*) de energia e matéria. Por isso, esta unidade geográfica é considerada um sistema aberto, pois à medida que recebe as precipitações em sua área, capta-as e as expulsa através de seu exutório, respectivamente, pelos pontos de *input* e *output*.

Entende-se como uma bacia hidrográfica ou bacia de drenagem a área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários, sendo limitada pelos divisores de água. A bacia hidrográfica é uma célula natural que pode, a partir da definição do seu *outlet* ou ponto de saída, ser delimitada sobre uma base cartográfica que contenham cotas altimétricas, como as cartas topográficas, ou que permita uma visão tridimensional da

paisagem, como fotos aéreas. Ainda conforme Silveira (1993) pode ser compreendida como uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída (BOTELHO, 2005).

Pelas suas características hidrológicas a bacia hidrográfica é definida como um sistema aberto. Esta peculiaridade, associada às características topográficas e de declividade, permitem afirmar que os desequilíbrios ambientais observados em determinado ponto da bacia hidrográfica estão geralmente associados às mudanças ambientais em áreas situadas à montante destas, isto é, o assoreamento de um determinado trecho de um rio tem sua gênese em áreas erosivas localizadas a montante deste ponto, representando, assim, um sistema de causa e efeito.

A importância dos processos físico-químicos de uma bacia hidrográfica e sua relevância, enquanto unidade de planejamento, é defendida por diversos cientistas, como se pode constatar a seguir.

Pesquisadores como (LEOPOLDO *et al.*, 1964; CHORLEY, 1969; SHUMM, 1997; OYEBANDE e AYOADE, 1986; COOKE e DOORNKAMP, 1990; LOMBARDI NETO *et al.*, 1995; RESENDE *et al.*, 1995; BOTELHO, 1996; FREITAS e KERR, 1996) chamam atenção para a bacia hidrográfica como unidade natural de análise da superfície terrestre, onde é possível reconhecer e estudar as inter-relações existentes entre os diversos elementos da paisagem e os processos que atuam na sua esculturação. Compreendida dessa forma, a bacia hidrográfica passa também a representar uma unidade ideal de planejamento de uso das terras. Tendo sua delimitação baseada em critérios geomorfológicos, as bacias de drenagem levam vantagens sobre unidades de planejamento definidas por outros atributos, cujos traçados dos limites podem ser bastante imprecisos, como, por exemplo, unidades definidas por atributos climáticos, ou, ainda, baseadas nos tipos de vegetação, que pode não cobrir a paisagem de modo contínuo (BOTELHO, 2005).

Pelas características peculiares de uma bacia hidrográfica ela vem sendo adotada como unidade básica em diversos estudos de planejamento ambiental. Esta unidade geográfica representa a complexidade das interações hidrológicas e geomorfológicas, além de ser um parâmetro na identificação dos impactos

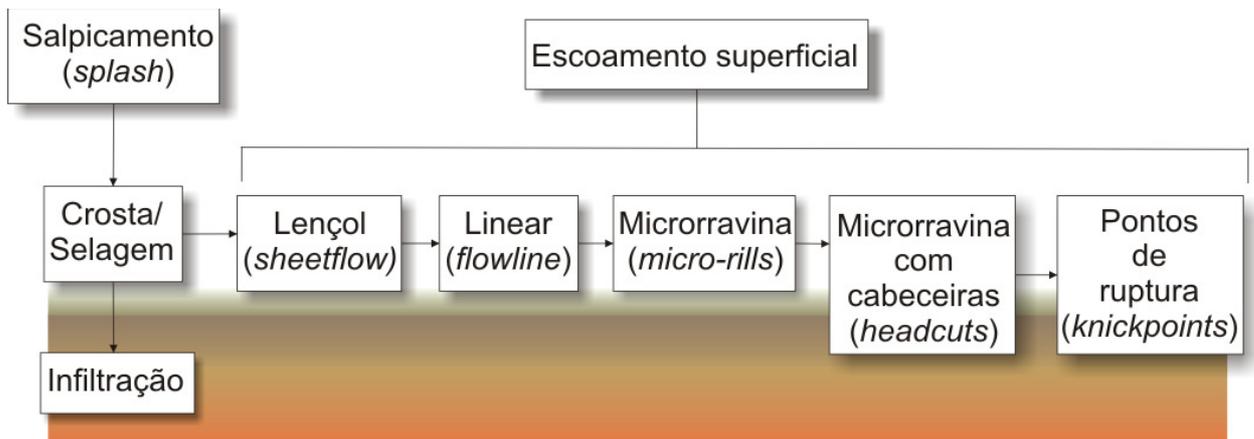
ambientais, pois se pode monitorar o estágio de degradação ambiental através de análise sedimentar, de taxas de erosão, de vegetação e da qualidade das águas.

A erosão dos solos pode ser monitorada, analisada e compreendida em várias escalas; uma delas é a bacia hidrográfica. As relações entre os solos, sua posição nas encostas, bem como o seu gradiente, têm sido consideradas, quando se trata de mudanças nos perfis dos solos, que variam bastante ao longo de uma encosta. Esse tipo de abordagem tem permitido considerar a variabilidade de solos e forma das encostas no contexto das bacias hidrográficas (GUERRA e MENDONÇA, 2004).

### 3.5.2. Processos hidrológicos

É através da ação direta das chuvas sobre o solo que se desenvolvem os processos erosivos de caráter hídrico. As gotas de chuva ao colidirem contra o solo, por salpicamento (*splash*), proporcionam a desagregação das partículas do solo, provocando, pela força da erosão das chuvas, a chamada erosividade.

No gráfico a seguir (Fig.6) é apresentado o esquema teórico dos processos hidrológicos e erosivos atuantes na paisagem.



**Figura 6** – Processos hidrológicos e correlação com os processos erosivos.  
Fonte: Adaptado de GUERRA, 2005.

À medida que os agregados se rompem no topo do solo vai ocorrendo a formação de crostas, as quais eventualmente provocarão a selagem dos solos (GUERRA, 2005).

A partir deste ponto, a água das chuvas toma dois rumos: ou ela se infiltrará no solo, ou poderá escoar-se sobre o terreno. Esta mudança na sua trajetória dependerá das características topográficas, dos pontos de fraturas das rochas, da porosidade e saturação dos solos, da declividade e morfometria do relevo.

Dependendo das características do microrrelevo, o escoamento poderá desenvolver-se com diferentes padrões. Primeiramente, o deslocamento horizontal das águas se dará pelo escoamento em lençol ou laminar (*sheetflow*), que ocorre após a saturação do solo. Na lição de Merritt (1984 *apud* GUERRA, 2005), o fluxo em lençol pode ser considerado o primeiro estágio do processo erosivo, compreendendo um fluxo mais ou menos regular que desce por uma superfície com poucas irregularidades, sendo um fluxo laminar.

À medida que as águas transitam sobre superfícies irregulares do terreno, a lâmina d'água tende a gerar fluxos concentrados, também chamados de fluxos lineares (*flowline*). Este tipo de fluxo linear tende a “escavar” o solo e, posteriormente, originar a formação de ravinas sobre o terreno.

Leciona Guerra (2005) que as microrravinas com cabeceiras (*headcuts*) constituem o quarto estágio na evolução das ravinas [...] onde estas tendem a coincidir com um segundo pico de produção de sedimentos, resultantes da erosão ocorrida dentro das ravinas. Ainda segundo este autor, os pontos de ruptura (*knickpoints*) seguem uma evolução variada e complexa que inclui seu recuo rápido e bifurcação, os quais estão relacionados à deposição de sedimentos localizada dentro dos canais que estão se formando.

### **3.5.3. Drenagem em bacias hidrográficas**

Ao atingir o solo, a precipitação se acumula sobre o solo escoando em direção a terrenos mais rebaixados, em face da ação da gravidade, em direção das áreas de captação da bacia de drenagem. À medida que a água percorre este caminho, parte dela infiltrará no solo abastecendo o lençol subsuperficial da bacia hidrográfica.

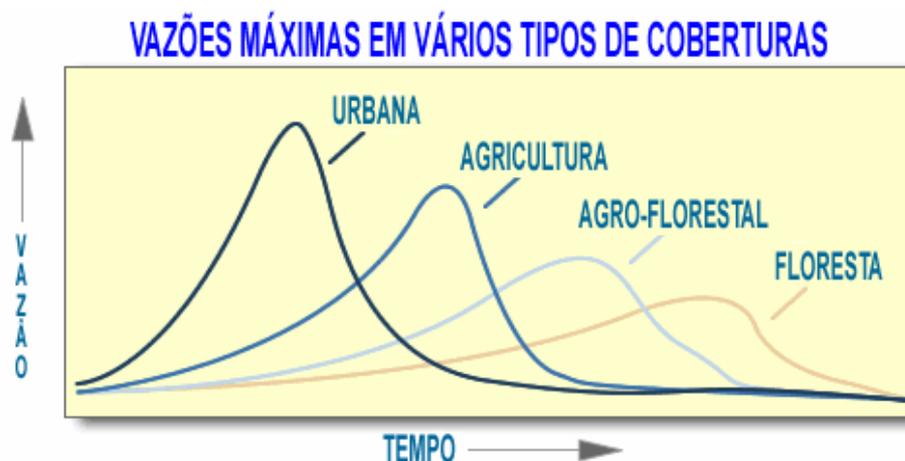
O escoamento superficial é impulsionado pela gravidade para as cotas mais baixas, vencendo principalmente o atrito com a superfície do solo. O escoamento superficial manifesta-se inicialmente na forma de pequenos

filetes de água que se moldam ao microrrelevo do solo. A erosão de partículas de solo pelos filetes em seus trajetos, aliada à topografia preexistente, molda, por sua vez, uma microrrede de drenagem efêmera que converge para a rede de cursos de água mais estável, formada por arroios e rios. A presença de vegetação na superfície do solo contribui para obstaculizar o escoamento superficial, favorecendo a infiltração em percurso (SILVEIRA, 1993).

O comportamento das águas em uma bacia hidrográfica depende das características do meio físico, por exemplo, da estrutura geológica, estrutura dos solos, formas das vertentes, vegetação e uso da terra.

A bacia hidrográfica em ambientes florestados, ou mesmo com atividades agrárias, apresenta funcionamento que muito difere das áreas urbanas. Por mais que as atividades agrícolas sejam responsáveis por uma diminuição na taxa de infiltração de água no solo, ainda há infiltração de uma parcela significativa de água das chuvas. O ciclo hidrológico no ambiente rural (dependendo da atividade e das práticas de manejo adotadas) ainda é próximo, ou mesmo semelhante, ao das áreas florestadas, não havendo grande redução na entrada de água no solo. Porém, em ambientes urbanos, onde há uma expressiva superfície impermeabilizada, ocorre a geração de importantes fluxos superficiais e nenhuma ou quase nenhuma infiltração de água no solo (BOTELHO e SILVA, 2004).

O gráfico a seguir (Fig.7) representa os diferentes padrões de drenagem em uma bacia hidrográfica em relação ao uso da terra. Em áreas urbanas, onde o solo é praticamente substituído por edificações, ruas de revestimento asfáltico e superfícies concretadas, as taxas de infiltração adquirem valores insignificantes, contrapondo ao aumento das taxas de escoamento superficial.



**Figura 7** – Comportamento hidrológico em diferentes áreas de ocupação do solo.  
Fonte: EMBRAPA, 2006.

O processo de urbanização de uma região altera principalmente o regime hidrológico local, em decorrência da impermeabilização de grande porcentagem da superfície do solo. Já no processo de “ruralização” de uma região – transformação de um local anteriormente com vegetação natural em área com pastagem ou alguma cultura agrícola –, o regime hidrológico é alterado em menor intensidade, pois, na maior das hipóteses ainda ocorre alguma infiltração no solo e esta tende a aumentar conforme aumenta a porcentagem de cobertura vegetal, viva ou morta, sobre a superfície do solo (SILVA *et al.*, 2003).

Nas áreas urbanas, o resultado da impermeabilização das superfícies é a ocorrência de enchentes em um período curto de tempo após as primeiras chuvas. As chuvas que se precipitam sobre áreas urbanas são rapidamente escoadas para as bacias de drenagem urbanas, tornando as ruas verdadeiros afluentes. Além disso, as bacias hidrográficas que apresentam intersecção com áreas urbanas transportam metais pesados para as águas dos rios.

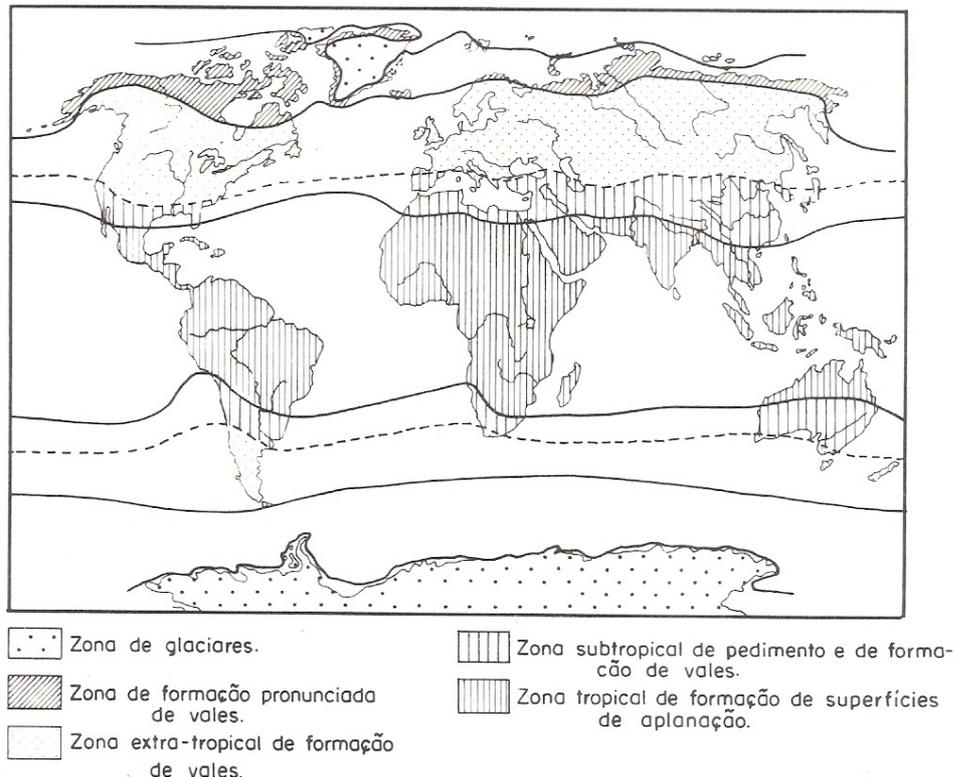
[...] parte dos problemas, volume e qualidade da água nas bacias hidrográficas seria resolvido se a taxa de infiltração nos solos fosse maior. Os programas desenvolvidos no Brasil visando ao planejamento de bacias hidrográficas têm como objetivo principal manter a água dentro da bacia o maior tempo possível, e isso é factível, diminuindo e controlando o escoamento superficial. Alguns programas de microbacias hidrográficas conseguiram reduzir o escoamento superficial, melhorando qualitativamente todo o ambiente da bacia e até mesmo fora dela (BOTELHO e SILVA, 2004).

### 3.6. Climatologia

As condições climáticas de temperatura e umidade possuem a capacidade de modelar à superfície terrestre através dos processos de intemperismo (meteorização) e de erosão (pluvial, eólica e glacial). As variações térmicas, principalmente em áreas áridas, proporcionam a fragmentação mecânica das rochas em partículas menores, enquanto o intemperismo químico, principalmente em áreas úmidas, modifica a composição das rochas através dos processos de dissolução, hidratação, hidrólise e oxidação.

No contexto da geomorfologia climática, os tipos climáticos passaram a ser objeto de preocupação no entendimento da dinâmica e gênese do relevo, definindo-se o modelo da superfície da terra extremamente atrelado às grandes zonas climáticas do globo. Dentro dessa nova direção surgiram os domínios ou zonas morfoclimáticas do relevo terrestre. Seguindo essa linha Tricart e Cailleaux, na década de 1960 propõe a divisão morfoclimática do globo em: *zonas frias*; *zonas florestadas de latitudes médias*; *zonas secas dos trópicos* e das *latitudes mediais*; e *zona intertropical* (ROSS, 2003).

Os processos erosivos têm estreita relação com os ambientes climáticos, o que levou a classificação do relevo segundo os processos de esculturação, as chamadas *zonas morfoclimáticas* (ROSS, 2001).



**Figura 8** – Zonas morfoclimáticas.  
 Fonte: CHRISTOFOLETTI, 1980.

Em outra classificação relativa aos processos esculturais, Strahler (1997) determina as *regiões de erosão e deposição*, onde estas regiões estão relacionadas aos processos geomorfológicos que atuam numa escala geológica recente, modelando a paisagem até sua forma atual. Assim, conforme esta classificação, a área da BHAP se localiza na *região de modelo de clima úmido*, isto é, a zona em que as disposições dos cursos de água permanentes tendem a uma densidade onde pelo menos um dos cursos tenha 16 km e não tenha sofrido com nenhuma glaciação desde o começo do Pleistoceno.

Entre os elementos climáticos, a ação das chuvas constitui num dos principais agentes de desestabilização da paisagem.

As chuvas representam o principal elemento climático altamente relacionado com os desequilíbrios que se registram na paisagem das encostas. Ainda, há de se ressaltar que chuvas concentradas, associadas aos fortes declives, aos espessos mantos de intemperismo e ao desmatamento podem criar áreas potenciais de erosão e de movimentos de massa, fornecedoras de sedimentos para os leitos fluviais (GUERRA e CUNHA, 1996).

A erosividade da chuva é a capacidade desta em promover erosão (Eltz *et al.*, 1977 *apud* CAVICHIOLO, 2005). Lemos e Bahia (1992) destacam que o potencial da chuva em causar erosão é medido pela quantidade, intensidade e duração da mesma.

A erosividade está diretamente relacionada com a energia cinética das gotas de chuva. Por sua vez, a energia cinética das chuvas é dada pela seguinte equação:

$$E_c = m.v^2/2$$

Onde, “ $E_c$ ” é a energia cinética, “ $m$ ” é a massa (kg) e “ $v$ ” a velocidade (m/s).

Mas apenas 2% da energia é utilizado no trabalho erosivo, o restante é dissipado pelo atrito (SELBY, 1994 *apud* OLIVEIRA, 2005).

Embora seja difícil precisar a quantidade de material carregado das vertentes pela saltitação, há dados relativos ao volume material movimentado pelas gotas. W. D. Elisson calcula que uma precipitação de 100 mm pode movimentar mais de 300 t de solo por hectare, e G. R. Free observa que uma chuva de 25 mm provoca o deslocamento de 15 t/ha (CHRISTOFOLETTI, 1980).

### **3.7. Vegetação**

A cobertura vegetal é um dos principais fatores no equilíbrio da paisagem frente aos processos geomorfológicos. Neste sentido, Abdon (2004) leciona que o tipo de cobertura vegetal, na medida em que protege o solo diminuindo o impacto das chuvas sobre ele e interferindo no escoamento superficial, interfere no cálculo da erodibilidade do solo e, conseqüentemente, na estimativa de perda de solo.

Na Tabela 2 é apresentado à relação entre a cobertura vegetal e a porcentagem de perda de solo pela ação do escoamento superficial.

**Tabela 2** – Relação entre a cobertura vegetal e a perda de solo por escoamento.

<b>% de cobertura</b>	<b>% de perda de solo por escoamento</b>
0	3,7
40	1,1
60	0,8

Fonte: Mannering & Fester (1977) *apud* Bolfe (1992).

ROSS (2003) classificou os tipos de cobertura vegetal em relação ao grau de proteção ao terreno, agrupando-os em uma escala que varia de fraca a forte, conforme a Tabela 3.

**Tabela 3** – Proteção do solo em relação à cobertura vegetal/uso da terra.

<b>Graus de Proteção</b>	<b>Tipos de Cobertura Vegetal/Uso da Terra</b>
Forte	Florestas naturais e florestas cultivadas com diversidades de espécies
Médio	Formação arbustiva natural aberta com estrato graminoso e formação natural ou cultivada de gramíneas (pastos)
Fraca	Área desmatada recente e agricultura de ciclo curto (arroz, milho, feijão, soja, trigo)

Fonte: ROSS, 2003.

Entre os tipos de cobertura vegetal se dá destaque a serrapilheira, a qual proporciona, em função de sua decomposição, o fornecimento de nutrientes para o solo. Pela manutenção dos nutrientes presentes no solo permite que este não perca a sua fertilidade natural e, por consequência, mantém-se a estabilidade dos solos frente aos processos erosivos.

A erosão por salpicamento só ocorre quando o solo está desprovido de cobertura vegetal e, principalmente, da camada de serrapilheira (camada de folhas e galhos que caem das árvores) que cobre o solo mineral. Assim, não adiantaria uma cobertura vegetal do tipo florestal pluvial, se não for mantida a camada de serrapilheira, porque uma parte das chuvas não fica retida pelas folhas, galhos e troncos, e cai sobre o solo (*throughfall*). A

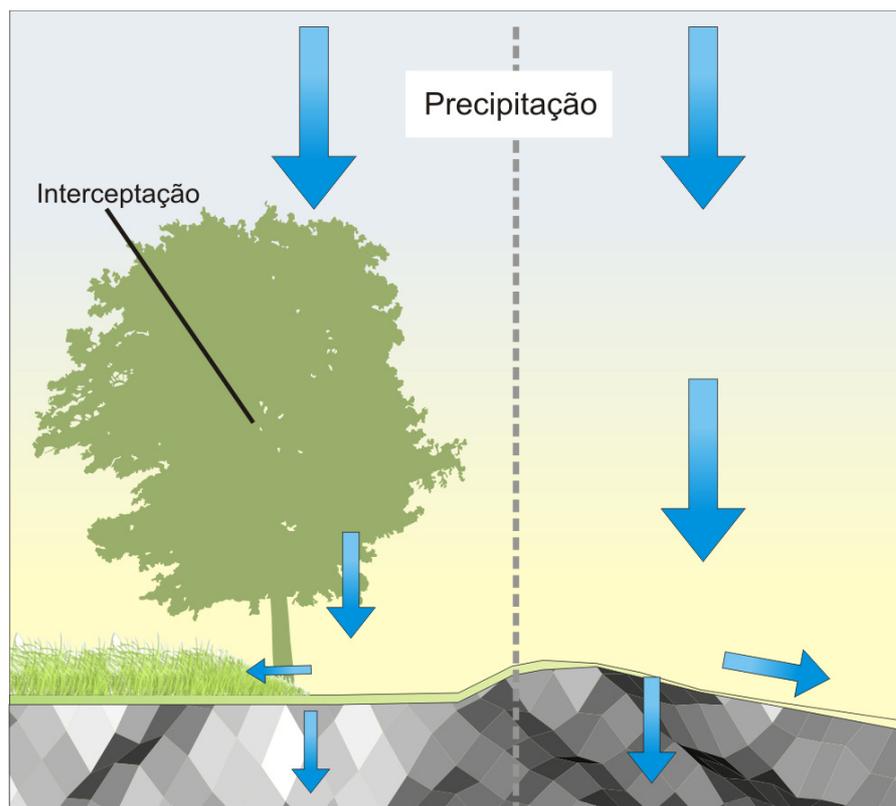
camada de material orgânico vai ser fundamental para absorver o choque das gotas e evitar o impacto sobre a superfície do solo (FARIA, 1996).

### **3.7.1. Interceptação**

A capacidade de interceptação pela vegetação pode chegar a 25% do total das precipitações, podendo variar em decorrência de fatores como a densidade e tipo de vegetação, área das copas das árvores e estágio de crescimento da cobertura vegetal.

A interceptação é a retenção de água da chuva antes que esta atinja o solo. A interceptação é produzida pela cobertura vegetal e armazenamento em depressões. O volume de água retido por interceptação fica disponível para a evaporação, e, portanto, o principal efeito da interceptação em uma bacia é aumentar a evaporação e reduzir o escoamento (COLLISCHONN e TASSI, 2008).

As gotas d'água ao se precipitarem colidem diretamente com o solo. Porém, em áreas providas de cobertura vegetal este trajeto é interceptado pela vegetação, chegando ao solo de forma indireta, o que proporciona a atenuação da força erosiva das chuvas, também chamada de erosividade (Fig.9).



**Figura 9** – Interceptação da vegetação. Dois cenários possíveis para o escoamento superficial: interceptação pela vegetação (esquerda) e impacto das chuvas sobre o solo (direita).  
Organização: Rafael Cruz da Silva.

Segundo Collischonn e Tassi (2008), alguns autores sugerem que se a chuva total de um evento for inferior a 1 mm, ela será interceptada em sua totalidade, e se for superior a 1 mm, a interceptação pode variar entre 10 e 40%.

Para poder quantificar a capacidade de retenção por interceptação se utiliza o *índice de área folhar*<sup>4</sup> (IAF) que, no escólio de Collischonn e Tassi (2008), aponta valores em torno de 2 e 3 obtidos para campos e pastagens; valores em torno de 6 a 9 para florestas, e valores de 0 (durante o preparo de solo) a 6 (no mês de desenvolvimento máximo) em cultivos anuais (Tab.4).

O *Índice de Área Folhar* (IAF) é a relação entre a área das folhas – todas as folhas – da vegetação de uma região e a área do solo. Um valor de IAF igual a 2, por exemplo, significa que cada m<sup>2</sup> de área de solo está coberto por uma vegetação em que a soma das áreas das folhas individuais é de 2 m<sup>2</sup> (COLLISCHONN, W. e TASSI, R., 2008).

**Tabela 4** – Valores do Índice de Área Folhar para diferentes tipos de vegetação.

Tipo de Cobertura	Índice de Área Folhar (IAF)
Coníferas	6
Floresta decídua	6
Soja irrigada	7,5
Soja não irrigada	6
Floresta amazônica	6 a 9
Pastagem amazônica (estiagem)	0,5
Pastagem amazônica (época úmida)	3,9
Savana africana (região semi-árida)	1,4
Cerrado (estiagem)	0,4
Cerrado (época úmida)	1

Fonte: COLLISCHONN e TASSI, 2008.

Assim, a partir destes dados percebe-se a importância da conservação da cobertura vegetal como suporte para a manutenção do equilíbrio dinâmico da paisagem.

### 3.8. Solos

O solo é um componente do meio natural constituído por partículas inorgânicas (areia, silte e argila) e orgânicas. Sua formação é predeterminada pela rocha-mãe e pelas condições climáticas, podendo-se afirmar que é um material altamente dinâmico no tempo e no espaço, pois processos de intemperismo (físico e bioquímico) e, também, pedogênicos de caráter eluvial (solo eluvial<sup>5</sup>) ou aluvial (solo aluvial<sup>6</sup>) estão permanentemente atuando sobre as rochas.

O solo é uma matéria móvel, de alguns centímetros a vários metros de espessura, que se entrepõe a rocha sã e a atmosfera. A sua aparência é discreta, mas o seu papel é considerável: sustenta e alimenta a vegetação

<sup>5</sup> Solo cujo *horizonte B* se caracteriza por significativo aumento da fração argila em relação aos *horizontes A* ou *E*. Uma das feições indicativas desse tipo de solo é a presença de cerosidade (IBGE, 2004).

<sup>6</sup> Solo oriundo de deposições aluviais e, portanto, jovem. Apresenta camadas superpostas, sem inter-relação genética. Tem textura variável desde arenosa até argilosa. A fertilidade pode ser baixa ou alta e, mediante tratamentos culturais racionais, é passível de boa produção (IBGE, 2004).

natural ou cultivada, retêm a água da chuva, protege o relevo da erosão mecânica (DEMAGEOT, 2000).

Ainda, complemento o conceito de solo, Silva (2003) admite que.

Trata-se de um corpo tridimensional formado por processos físicos, químicos e/ou biológicos, cujos agentes de formação são basicamente o clima, os fatores topográficos e a comunidade biótica e cujo material de origem é a rocha matriz subjacente, embora possa ser constituído por partículas provenientes de outras regiões, transportadas pela água, pelo vento e/ou pelo gelo. É constituído por partículas minerais e orgânicas e por organismos de diversos grupos biológicos e de diferentes tamanhos, com diferentes nichos ecológicos, além de conter, na maioria dos casos, água e gases (SILVA, 2003).

O solo é essencial para a biota<sup>7</sup> e às atividades agrícolas, pois fornece nutrientes essenciais para o desenvolvimento de plantas e de cultivares. A redução na matéria orgânica (que é cerca de 5% do volume total) dos solos permite a perda na capacidade de resistência mecânica dos solos à erosão.

Outra causa da degradação do solo é a sua acidificação devido a fatores como uso constante de fertilizantes, fixação biológica de nitrogênio, remoção de nutrientes pelas lavouras e deposição de ácidos provenientes da atmosfera. A degradação dos solos por redução de nutrientes ocorre, em geral, em áreas de agricultura sem adubação, enquanto a redução da matéria orgânica não só desagrega como também atinge sua fertilidade natural (GUERRA e CUNHA, 1996).

A formação dos solos é o resultado da interação de muitos processos, tanto geomorfológicos como pedológicos. Esses processos retratam uma variabilidade temporal e espacial significativa, sendo dessa forma importante abordar os solos como um sistema dinâmico (GUERRA e MENDONÇA, 2004).

Devido as suas características físicas e bioquímicas os processos pedogênicos e erosivos determinam a sua dinâmica natural. Dependendo do tipo de

---

<sup>7</sup> Corresponde ao conjunto dos seres vivos de origem animal e vegetal, que vivem na superfície do planeta Terra (ROSS, 2001).

solo o material pode ser facilmente transportado para áreas mais rebaixadas de suas adjacências.

As principais propriedades do solo, que determinam sua erodibilidade, resistência em ser erodido e transportado, são: textura<sup>8</sup>, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e pH. A textura ou teores granulométricos dos solos (areia, silte e argila) relaciona-se com a erosão pela facilidade de alguns grãos serem removidos mais facilmente em relação a outros. O teor de matéria orgânica do solo correlaciona-se na ordem inversa com a erodibilidade, tendo importante papel na agregação das partículas, conferindo-lhes maior estabilidade. A alta estabilidade dos agregados permite maior infiltração, pelo elevado índice de porosidade, diminuindo o escoamento superficial, possibilitando maior resistência do solo ao impacto das gotas de chuva (Guerra e Cunha, 1996).

De acordo com Silva *et al.* (2003) a erosão não é a mesma em todos os solos. As propriedades físicas exercem diferentes influências na resistência do solo à erosão, principalmente a estrutura, a textura, a taxa de infiltração, a permeabilidade, a densidade e a porosidade. Assim, Ross (2003) classificou alguns tipos de solo de acordo com sua erodibilidade, agrupando-os em graus de fragilidade, variando de fraca a forte (Tab.5).

**Tabela 5** – Fragilidade a erodibilidade dos solos.

<i>Graus de Fragilidade</i>	<i>Tipos de Solos</i>
Fraca	Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Roxo
Média	Podzólico (Argilossolo) Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa
Forte	Hidromórficos, Areias Quartzosas e Cambissolos

Fonte: ROSS, 2003.

Entre as principais características do solo, a análise de sua textura se constitui no principal fator de suscetibilidade à erosão, pois segundo Streck *et al.*

<sup>8</sup> A textura do solo compreende a distribuição quantitativa das classes de tamanho de partículas que compõe o solo. São considerados partículas os seixos, os cascalhos, areia, o limo (ou silte) e argila (Silva *et al.*, 2003).

(2002) a textura afeta muitas propriedades químicas e físicas do solo, como a *capacidade de troca catiônica* (CTC), retenção de água, erodibilidade do solo, infiltração de água, drenagem, entre outras. Ainda, segundo Streck *et al.* (2002) em perfis de solos com textura homogênea a taxa de infiltração de água é geralmente maior nos arenosos em comparação com os argilosos. Em solos com mudança textural abrupta, as chamadas superficiais arenosas são rapidamente saturadas com água da chuva, gerando duas possíveis situações: a) escoamento superficial da água excedente, promovendo acentuada erosão hídrica; b) formação de ambientes anaeróbicos (ausência de oxigênio) temporários, prejudicando o desenvolvimento do sistema radicular das culturas.

Prado (1991 *apud* SILVA *et al.*, 2003) coloca que essa mudança abrupta de *horizontes*, com aumento em pequeno intervalo vertical, associado ao aumento exagerado do teor de argila, provoca a ampliação da suscetibilidade do solo à erosão, favorecendo muito a formação de voçorocas, pois a permeabilidade da água é rápida no *horizonte A* e lenta no *horizonte B*.

### **3.9. Erosão e degradação dos solos**

Devido à dinâmica e complexidade dos elementos da natureza, a superfície terrestre está constantemente sendo remodelada pelas intempéries climáticas. Num período médio do tempo geológico, as forças esculturais do clima caracterizam-se como os principais agentes de modelagem da paisagem; porém num período muito curto do tempo geológico e, em escala reduzida em relação às forças exógenas, a ação do homem através de obras de engenharia, das atividades agrícolas e da expansão urbana tem se constituído como um dos principais agentes modeladores da paisagem.

Erosão do solo é um fenômeno natural que ocorre desde a formação da Terra. Erosão pela água e pelo vento tem ajudado a modelar as paisagens que os povos conhecem hoje em dia. Estudos quantitativos do valor de erosão ocorridos durante período geológico e desde tempos históricos (recentes), mostra que a taxa de erosão é altamente variável no tempo e no espaço. Esta variabilidade pode ser causada por fatores externos (ciclo exógeno), tais como mudanças no clima e vegetação, ou por fatores internos (endógenos, tais como vulcanismo, terremotos) que resultam em

erosões episódicas (COMMITTEE ON LONG-RANGE SOIL AND WATER CONSERVATION, 2007).

Para alguns pesquisadores, principalmente os adeptos da *geomorfologia climática*, a importância do clima como agente modelador da paisagem já era sabido. No entanto alguns geocientistas não tinham a mesma percepção sobre a capacidade de esculturação das intempéries climáticas sobre as formas de relevo.

De fato, depois de 100 anos considerando a erosão a irmã frágil da tectônica, muitos geólogos agora acreditam que a erosão possa ser o membro mais poderoso da família, como expresso por um grupo de pesquisa, “Saboreie a ironia. As montanhas talvez devam seu vigor às minúsculas gotas de chuva” (PINTER e BRANDON, 2008).

De forma simplificada, esta visão parcial dos conceitos geomorfológicos decorre da adoção de uma única vertente epistemológica da geomorfologia. Mas, tanto a *geomorfologia estrutural*, quanto a *geomorfologia climática* são essenciais para compreender as constantes mudanças na paisagem impostas pela ação da erosão, pois rochas compostas de materiais duros podem resistir muito bem aos processos de intemperismo, sem que haja grandes modificações nas formas de relevo.

O fato de se ter atribuído maior importância a um dos elementos, estruturais ou climáticos, em detrimento do outro, deu motivo ao emprego de adjetivos como “geomorfologia estrutural” ou “geomorfologia climática”, fruto de tendências associadas a linhagens epistemológicas. Conforme observou Cholley (1950), não há duas geomorfologias, mas apenas uma, e sua gênese está ligada à ação de fatores erosivos associados ao clima, que constitui um complexo de agentes denominado pelo autor de “sistema de erosão” que cada clima coloca em evidência. Para Cholley (1950), o reflexo da estrutura ou do clima no comportamento morfológico caracteriza estágios que confirmam os conceitos davisianos: a erosão “normal”, ao colocar em evidência a estrutura, corresponderia a uma fase de “maturidade”, enquanto o esmorecimento da erosão demonstra a última etapa da evolução morfológica, caracterizando uma fase “senil” (CASSETI, 2008).

Ross (2003) expõe as mudanças epistemológicas na geomorfologia do século XX.

A partir da década de 20, os geógrafos alemães como H. Mostensen, J. Budel, E. Felo e H. Wilhelmy, bem como os franceses representados por De Martone, Cholley, Dresch, Birot, Cailleux e Tricart, em seus trabalhos, fruto de pesquisas ou então através da publicação de manuais, passaram a trabalhar com a concepção da geomorfologia climática. Dentro dessa nova postura de análise geomorfológica, a *erosão normal* deixou de ser a base da interpretação para explicar a evolução do relevo, surgindo outros elementos de avaliação nos processos geradores das formas (ROSS, 2003).

Neste contexto geral a erosão é classificada, quanto à sua natureza, em *erosão normal*, ou em *erosão acelerada*; a primeira representa a erosão de caráter natural que vem ocorrendo desde os primórdios da formação geológica da Terra; enquanto a *erosão acelerada* decorre pela ação humana, principalmente, em função das modificações no uso da terra. Este tipo de erosão está intimamente ligado às características do meio físico e, também, da ação antrópica sobre a vegetação, geometria do relevo (através de obras de engenharia) e características dos solos, por exemplo, a compactação dos solos pelo maquinário agrícola (proporcionando uma redução na infiltração dos solos).

Existem dois tipos de erosão: normal ou geológica, que é causada por fenômenos naturais tais como a chuva e o vento, que provocam contínuas mudanças na superfície terrestre e, a erosão acelerada<sup>9</sup> ou simplesmente erosão, que é causada pela interferência do homem nesse processo de modificação da crosta terrestre podendo diminuir ou, como é mais comum, acelerar sua intensidade (BAHIA *et al.*, 1992 *apud* CAVICHIOLO, 2005).

A erosão dos solos, além de ocasionar o assoreamento dos corpos hídricos, proporciona gradualmente a perda das camadas férteis do solo, ou seja, os *horizontes O e A*, no qual se encontra boa parte da matéria orgânica.

De acordo com Conti e Furlan (2001) a capa superior desse pacote (*horizonte*), chamada *primeiro horizonte*, contém uma camada denominada *húmus*.

---

<sup>9</sup> É o aumento da taxa de erosão sobre a erosão geológica ou normal, em decorrência da quebra do equilíbrio do meio ambiente pelas atividades humanas, principalmente as advindas das alterações conduzidas na cobertura vegetal, tais como, uso excessivo de pastagens, retirada de madeira por derrubada ou queima, práticas inadequadas de cultivo, etc (FENDRICH, 1997).

O húmus é o produto da decomposição orgânica responsável pela fertilidade do solo. Uma camada humífera de 30 cm pode levar até cinquenta anos para se desenvolver.

A erosão dos solos representa não somente um problema ambiental, mas também econômico, principalmente para o pequeno agricultor; haja vista que o produtor rural deverá, por necessidade, repor os nutrientes perdidos pela erosão e lixiviação, isto através do aumento nas aplicações de fertilizantes (fósforo, nitrogênio, potássio, cálcio, etc).

Farias (1984) levanta aspectos sobre a inclusão da erosão em estudos do meio físico. É importante detectar os lugares onde a erosão se encontra mais avançada, visando definir medidas de correção e proteção ao meio, detectar as zonas mais sensíveis à erosão ao se planejar uma mudança de uso do solo e detectar os lugares onde o fenômeno erosivo é ou pode ser mais intenso com o propósito de se evitar prejuízos sobre as obras humanas. É importante, portanto, dimensionar nos estudos a erosão atual (erosão que existe num determinado lugar, no momento presente) e a erosão potencial (susceptibilidade à erosão) (ABDON, 2004).

Teoricamente, as perdas por erosão do solo são calculadas através da *EUPS (Equação Universal de Perda de Solos)* proposta por Walter H. Wischmeier e Dwight D. Smith. A equação é dada pela seguinte fórmula:

$$A = R.K.L.S.C.P$$

Onde, *A*= representa a perda de solo em toneladas/ano; *R*= erosividade das chuvas; *K*= erodibilidade do solo; *L*= declividade; *S*= comprimento da vertente; *C*=cobertura vegetal; *P*= práticas conservacionistas.

Na Tabela 6 se pode observar os dados relativos à degradação dos solos na América do Sul.

De acordo com estudos do GLASOD (Araújo *et al.*, 2007) 15% das terras globalmente estavam degradadas como resultados das atividades humanas. Na América do Sul apresenta 1% de terras devastadas, 11% leve ou moderadamente degradadas e 1% de terra forte ou extremamente degradada. Os principais tipos de degradação constituem na perda da

camada superior, proveniente da erosão hídrica (39% da área degradada), na perda de nutrientes do solo (28%) e na deformação do terreno pela erosão hídrica (12%). O Brasil é particularmente afetado (ISRIC, 1991 *apud* ARAÚJO *et al.*, 2007).

**Tabela 6** – Incidência dos fatores causadores da degradação dos solos por região.

	<i>Desmata- mento (%)</i>	<i>Super- pastoreio (%)</i>	<i>Atividades agrícolas (%)</i>	<i>Super- exploração da vegetação (%)</i>	<i>(bio) industrias (%)</i>
América do Sul	41	28	26	5	-
Américas do Norte e Central	11	24	57	7	-
Mundo	29	35	28	7	1

Fonte: ISRIC/UNEP, 1991.

Estes dados demonstram que na América do Sul 41% da degradação é decorrente do desmatamento, em comparação com o resto do mundo, onde somente 29% está relacionada com a mesma causa. No presente trabalho foi constatada a retirada da mata ciliar para expansão da atividade agrícola, no qual se utilizaram fotos aéreas, imagens de satélite e trabalho de campo para averiguar o estágio de desmatamento.

De acordo com pesquisas realizadas pela FAO, os solos sofrem um processo de degradação cada vez mais acelerado. Por sua vez, bilhões de toneladas de solos são perdidos através do uso inadequado das terras.

As estimativas geralmente variam de 5 a 12 milhões de hectares de solo perdidos anualmente (de um total de 4,8 bilhões de hectares de terras cultiváveis e pastos). A FAO adverte que ainda se necessita de muito progresso na coleta de dados sobre o uso da terra, antes que essa e outras tendências importantes sejam conhecidas adequadamente. De acordo com a FAO (1992), aproximadamente 25 bilhões de toneladas de solo (17 toneladas por hectare cultivado) são erodidos a cada ano (FAO *apud* ARAÚJO *et al.*, 2007).

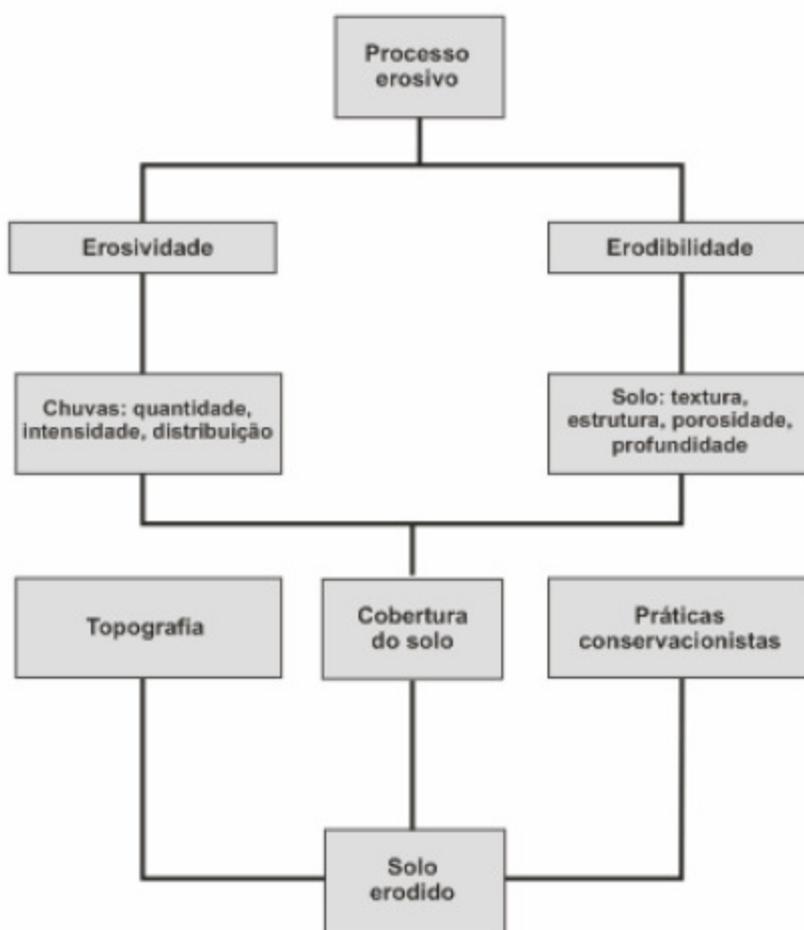
Advogando sobre a importância da conservação e preservação dos solos, Brown (1990) reitera os efeitos da degradação ambiental.

Brown *et al.* (1990) estimaram que a degradação ambiental no mundo causa a perda de, aproximadamente, 14 milhões de toneladas de grãos anualmente, isto é, metade da quantidade necessária para cobrir as necessidades da população global adicional para o mesmo período (ARAÚJO *et al.*, 2007).

### 3.9.1. Processos erosivos

Os processos de erosão dos solos ocorrem em estágios, isto é, agravando-se à medida que atingem outras fases de degradação, por sua vez, este é fenômeno complexo que desencadeia, a partir deste, diversas alterações ambientais.

O processo de erosão é um fenômeno que depende das características ambientais, como erodibilidade dos solos, usos da terra, topografia, erosividade e cobertura vegetal (Fig. 10).

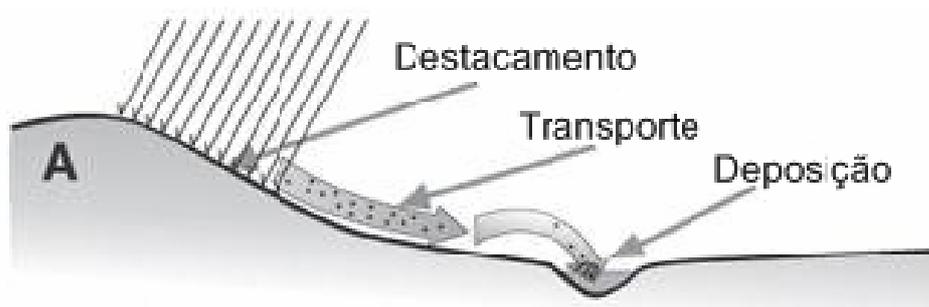


**Figura 10** – Diagrama do processo erosivo.  
Fonte: RAMOS, 1982 *apud* CASSETI, 2008.

A remoção da vegetação natural através do desmatamento é a primeira etapa da ocupação de um território. A vegetação natural mantém na região um processo de erosão natural, atenuando a ação das chuvas no solo. Quando esta vegetação é removida pode se instalar na região um processo de erosão. Um processo de erosão é dito acelerado quando ela é mais rápida do que os processos de formação do solo, não permitindo que este se regenere. Dentre outros danos, a erosão causa assoreamento de cursos e corpos d'água, degradação do solo prejudicando a manutenção da fertilidade do solo, alterando a profundidade do solo e causando a perda do horizonte A, o qual contém a maior parte dos nutrientes para as plantas, a maioria da matéria orgânica e a melhor estrutura para o desenvolvimento das raízes. A erosão e o assoreamento trazem também como conseqüências uma maior freqüência e intensidade de enchente e alterações ecológicas que afetam fauna e flora (ABDON, 2004).

Segundo Guerra (1995 *apud* ABDON, 2004) a erosão ocorre em duas fases: uma que constitui a remoção de partículas e outra que é o transporte desse material, efetuado pelos agentes erosivos.

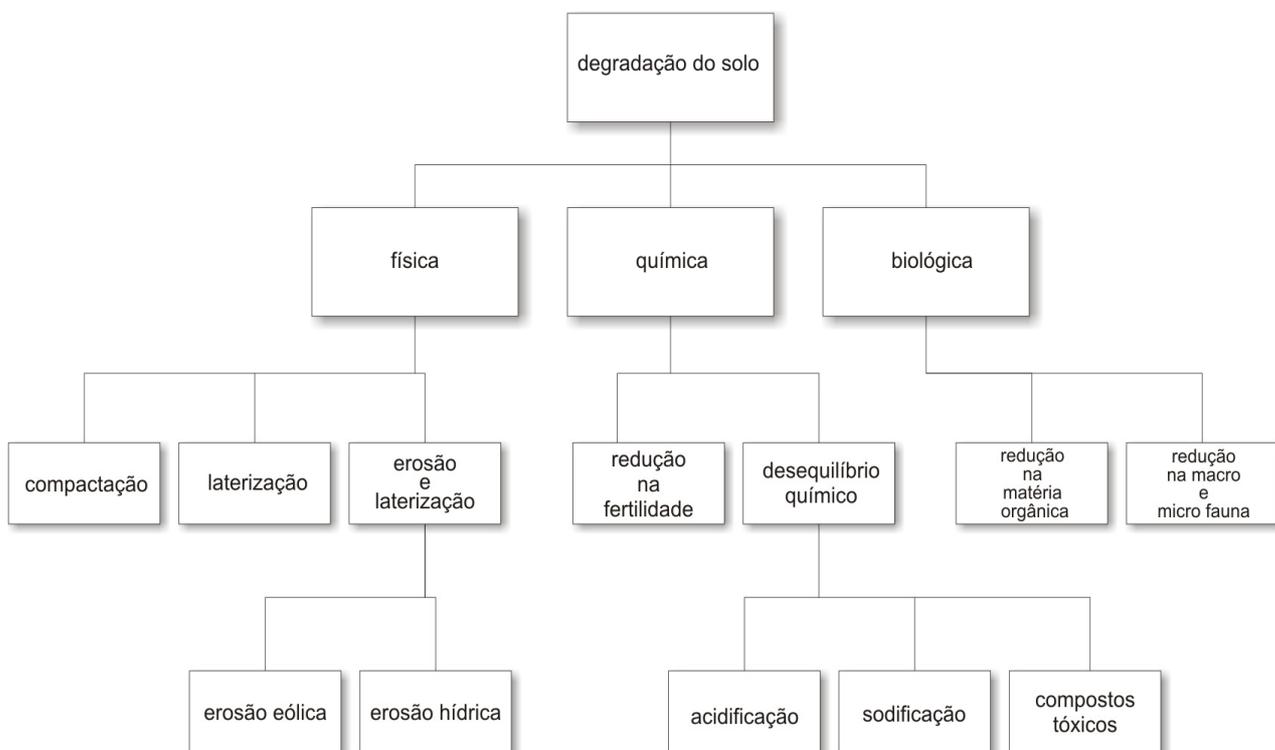
Vários são os fatores que interferem sobre o processo erosivo: energia cinética da água das chuvas, propriedades químicas e físicas dos solos, comprimento, forma e declividade das encostas, cobertura vegetal, uso e manejo do solo. Em quase todos os casos, o uso e o manejo inadequado levaram à ocorrência dos processos erosivos acelerados, na maioria dos casos, de caráter irreversível (GUERRA e MENDONÇA, 2004).



**Figura 11** – Etapas do processo de erosão. Destacamento, transporte e deposição.  
Fonte: CASSETTI, 1995.

A erosão é um dos principais fenômenos naturais de degradação dos solos, que, por sua vez, proporciona a perda de sua qualidade. Esta degradação dos solos é um processo complexo de ordem físico-químico e biológico, onde processos

físicos, como a erosão hídrica, podem desencadear um processo de degradação química do solo, ou seja, na redução de sua fertilidade e acidificação. Por isso, a compreensão dos processos de degradação ambiental, ou da erosão dos solos, se dá através da abordagem sistêmica, pela necessidade de compreender o processo como um todo.

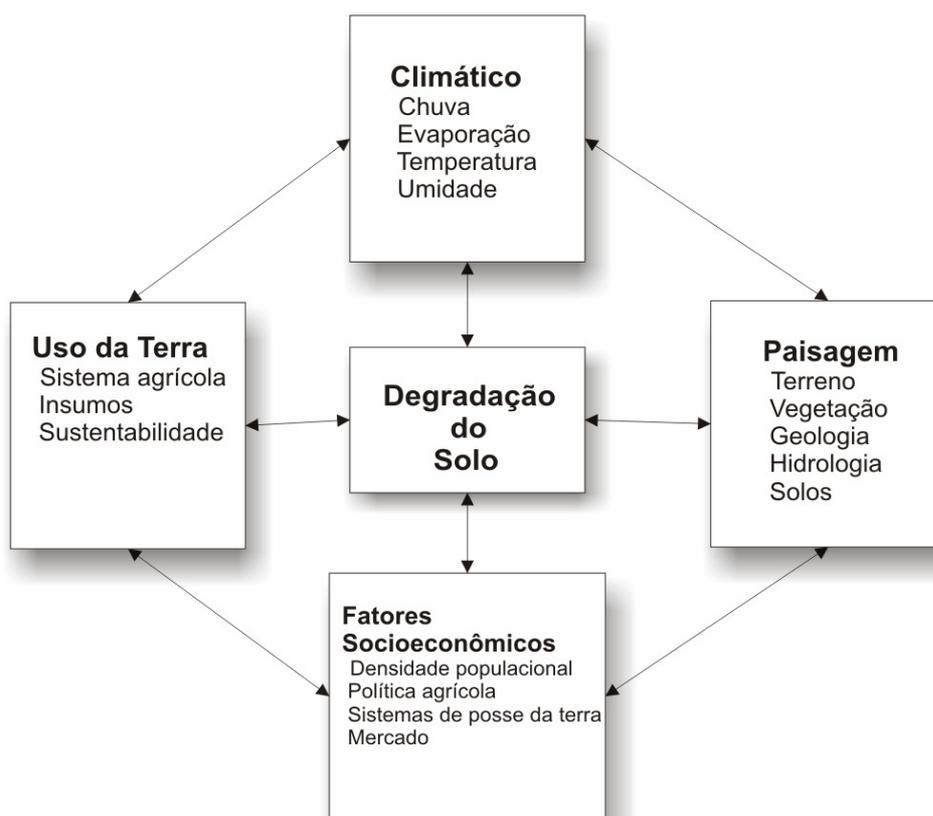


**Figura 12** – Processos de degradação do solo.

Fonte: Adaptado de COMMITTEE ON LONG-RANGE SOIL AND WATER CONSERVATION, 2007

A degradação ambiental é um processo que decorre do desequilíbrio de inúmeros fatores naturais e antrópicos que estão interconectados e interagindo entre si. Por isso, em estudos ambientais é necessário considerar as inúmeras variáveis que compõe os sistemas naturais e as suas relações de causa e efeito (Fig.13).

Os solos e as paisagens comportam-se como sistemas abertos, na medida em que ganham e perdem matéria e energia, além da suas fronteiras. De acordo com GERRARD (1992), os solos estão continuamente se ajustando, de diversas formas, à variação dos fluxos de massa e energia, gradientes termodinâmicos e outras condições ambientais exógenas (GUERRA e MENDONÇA, 2004).



**Figura 13** – Inter-relação dos fatores de degradação do solo.

Fonte: Adaptado de COMMITTEE ON LONG-RANGE SOIL AND WATER CONSERVATION, 2007.

### 3.9.2. Classificação dos tipos de erosão

A erosão é classificada de acordo com os seus agentes erosivos, sendo assim, a erosão relacionada à precipitação das chuvas dita de erosão pluvial; a decorrente da força modeladora dos ventos por erosão eólica; e a atrelada aos processos erosivos dos rios de erosão fluvial. A seguir é apresentada a classificação proposta por Bertoni e Neto (2008):

**3.9.2.1. Erosão hídrica** – é a erosão decorrente da ação das águas, originada pela ação das chuvas e, posteriormente, pelo deslocamento hídrico superficial. Como exemplo, pode-se citar a erosão pelo impacto das chuvas (*splash*), a erosão laminar, a erosão em sulcos, as voçorocas, a erosão em pedestal e a erosão em pináculo.

**a) Erosão pelo impacto das chuvas (efeito *splash*)** – é um dos principais processos de erosão, pois está relacionado com a intensidade das chuvas e o uso

dos solos. As primeiras gotas que colidem contra a superfície do terreno desagregam pequenas partículas dos solos, retirando, ao mesmo tempo, a camada mais fértil dos solos.



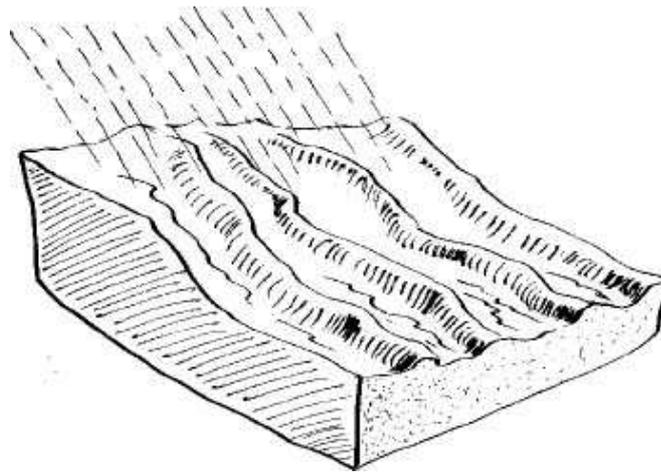
**Figura 14** – Impacto pela chuva (*splash*).  
Fonte: IIRR, 2008.

**b) Erosão laminar** – é uma forma de erosão mais perigosa, visto que sua ação não é tão perceptível visualmente, pois erode de forma homogênea o terreno. Este tipo de erosão carrega pequenas partículas inorgânicas e orgânicas dos solos, o que acaba por interferir na produtividade agrícola.



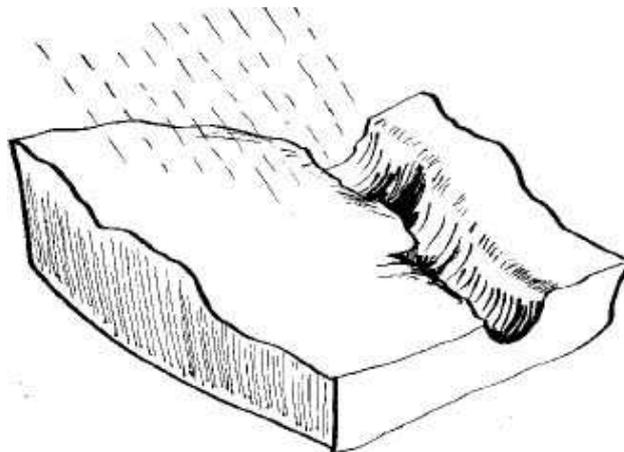
**Figura 15** – Erosão laminar.  
Fonte: IIRR, 2008.

**c) Erosão em sulcos** – a concentração do escoamento superficial hídrico se dá pela irregularidade no micro-relevo, acarretando, posteriormente, a erosão em sulcos. Esta forma de erosão é percebida como pequenos rasgos no solo que são chamados de ravinas.



**Figura 16** – Erosão em sulcos.  
Fonte: IIRR, 2008.

**d) Voçorocas** – verificam-se pelo constante escoamento hídrico superficial e subsuperficial, sendo um estágio de desenvolvimento posterior à formação de ravinas. Este tipo de erosão se caracteriza pela perda da capacidade produtiva e de auto-recuperação dos solos.



**Figura 17** – Formação de voçoroca.  
Fonte: IIRR, 2008.

**e) Erosão em pedestal** – formado pelo salpicamento das chuvas, principalmente em solos expostos, como no caso daqueles agrícolas ou em áreas de obras de engenharia.

**3.9.2.2. Erosão eólica** – é a erosão ocasionada pela ação modeladora dos ventos, estando associada, normalmente, às paisagens desérticas, planícies semi-áridas e em áreas em processo de desertificação, onde o solo ainda é formado por partículas pouco consolidadas e expostas às forças eólicas.

### 3.10. Assoreamento e sedimentação

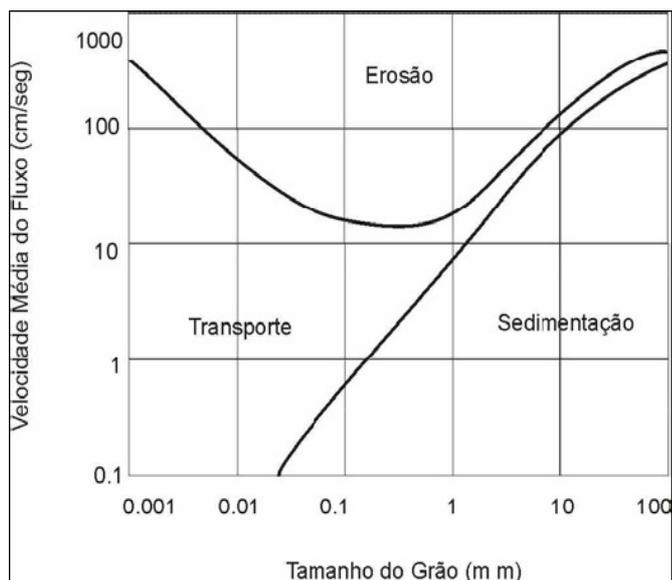
O assoreamento se caracteriza pela acumulação dos sedimentos erodidos e, posteriormente, depositados no leito dos rios. À medida que ocorre a redução na capacidade de transporte pelo rio, os sedimentos mais grosseiros serão depositados no leito fluvial, enquanto os sedimentos mais finos (silte e argila) serão acumulados no baixo curso, tendendo a formar rios meandранtes.

O processo de assoreamento numa bacia hidrográfica encontra-se intimamente relacionado aos processos erosivos, uma vez que este processo é que fornece os materiais que darão origem ao assoreamento. Quando não há energia suficiente para transportar o material erodido, este material é depositado (GUERRA, 1995 *apud* ABDON, 2004).

De acordo com Leinz e Amaral (2003) diminuindo a velocidade de um rio, graças ao menor declive existente nas regiões médias e inferiores, diminuirá também a sua capacidade transportadora, iniciando-se, então, a sedimentação do material transportado.

A erosão e o transporte de material pelas águas de escoamento superficial se processam por suspensão, rolamento e saltação. O depósito do material detrítico e do dissolvido ocorre de modo seletivo. Quando as águas atingem os setores dos vales de menor inclinação, aproximando-se dos chamados níveis de base, onde ocorrem os processos de sedimentação, primeiro são depositados os materiais mais grosseiros e pesados, depois os finos e leves. A ação das águas pluviais e fluviais é marcante nos ambientes de climas temperados e tropicais, onde a água é mais abundante. O relevo nessas áreas tende a ter muitos canais de drenagem e suas formas, tanto nas áreas serranas como nos planaltos e depressões, são de topos arredondados ou topos convexizados (ROSS, 2001).

O diagrama proposto por Hjulström (Fig.18) demonstra a relação direta entre o fluxo hidráulico e a granulometria dos sedimentos. Assim, quanto maior a velocidade do fluxo d'água, maior será a competência, ou seja, a capacidade do rio de transportar sedimentos de maior diâmetro através de seu fluxo d'água.



**Figura 18** – Diagrama de Hjulström. Correlação do tamanho de grãos com o fluxo hidráulico, e os setores de erosão, transporte e sedimentação.  
Fonte: ABDON, 2004.

Estudos realizados por Patrick *et al.* (1982 *apud* GUERRA e CUNHA, 1996) para determinar a contribuição relativa de fatores naturais e humanos a influenciar a acentuada produção de sedimentos na Bacia do Rio Eel (Califórnia) revelou que apenas 19% seria atribuída às atividades humanas. Como conseqüência do aumento de sedimentos na calha fluvial ocorreu um decréscimo da profundidade e a maneira encontrada pelo rio, para ajustar seu equilíbrio, foi aumentar a largura do canal através da erosão das margens. Dessa forma, ocorreu um aumento de 67% da área de ilhas fluviais e de 23% da área do canal pela erosão das margens. Na maioria das vezes, como no exemplo do rio Eel, os fatores naturais iniciam os desequilíbrios que serão agravados pelas atividades humanas na bacia.

A retenção de sólidos (assoreamento) nas planícies inundáveis e nos rios associados também proporcionam grande preocupação. As modificações geomorfológicas da planície de inundação podem influenciar sua produtividade biológica, determinando uma mudança nos padrões de produtividade pesqueira de toda a bacia hidrográfica, além de interferir no transporte fluvial e no padrão de cheias. Os processos de sedimentação e mudanças no regime de cheias são ampliados devido ao problema da erosão dos solos. Estes processos são responsáveis pelas modificações do leito e alinhamento dos rios e, como conseqüência, provocam o aumento do período de inundações das áreas ribeirinhas, além da maior freqüência de inundação e erosão localizada em áreas urbanas devido à destruição de matas ciliares. (SCHIAVETTI e CAMARGO, 2002, p.31).

Segundo Christofolletti (1980) as planícies de inundação, conhecidas como várzeas na toponímia popular do Brasil, constituem a forma mais comum de sedimentação fluvial encontrada nos rios de todas as grandezas. A designação é apropriada, porque nas enchentes toda essa área é inundada, tornando-se o leito do rio.

As formações de depósitos dos diques marginais e das bacias de inundação resultam do processo de acreção vertical, cujos sedimentos têm origem na carga suspensa durante as cheias, quando as águas transpõem os diques marginais. A deposição do material fino é proveniente dos transbordamentos por sobre os bancos ou dos rompimentos dos diques, sendo espalhado pela planície de inundação, originando as planícies de inundação ou de várzea (SUGUIO e BIGARELLA, 1990).

## 4. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

### 4.1. Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas (Fig.20) está localizada entre as coordenadas geográficas de 31°23'36"S a 31°48'49"S e, 52°12'24"W a 52°38'27"W. Medições realizadas anteriormente revelaram que a área era de 622 Km<sup>2</sup>, porém, através de técnicas de georreferenciamento, foi possível constatar que sua abrangência geográfica, na realidade, é de 909Km<sup>2</sup> (90.900 hectares).

Sua área de drenagem abrange os municípios de Pelotas, Canguçu, Morro Redondo e Arroio do Padre, sendo o Arroio Pelotas seu principal canal fluvial, com cerca de 85 Km de extensão, enquanto que os mais importantes tributários são os arroios Andrade, Cadeia, Caneleiras e Quilombo.

### 4.2. Clima

O clima da região é do tipo temperado cálido e úmido, que de acordo com a classificação climática de Köppen é representado pelo código *Cfa*, em que a letra "C" representa o domínio dos climas temperados; "f" as áreas de chuvas bem distribuídas e "a" as áreas de verões quentes. Em relação às temperaturas médias, Pelotas apresenta a média anual de 17,8°C, sendo que o mês mais quente é janeiro, com 23,2°C, e o mês mais frio é julho com 12,3°C.

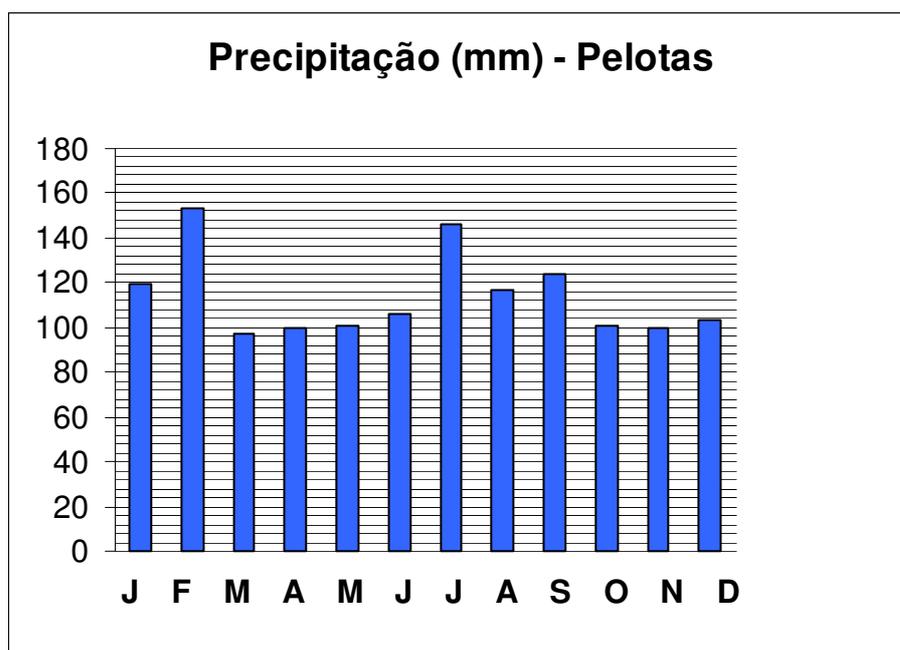
As temperaturas são amenizadas pelo processo de maritimidade, isto devido ao grau elevado de calor específico da água. Esta condição, porém, propicia elevada umidade do ar e, por conseqüência, boa quantidade de chuvas. As precipitações são um dos fatores que interferem na taxa de erosão de uma região,

pois estas tendem a provocar as primeiras etapas da erosão hídrica, principalmente se as chuvas forem concentradas em um curto período de tempo.

De acordo com Rosa (1985) a média anual de precipitação pluviométrica, em Pelotas, é de 1.249 milímetros, cifra relativamente baixa, considerando-se a média do Estado que é de 1.643 mm.

As chuvas são geralmente leves, porque, inclusive, o relevo, de planície, não produz turbulência atmosférica. Efetivamente, são raras as chuvas torrenciais. A precipitação máxima, em 24 horas, varia, normalmente, entre 70 e 80 mm. No período 1951/1980, o máximo que choveu, em Pelotas, em 24 horas, foi 208 mm (em abril de 1959) (ROSA, 1985).

Quanto à distribuição das precipitações, Rosa (1985) cita que é a seguinte, por estação: verão, 305 mm; outono, 265 mm; inverno, 361 mm; primavera, 315 mm.



**Figura 19** – Climograma de Pelotas. Precipitação média mensal em mm.  
Fonte: EMBRAPA, 2007.

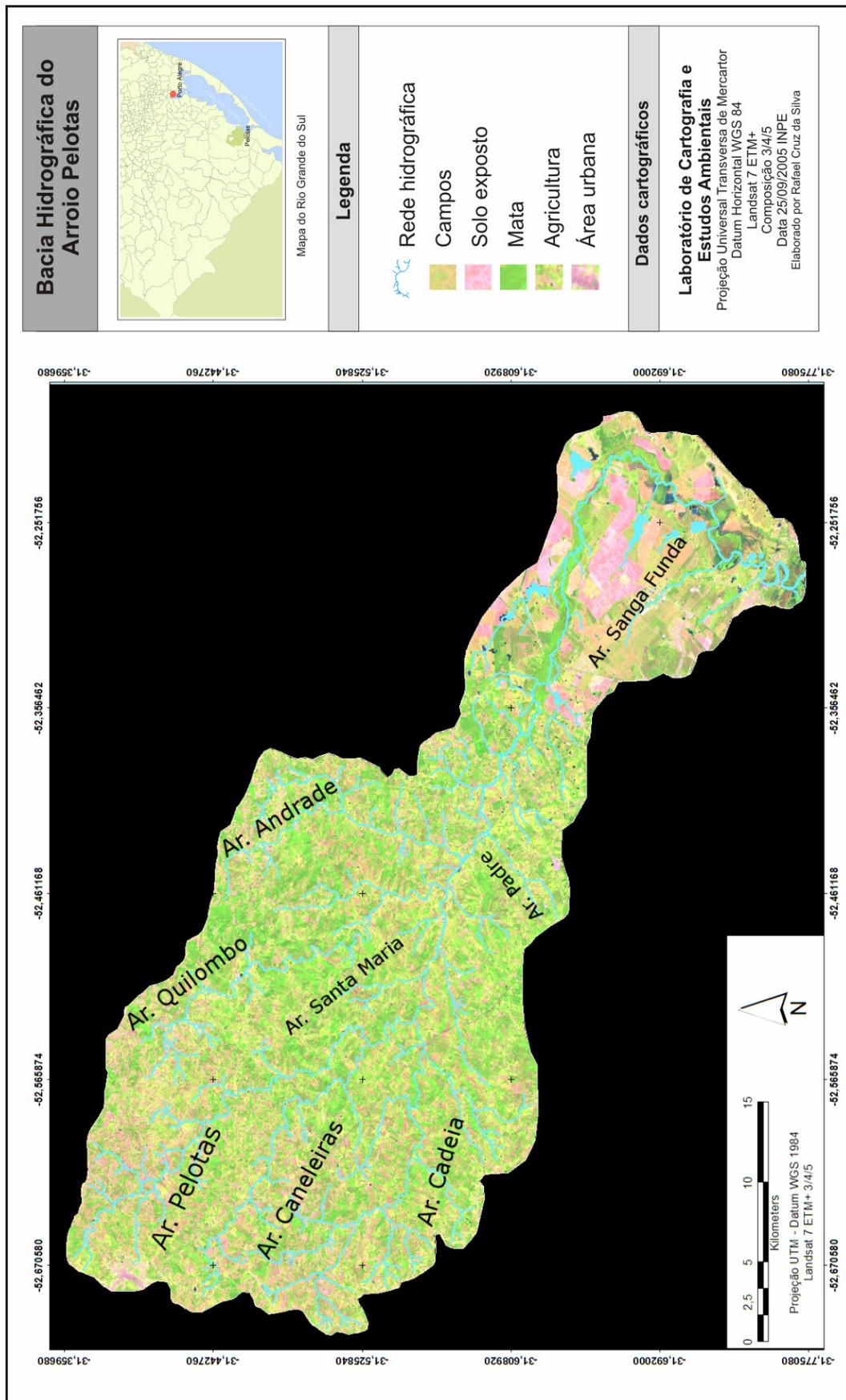
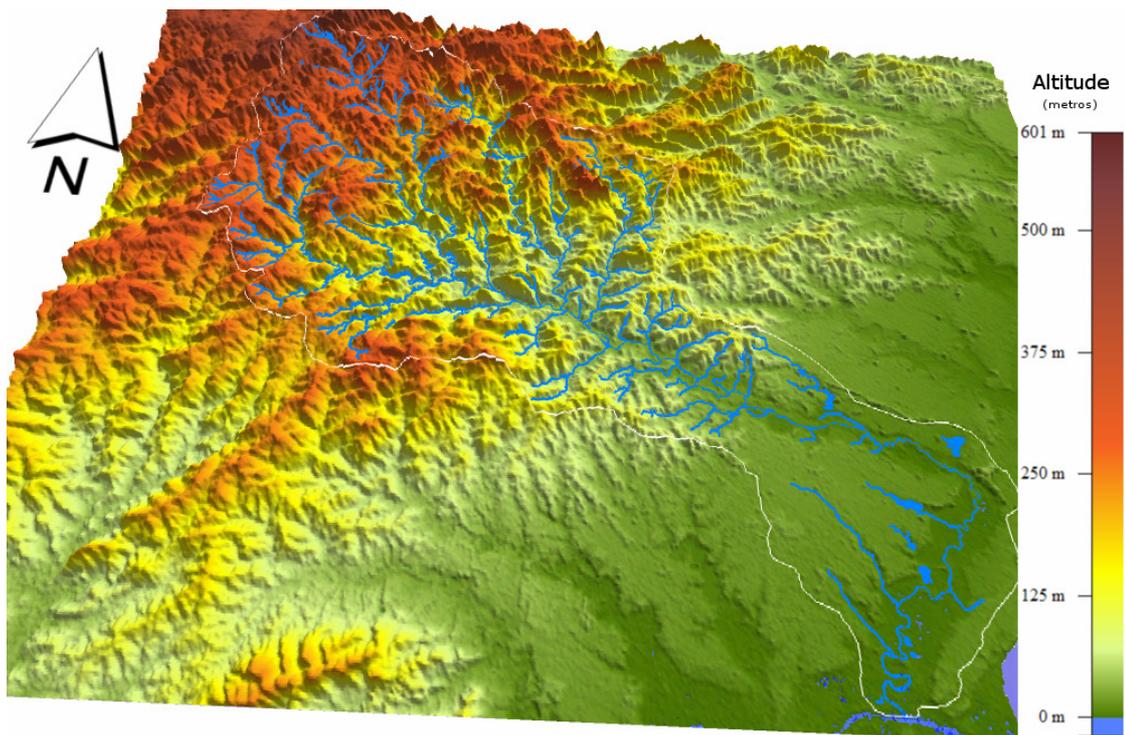


Figura 20 – Mapa base da bacia do Arroio Pelotas.

Fonte: Rafael Cruz da Silva.

### 4.3. Relevo

Em relação à paisagem, distinguem-se três unidades distintas: a planície, a encosta e a serra. A planície se caracteriza por apresentar um relevo relativamente plano e recoberto por uma vegetação rasteira de gramíneas, verificando-se, nas áreas mais rebaixadas, terrenos alagadiços.



**Figura 21** – Bloco-diagrama da bacia do Arroio Pelotas.  
Fonte: Rafael Cruz da Silva.

A serra é constituída por um relevo fortemente ondulado, com cotas superiores a 200 metros onde sobressaem afloramentos rochosos de granitos e gnaisses; a vegetação se caracteriza por ser uma transição para a savana “*pampa*”, associada com matas esparsas (capões).

A encosta, de sua vez, é uma área de declive acentuado e de terreno ondulado; a vegetação é formada por tipos arbóreos. Importa destacar que em algumas pesquisas a encosta não é mencionada. Isto se deve, porém, à escala adotada, ou seja, pelo grau de detalhamento do estudo.

#### **4.4. Pequena história da ocupação territorial**

A região que abriga a Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas era, até fins do século XVII, habitada pelos indígenas das tribos Tapes e Minuanos. Sua economia era rudimentar, vivendo, seus habitantes, da caça e da pesca. Num estágio mais evoluído, chegaram a estabelecer pequena produção agrícola com predominância do milho e da batata doce. Por volta da segunda metade do século XVIII essa região ainda era uma vasta solidão coberta de matas que desciam cerros e colinas por encostas abaixo, ameaçando invadir planícies por onde cordões cerrados acompanhavam o curso dos arroios, disseminando-se restingas e capões pelos varzedos dos arroios Fragata e Pelotas, assim também por plainos do São Gonçalo (ARRIADA, 1994).

Após a expulsão dos espanhóis que ali se estabeleceram por esta época, estancieiros, colonos, posseiros, pequenos criadores e açorianos foram sucessivamente se espalhando pelas margens da Lagoa Mirim, do São Gonçalo, do Arroio Pelotas e nas primeiras elevações da Serra dos Tapes. Com a assinatura do Tratado de Santo Ildefonso (1777), começa o governo constituído a dar sesmarias na região, resultando na sua divisão em sete grandes sesmarias: Feitoria, Pelotas, Monte Bonito, Santa Bárbara, São Tomé, Pavão e Santana (ARRIADA, 1994).

Segundo Arriada (1994), a origem do sítio urbano de Pelotas ocorreu a partir do estabelecimento de diversas charqueadas às margens do Arroio Pelotas e do canal São Gonçalo. Com a exploração da indústria saladeiril, principalmente depois da segunda década do século XIX, houve um crescimento demográfico, seja por pessoas que anteriormente se encontravam estabelecidas (estancieiros e antigos posseiros), seja por pequenos agricultores, ou, ainda, por escravos vindos para o trabalho rude nas charqueadas. (...) Um dos grandes problemas enfrentados pela população da época eram as enchentes, pois a maior parte das charqueadas estavam localizadas nas várzeas.

A localização e formação da cidade, portanto, deveu-se ao desenvolvimento da indústria saladeiril, a qual, de seu turno, era dependente de vias de transporte e de grande quantidade de água. A escolha das terras para as charqueadas se deu, conforme Magalhães (1998), em terras mais para o interior da vila com objetivo de evitar as areias que, sob a ação dos fortes ventos litorâneos, teriam o efeito de arruinar a produção. Estas terras interiores, embora um tanto afastadas, eram de

facial comunicação com o mar, por onde haveria de se escoar as mantas de charque para abastecer os portos do Brasil e do estrangeiro, sobretudo das Antilhas.

A área onde seria edificada a futura cidade de Pelotas era composta de um estreito terraço, formando uma espécie de “crista” com cerca de 14m de altitude, escolhida com a finalidade de proteção natural das eventuais enchentes que avançavam sobre as várzeas. Conforme Arriada (1994), este local veio a ser o mais recomendado: alto, seco, longe o bastante para não sofrer com as enchentes, distante o suficiente das charqueadas, evitando, assim, o máximo possível, as tropelias de gado bravo, o “incômodo da população escrava” e do mau cheiro das carnificinas, mesmo assim bastante próximo do canal São Gonçalo, local futuramente destinado a Logradouro Público (Porto).

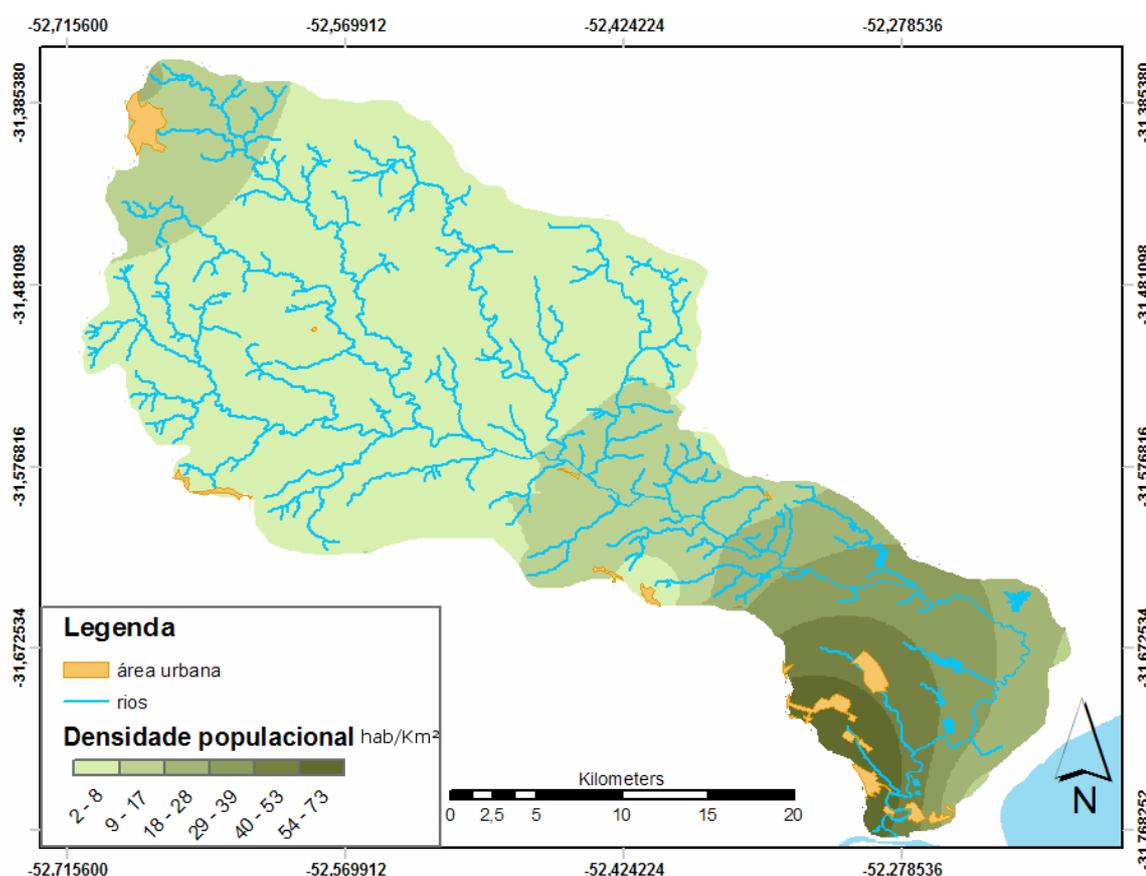
Assim, pode-se explicar que a localização do sítio da futura cidade de Pelotas não é algo ao acaso, mas influenciada pelas características geográficas da região, como a disponibilidade de recursos hídricos, de um relevo plano, de meios navegáveis e de acesso ao mar. Este espaço geográfico favoreceu tanto a produção de charque como a ocupação humana, pois de acordo com Brunhes (1962) toda a instalação humana, como é sabido, tem necessidade de água, o que explica, aliás, a distribuição dos homens, a qual, via de regra, acha-se ligada à distribuição da água. Destarte, pode-se afirmar que os lençóis de água, lagos e mares exercem uma influência que se traduz pela densidade da população nas zonas litorâneas e nas margens de cursos d’água.

Posteriormente, com a crise do charque, ocorrida durante o Período da República, os produtores de charque de Pelotas tiveram que buscar alternativas econômicas mais viáveis, as quais, segundo aponta Magalhães (1998), foram a produção e industrialização do arroz, de frutas de clima temperado, sobretudo o pêssego, além da criação de gado.

#### **4.5. Demografia**

Na área do presente estudo podem ser identificados dois núcleos principais e três secundários que apresentam expressiva densidade populacional: as cidades de Pelotas e de Canguçu, e as cidades de Morro Redondo, Arroio do Padre e o distrito de Monte Bonito, respectivamente.

A densidade demográfica representa a distribuição espacial da população em determinado território. Este fator pode ser um bom indicador de risco potencial da interferência humana no meio ambiente, pois devido à pressão populacional sobre os recursos naturais, as áreas densamente povoadas apresentam, em geral, impactos ambientais de grande relevância. Assim, os grandes aglomerados urbanos proporcionam a degradação do meio ambiente através do despejo de produtos químicos, orgânicos e sólidos nos corpos hídricos.



**Figura 22** – Mapa de densidade populacional.  
Fonte: IBGE, 2005.  
Organização: Rafael Cruz da Silva.

## 5. METODOLOGIA

Para a elaboração deste estudo foram realizadas as seguintes etapas: levantamento de dados bibliográficos e estatísticos, etapa de geoprocessamento, coleta de materiais *in locu* (sedimentos, amostras de água, fotos e dados) e síntese ambiental. Relativamente ao quadro teórico, utilizou-se, para compreensão dos processos de erosão dos solos, do procedimento cartográfico e de geoprocessamento o embasamento teórico-metodológico dos seguintes autores: Strahler (1977); Christofolletti (1980); Casseti (1995); Fujimoto (1999); Demageot (2000); Ross (2003); Xavier-da-Silva (2004); Guerra (2005); Mafra (2005); Salomão (2005); Bertoni & Neto (2008); Fitz (2008); e Florenzano (2008).

Portanto, com este trabalho buscou-se identificar os processos de degradação dos solos, dando-se ênfase a análise de áreas suscetíveis à erosão na bacia do Arroio Pelotas, com auxílio do geoprocessamento.

A análise do processo de erosão dos solos se dá através de uma visão metodológica sistêmica do meio físico e territorial e, no qual, leva-se em consideração a fragilidade dos elementos pertinentes à paisagem. Segundo Ross (2003) existem atividades de trabalhos aplicados que são representadas, por exemplo, pelos estudos integrados da paisagem, por cartografia, geotécnica, por estudos de suscetibilidade à erosão, enfim, uma grande diversidade de rótulos, que têm no meio físico seu objeto de pesquisa.

Em relação ao método abordado para confecção do material cartográfico das áreas suscetíveis à erosão, utilizou-se o procedimento de síntese cartográfica proposto por Ross (1995) e Fujimoto (1999).

## 5.1. Materiais cartográficos e estatísticos

Para a realização da etapa de cartografia se utilizaram cartas topográficas, *softwares* de cartografia digital e de Sistemas de Informação Geográficas como, por exemplo, *ARCGIS 9.2*; *GOOGLE EARTH 4.2*. e *GLOBAL MAPPER 9*.

Para a elaboração do banco de dados cartográfico se utilizaram fotos aéreas do município de Pelotas disponibilizado pelo Laboratório de Estudos Urbanos e Regionais (LEUR - UFPel); cartas topográficas do Laboratório de Cartografia e Estudos Ambientais (LACEA – UFPel); imagens de satélite do *Landsat 7 ETM+* e *Quickbird* disponibilizados, respectivamente, pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e pelo servidor do *GOOGLE EARTH 4.2*. Os dados complementares sobre a geomorfologia, hidrologia e vegetação foram extraídos do Projeto RADAMBRASIL (IBGE), MMA (Ministério do Meio Ambiente), ANA (Agência Nacional de Águas) e CPRM (Companhia de Recursos Minerais).

Para a delimitação da área de estudo foram utilizados dados de cartas topográficas e de dados digitais. Na tabela 7 estão descritos os detalhes das cartas topográficas, em escala 1:50.000, utilizados para demarcação da área de estudo.

Após o levantamento da área de estudo, com o auxílio das cartas topográficas, delimitou-se a área da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas com a utilização dos *softwares GOOGLE EARTH 4.2*. e *ARCGIS 9.2*.

**Tabela 7** – Cartas topográficas

<i>Nome das Cartas Topográficas</i>	<i>Código Internacional</i>
Canguçu	SH. 22-Y-C-III-4
Passo das Pedras	SH. 22-T-III-2
Monte Bonito	SH. 22-Y-D-IV-1
Lagoa Pequena	SH. 22-Y-D-IV-2
Pelotas	SH. 22-Y-D-IV-3

Organização: Rafael Cruz da Silva.

## 5.2. Etapa de geoprocessamento

O procedimento teórico-operacional, descrito neste item, baseia-se na adaptação de metodologias propostas por Ross (2003); Xavier-da-Silva & Zaidan

(2004); Creprani *et al.* (2008); Fitz (2008b) e que, por sua vez, estão fundamentadas no conceito de ecodinâmica de Tricart (1977).

O procedimento operacional de confecção do mapa de suscetibilidade à erosão da bacia do Arroio Pelotas se deu através da utilização do *software ARCGIS*. Nesta etapa elaborou-se o banco de dados geográficos, ao qual, posteriormente, foram atribuídos valores distintos de acordo com as características peculiares de cada elemento em relação à erosão. Os mapas temáticos utilizados para a etapa de geoprocessamento foram os de vegetação, uso do solo, declividade, curvatura do terreno, solos e intensidade da cobertura vegetal.

Além disso, atribuíram-se pesos ponderados a cada mapa temático de acordo com sua relação de fragilidade natural. Assim, têm-se os respectivos valores baseados na adaptação de trabalhos de Ross (2003); Araújo *et al.* (2007); Creprani *et al.* (2008): solos (20%), declividade (25%), plano de curvatura (10%), uso do solo (20%), intensidade de cobertura vegetal (25%).

**Tabela 8** – Plano de curvatura

<i>Curvatura do terreno</i>		
Forma de relevo	Características de fragilidade	Valor atribuído
Retilíneo	Baixa	1
Convexo	Média	2
Côncavo	Alta	3

Fonte: Modificado de Ross (2003); Xavier-da-Silva e Zaidan (2004); Creprani *et al.* (2008).

**Tabela 9** – Intensidade de cobertura vegetal

<i>Intensidade de cobertura vegetal</i>		
Tipo	Características de fragilidade	Valor atribuído
Vegetação densa	Baixa	1
Vegetação esparsa	Baixa	2
Vegetação rasteira	Média	3
Cultivo agrícola	Média	4
Solo exposto	Alta	5

Fonte: Modificado de Ross (2003); Xavier-da-Silva e Zaidan (2004); Creprani *et al.* (2008).

**Tabela 10** – Declividade

<i>Declividade</i>		
Declividade (%)	Características de fragilidade	Valor atribuído
0-5	Baixa	1
5-10	Baixa	2
10-20	Média	3
>20	Alta	4

Fonte: Modificado de Ross (2003); Xavier-da-Silva e Zaidan (2004); Creprani *et. al.* (2008).

**Tabela 11** – Uso do solo e vegetação

<i>Uso do solo e vegetação</i>		
Uso do solo	Característica de fragilidade	Valor atribuído
Floresta	Baixa	1
Mata ciliar	Baixa	1
Mata de restinga	Baixa	1
Banhado	Baixa	1
Campos	Média	2
Eucalipto	Média	2
Policultura	Média	2
Orizicultura	Alta	3
Área Urbana	Alta	3

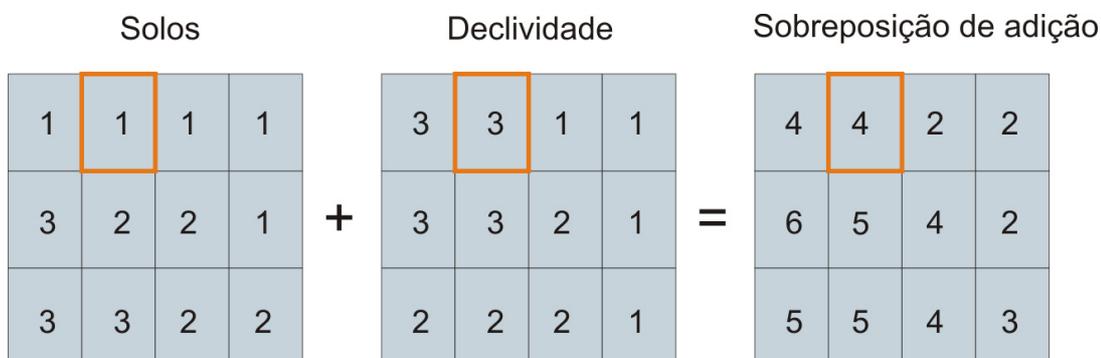
Fonte: Modificado de Ross (2003); Xavier-da-Silva e Zaidan (2004); Creprani *et. al.* (2008).

**Tabela 12** – Solos

<i>Solos</i>		
Grupo de Solos	Características de fragilidade	Valor atribuído
Neossolo (RD)	Alta	3
Luvissolo (PB)	Alta	3
Argilossolo (PV)	Média	2
Planossolo (PL)	Média	2
Aluvião	Média	2
Orgânico (HG)	Baixa	1
Glei (H)	Baixa	1

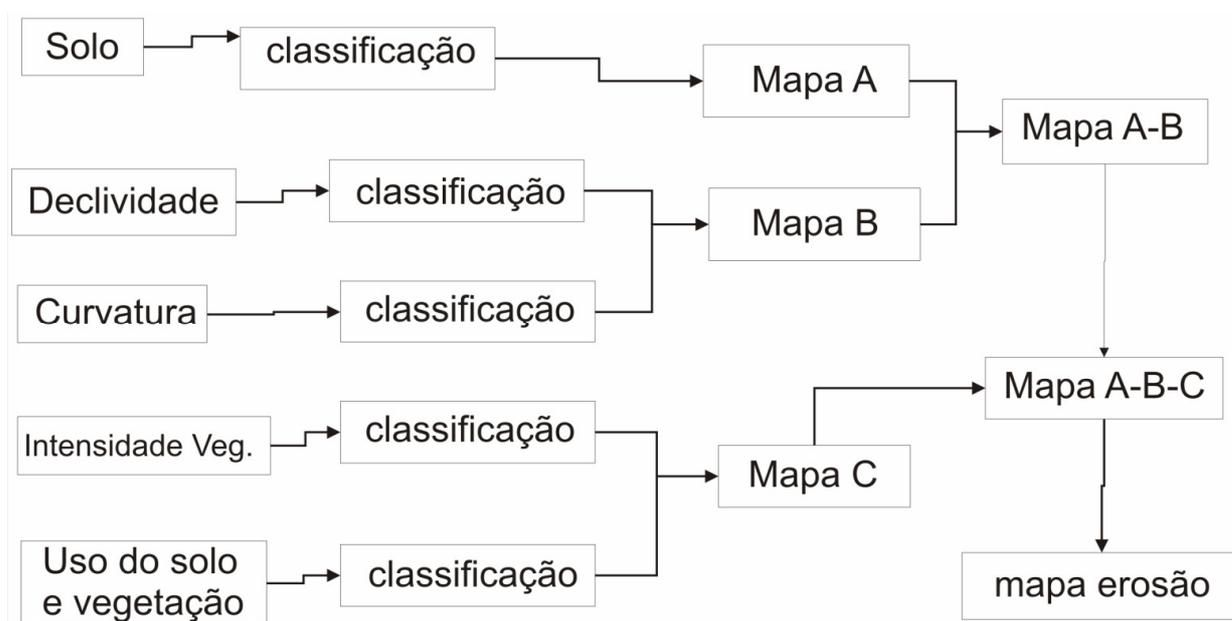
Fonte: Modificado de Ross (2003); Xavier-da-Silva e Zaidan (2004); Creprani *et. al.* (2008).

Para confeccionar o mapa de suscetibilidade à erosão utilizou-se a operação de geoprocessamento de adição (*add*) na aplicação *sobreposição* (*overlay*) do *ARCGIS* (Fig.23).



**Figura 23** – Método de sobreposição (*overlay*).  
 Fonte: FITZ (2008b).

De acordo com Fitz (2008b), esta operação de adição no módulo *overlay* (sobreposição de imagens), assim como as demais, trabalha cada célula da imagem individualmente, ou seja, neste caso, soma-se uma a uma as células (*pixels*) de cada imagem com as suas correspondentes.



**Figura 24** – Fluxograma da etapa de geoprocessamento.  
 Organização: Rafael Cruz da Silva.

Nesta etapa, depois da atribuição de valores de fragilidade, passou-se a fase de sobreposição (*overlay*) dos mapas temáticos de solo, curvatura do relevo e

declividade. Assim, obteve-se o mapa das características morfológicas e pedológicas relativas à erosão (Mapa A-B).

Na segunda fase desta etapa foram sobrepostos (*overlay*) os mapas de uso do solo, vegetação e intensidade de cobertura vegetal (Mapa C). E, por último, foram sobrepostos os três mapas básicos (Mapas A, B e C), isto é, a obtenção do Mapa A-B-C que representa o mapa de erosão potencial (susceptibilidade à erosão).

Assim, finalizada esta etapa de geoprocessamento, obtiveram-se cinco classes ou unidades de suscetibilidade à erosão: baixa, moderada, moderada-forte, forte e muito-forte.

### 5.3. Análise em laboratório de sedimentos

A análise dos sedimentos coletados, dispersados ao longo do canal fluvial, propicia a compreensão do processo de erosão-assoreamento, pois se compreende que o assoreamento seja o resultado dos processos erosivos situados nas áreas das vertentes e dos canais fluviais de drenagem adjacentes.

O procedimento em laboratório consistiu na preparação dos grãos para a amostragem e, posteriormente, a seleção e classificação de acordo com a abertura de cada peneira em comparação à escala de Wentworth (Tab.13).

**Tabela 13** – Classificação dos sedimentos (escala de Wentworth).

<i>Peneira - intervalo de abertura (mm)</i>	<i>Classificação dos sedimentos</i>
2-4	Grão
1-2	areia muita grossa
0,50-1	areia grossa
0,250-0,50	areia média
0,125-0,250	areia fina
0,062-0,125	areia muito fina
0,062>	silte-argila

Fonte: Adaptado de SILVA, 2003.

Procedimentos em laboratório para análise granulométrica:

- limpeza dos grãos coletados em bacia (para obter grão solto e limpo);
- secagem (+- 70°C) – material grosso;
- quarteamento (retirada de amostra);
- pesagem na balança de precisão;
- amostragem (40g);
- jogo de peneira (Intervalo 1φ inteiro);
- retirada de amostra para malha (peneira);
- pesagem na balança de precisão;
- tabulação dos resultados.



**Figura 25** – Procedimento de análise granulométrica.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

Neste procedimento foram analisadas cinco amostras de sedimentos coletadas ao longo do Arroio Pelotas e, posteriormente, pesadas em balança de precisão (Fig.25). A partir de amostras de sedimentos (40g) passou-se a etapa de seletividade dos grãos em um jogo de peneiras (Fig.26).



**Figura 26** – Jogo de peneiras.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

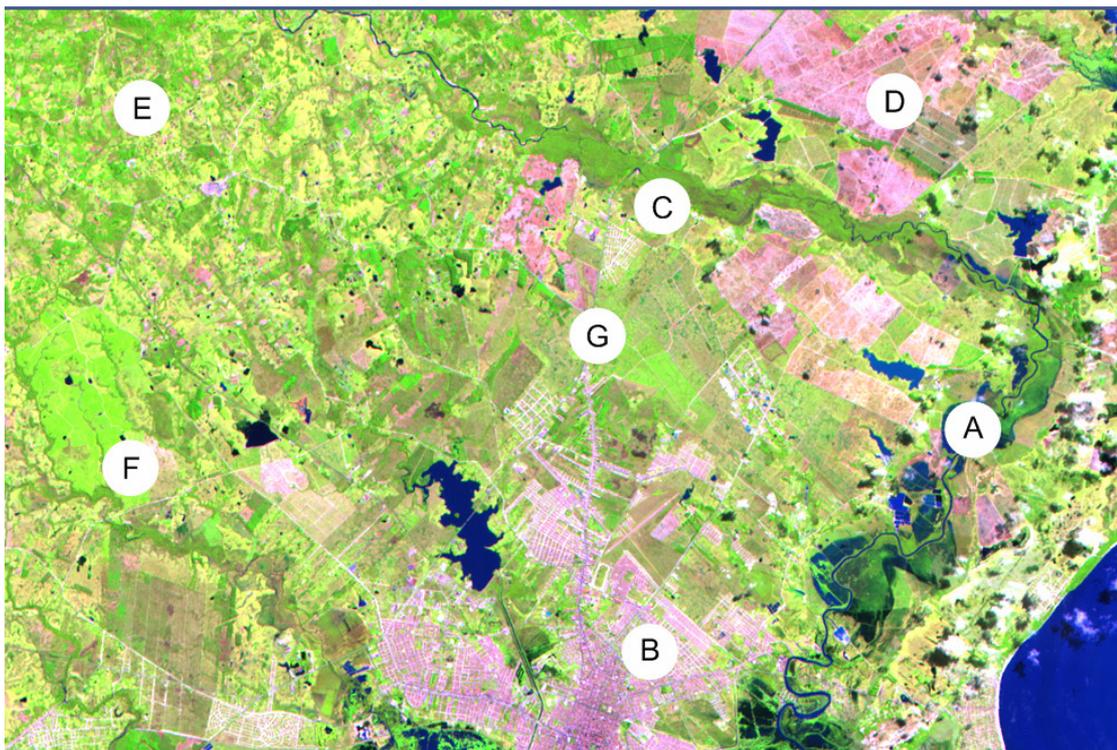
### 6.1. Análise do uso do solo através da aplicação do sensoriamento remoto

A presente área de estudo é constituída por um mosaico de paisagens, ou seja, formada por distintas áreas naturais: ambientes lacustres, campos de planície e várzeas que permitem o desenvolvimento de variadas atividades econômicas, materializadas na diversidade de atividades agrícolas: a monocultura (orizicultura), a policultura (pêssego, milho e fumo) e a silvicultura (eucalipto).

O sensoriamento remoto é uma ferramenta tecnológica que representa um recurso preciso na identificação da ocupação territorial. Através do processamento das imagens de satélite, em *softwares* específicos, pode-se extrair dados referentes ao uso do solo, estresse hídrico, cobertura vegetal, composição geológica e sedimentos suspensos nos corpos d'água. É a tecnologia de aquisição, à distância, de dados da superfície terrestre, obtidos a partir de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas ou órbitas (satélites) (FLORENZANO, 2008).

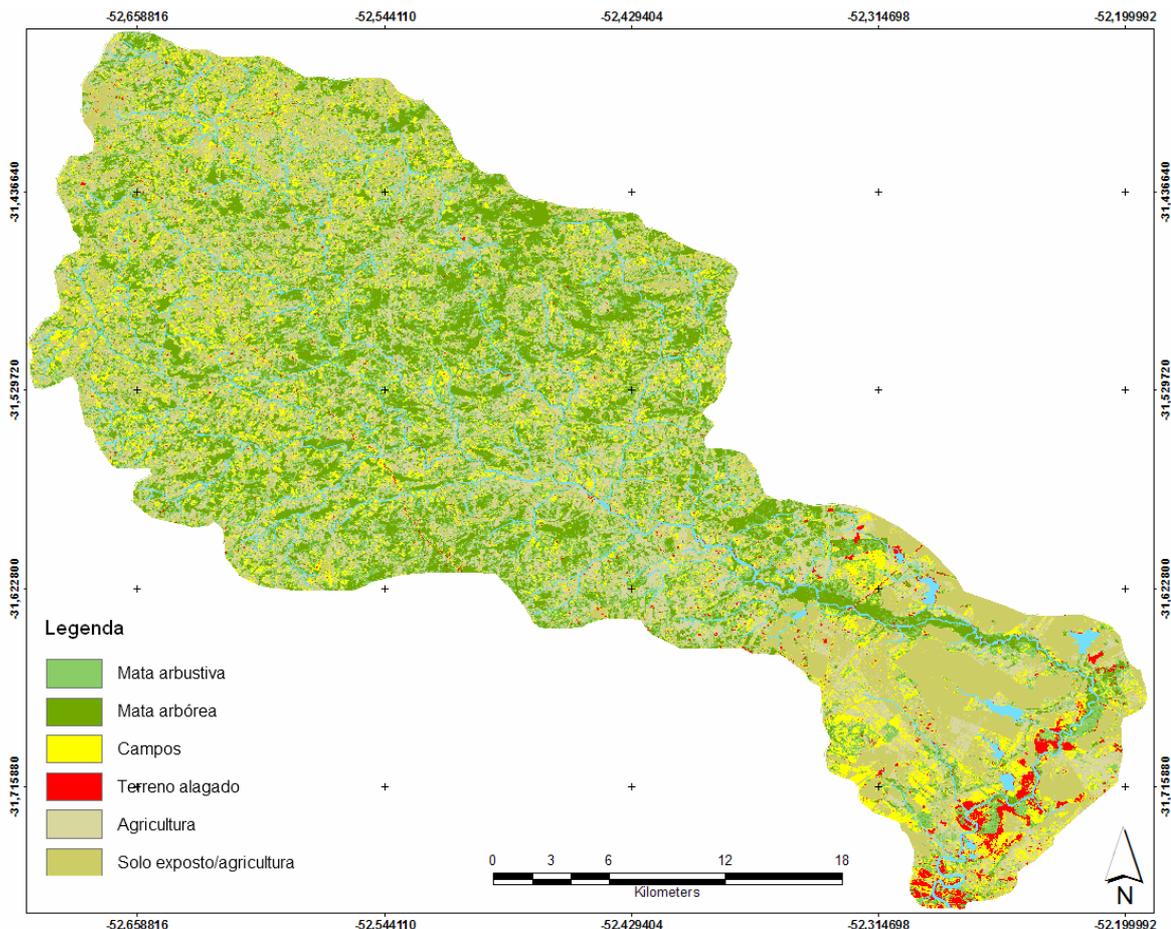
Na imagem de satélite de composição RGB 3/4/5 do Landsat 7 (Fig. 27) pode-se observar a complexa ocupação do solo no baixo curso do Arroio Pelotas. As áreas urbanas aparecem na cor magenta, as terras destinadas ao cultivo do arroz em rosa, os corpos hídricos em azul e a cobertura vegetal em diferentes tons de verde.

O sensor ETM+ do satélite LANDSAT-7, cuja resolução espacial é de 30 metros, tem a capacidade de distinguir objetos que medem, no terreno, 30 metros ou mais. Isto equivale dizer que espaços de 30 por 30 metros (900m<sup>2</sup>) é a menor área que o sensor TM consegue “ver ou enxergar” (FLORENZANO, 2002).



**Figura 27** – Interpretação da imagem de satélite Landsat 7- INPE - 3/4/5. Elementos delimitados: Arroio Pelotas (A), área urbana (B), mata ciliar (C), plantação de arroz (D), policultura (E), monocultura (F), campos (G).  
Organização: Rafael Cruz da Silva.

Para a classificação do uso do solo utilizou-se o método de máxima verossimilhança (*Max-Ver*), que conforme Fitz (2008b) esse método representa a evolução dos demais; o método de verossimilhança (*Max-Ver*) certamente é, hoje, o mais utilizado dentre os classificadores supervisionados.



**Figura 28** – Classificação pelo método de verossimilhança. Landsat 7 ETM+ - INPE.  
Organização: Rafael Cruz da Silva.

## 6.2. Uso do solo

Sabe-se que a degradação ambiental está intrinsecamente relacionada com as condições econômicas de uma determinada região. Por isso, pesquisadores que trabalham com a questão da degradação dos solos reiteram que este problema ambiental é mais freqüente nos países subdesenvolvidos, sendo, às vezes, quase imperceptíveis em países desenvolvidos. Assim, é necessário considerar outros fatores além dos elementos naturais, tais como, a política ambiental de cada país, os projetos de educação ambiental, o cumprimento das leis ambientais e a fiscalização das áreas de preservação e conservação ambiental.

O uso do solo representa a forma de como se dá a apropriação do homem em relação aos recursos naturais. Assim, o uso do solo será mais intenso quanto maior a disponibilidade de capital. Todavia, não se pode estabelecer uma relação simplória de quanto maior o capital aplicado maior serão os impactos ambientais,

pois, como visto, são nos país subdesenvolvidos que ocorrem, com maior frequência, problemas de degradação dos solos, devendo-se, ao revés, fazer uma relação entre a política ambiental de cada país e as práticas de conservação dos solos adotadas.

Os problemas decorrentes da erosão dos solos e do assoreamento estão relacionados com a abertura e uso inadequado de áreas voltadas à agricultura e a pecuária, incluindo a destruição de áreas de preservação permanente (matas de encostas e matas ciliares), além da ampliação de áreas de expansão urbana. Outra causa não menos importante, porém mais localizada, é a abertura de áreas para mineração (SCHIAVETTI e CAMARGO, 2002).

### **6.2.1. Policultura**

Nas áreas de predomínio da policultura sobressaem plantações de pêssegos, fumo e milho. Estes cultivares estão associados, normalmente, às atividades familiares, mesmo agroindustriais, que dependem de mão-de-obra familiar.

A atividade pessegueira se constitui em uma das atividades mais tradicionais da região, abrangendo os municípios de Pelotas, Canguçu, Morro Redondo e Arroio do Padre. De acordo com a legislação ambiental – Lei nº 4.771/65 do Código Florestal –, porém, esta atividade ocorre em áreas não adequadas, pois como se pode observar nas imagens abaixo (Fig.29) as plantações ocorrem em topos de morros e/ou nas encostas destes morros, sem a utilização de curvas de nível para que se evite a erosão.



**Figura 29** – Pessegueiros.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

Por sua vez, a erosão dos solos acarreta, de forma indireta, prejuízos financeiros para o pequeno agricultor na medida que a perda da camada fértil e dos nutrientes dos solos demandará reposição destes através de aplicações de adubos e fertilizantes.



**Figura 30** – Plantação de milho.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

O plantio de milho representa um complemento das atividades principais, por isso as áreas destinadas a este tipo de cultivo ocupam poucos hectares em relação ao total das terras de plantio.



**Figura 31** – Plantação de fumo.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

Assim como o milho, o plantio de fumo está restrito a pequenas áreas nas propriedades rurais, representando, contudo, uma atividade mais restrita do que o plantio de milho, já que são poucos os agricultores que se dedicam a esta cultura.

### **6.2.2. Monocultura**

A monocultura é representada, principalmente, por extensas lavouras de arroz, as quais estão localizadas na Planície Costeira. Esta atividade não é desempenhada pelo pequeno agricultor, mas pelo latifundiário, haja vista que requer grandes extensões de terras e maquinários custosos, o que a inviabiliza para o agricultor familiar. Por sua vez, este tipo de cultivo está associado a solos do tipo *planossolo hidromórfico*, pois são necessários solos com boa capacidade de retenção de água.



**Figura 32** – Plantação de arroz em latifúndio.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

Entre as atividades agrícolas desempenhadas na área da Bacia do Arroio Pelotas a orizicultura representa a atividade que dispõe de maior capital, por isso mesmo a que proporciona as maiores modificações na paisagem, pois utiliza maquinários modernos e grande quantidade de insumos, gerando, como conseqüência, a contaminação dos solos e dos cursos d'água por agrotóxicos, além do aumento nas taxas de erosão, proporcionando, ainda, impactos negativos em relação às matas ciliares, pois muitos arroteiros as desmatam para ampliar as suas áreas produtivas.

Deve-se destacar, ainda, que aos poucos, de forma ainda incipiente, mas contínua, os latifundiários têm ampliado as áreas do cultivo de soja na região. As terras utilizadas para este plantio, contudo, estão localizadas mais ao norte e representam uma pequena parcela da área de estudo.

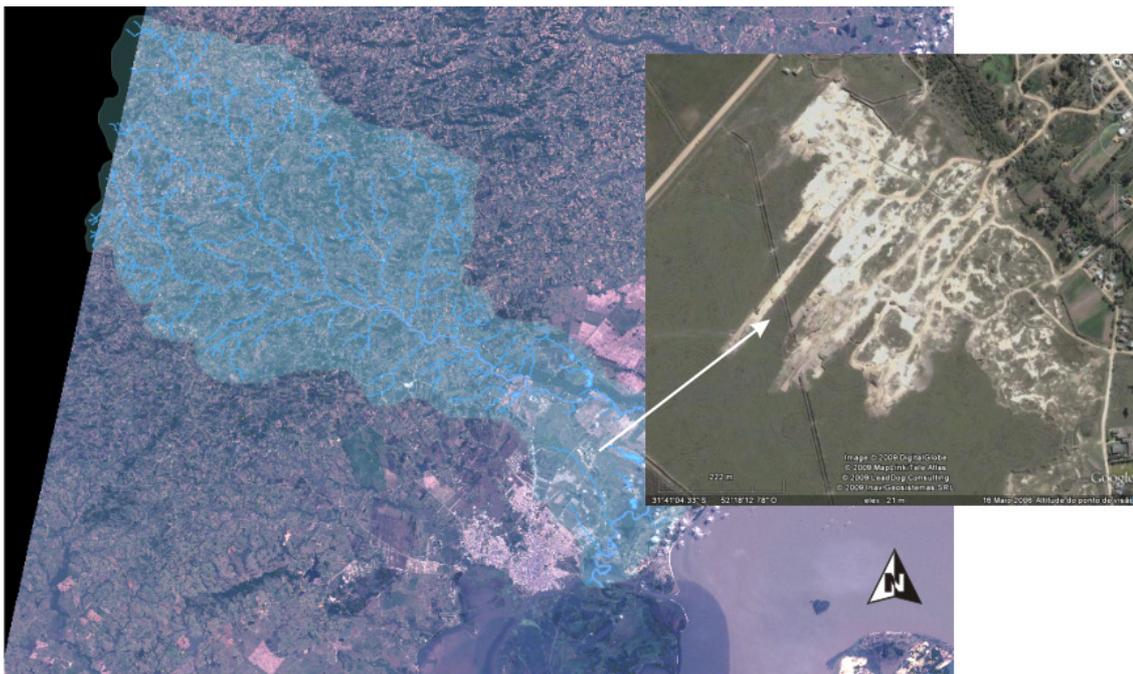
### 6.2.3. Olarias

A atividade oleira representa uma das formas mais agressivas ao meio ambiente, isto em decorrência de sua ação direta sobre o solo, pois diferentemente da silvicultura onde o bem material a ser utilizado é “produzido”, na atividade oleira o bem material ou matéria prima é o solo (argila). Este bem natural, devido as suas características naturais, não pode ser recuperado em um período curto de tempo, proporcionando a perda por definitivo do solo no local da extração.



**Figura 33** – Olarias na Sanga Funda. Olaria “São Pedro” (esquerda).  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

Assim, as áreas de ocorrência de extração (barreiras) estão sujeitas à degradação dos solos, sendo que a área de maior destaque desta atividade extrativista na região da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas é a localidade da Sanga Funda (Fig.34).



**Figura 34** – Localização da barreira na Sanga Funda.  
Organização: Rafael Cruz da Silva.



**Figura 35** – Barreira em funcionamento. Sanga Funda.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

Outro fato agravante é de que após as olarias “superutilizarem” um determinado lote do solo (barreira), estas simplesmente abandonam a área sem que haja uma recuperação do ambiente, formando, com isso, áreas de solos estéreis ou verdadeiros lagos artificiais. Na figura 36 é possível observar um lago artificial formado por uma barreira abandonada. Normalmente estas áreas estão associadas aos solos *planossolos hidromórficos*, os quais apresentam em seu *horizonte B* boa quantidade de argila, matéria-prima para as olarias.



**Figura 36** – Barreira abandonada. Sanga Funda.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

### 6.3. Vegetação

Para a análise da vegetação na área da bacia do Arroio Pelotas utilizou-se como referência o levantamento fitogeográfico de Rosa (1985):

**6.3.1. Campos da planície** (altitude inferior a 30 metros) – são classificados como “grossos”, onde a cobertura vegetal é inferior a 60% e a vegetação rasteira principal é a grama forquilha, seguida da espécie conhecida como “barba-de-bode”. Esses campos têm poucas espécies de gramíneas e mesmo estas de baixo valor

forrageiro, o que faz com que o gado apresente elevadas perdas de peso no inverno.

**6.3.2. Campos de coxilhas** (100-150 metros) – classificados como “mistos”, predominando as gramíneas do gênero “paspalum”, possuindo uma cobertura vegetal ao redor de 60%.

**6.3.3. Campos de relevo alto e ondulado** (200-400 metros) – as pequenas áreas de campos apresentam pastagem de boa qualidade, são limpos, têm vegetação baixa e muitas leguminosas.

De acordo com Rambo (2000), a vegetação na Serra dos Tapes, entre Pelotas e Piratini, é predominantemente de pastagens subarbustivas, com flora baixa de ervas e subarbustos com inflorescência vistosa.

Hoje, porém, pouco resta da mata nativa que foi sendo desmatada ao longo da história da ocupação desta região. A paisagem atual é composta por extensas áreas de cultivo de arroz irrigado, de policultura e de florestas de eucaliptos, associada, ainda, à atividade pecuária.

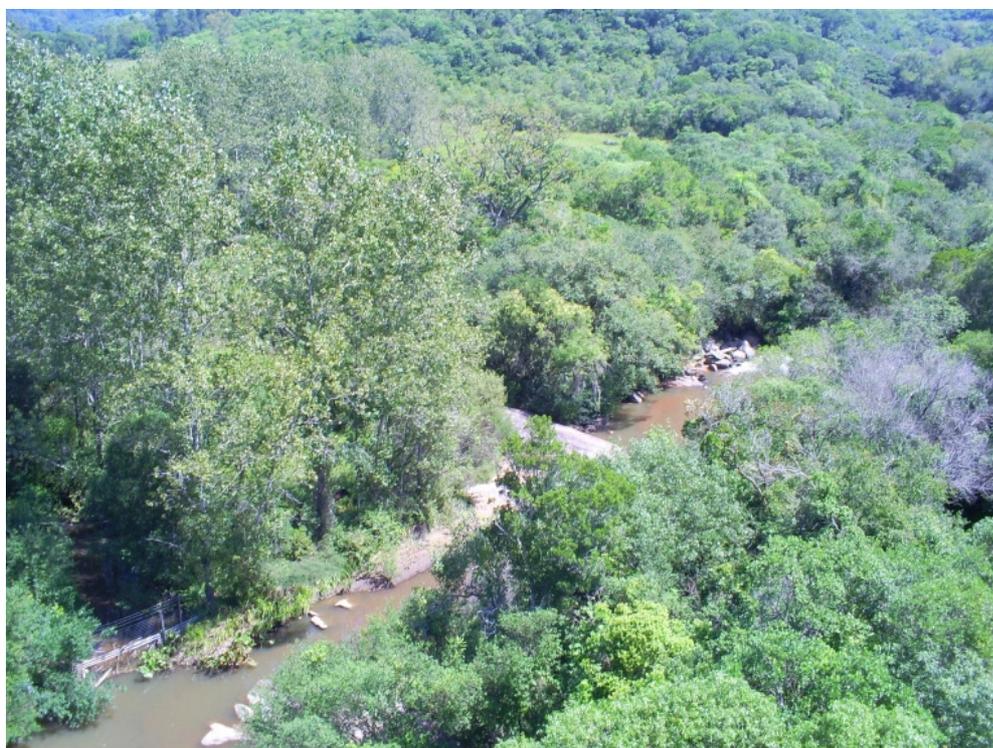


**Figura 37** – Paisagem rural. 1) Plantação de milho; 2) Mata arbustiva; 3) Campos formados por gramíneas; 4) Plantação de Eucalipto; 5) Araucária (angustifolia).  
Organização: Rafael Cruz da Silva.

Na lição de Ab’ Saber (2003), nas terras do Escudo Uruguaio-sul-riograndense, entre coxilhas, cerros e restos aplainados de maciços cristalinos – que

nunca ultrapassam 450 metros de altitude – existe uma grande diversificação de ecossistemas: matilhas subtropicais, faixas de campos rupestres, bosques de espinilho e transições para pradarias mistas e florestas-galeria.

Segundo a Embrapa (2007), nos vales fluviais encaixados, formados por vertentes íngremes, a floresta (mata ciliar) se assemelha à mata mesófila, apresentando domínio do extrato arbóreo (Fig.38), com dossel contínuo nas áreas melhor conservadas. Nos vales mais amplos e de solos frequentemente encharcados, encontram-se as várzeas, correspondendo à vegetação de porte herbáceo-arbustivo (Fig.39).



**Figura 38** – Extrato arbóreo em vale fluvial no Arroio Caneleiras.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.



**Figura 39** – Mata ciliar herbáceo-arbustiva no baixo curso do Arroio Pelotas.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

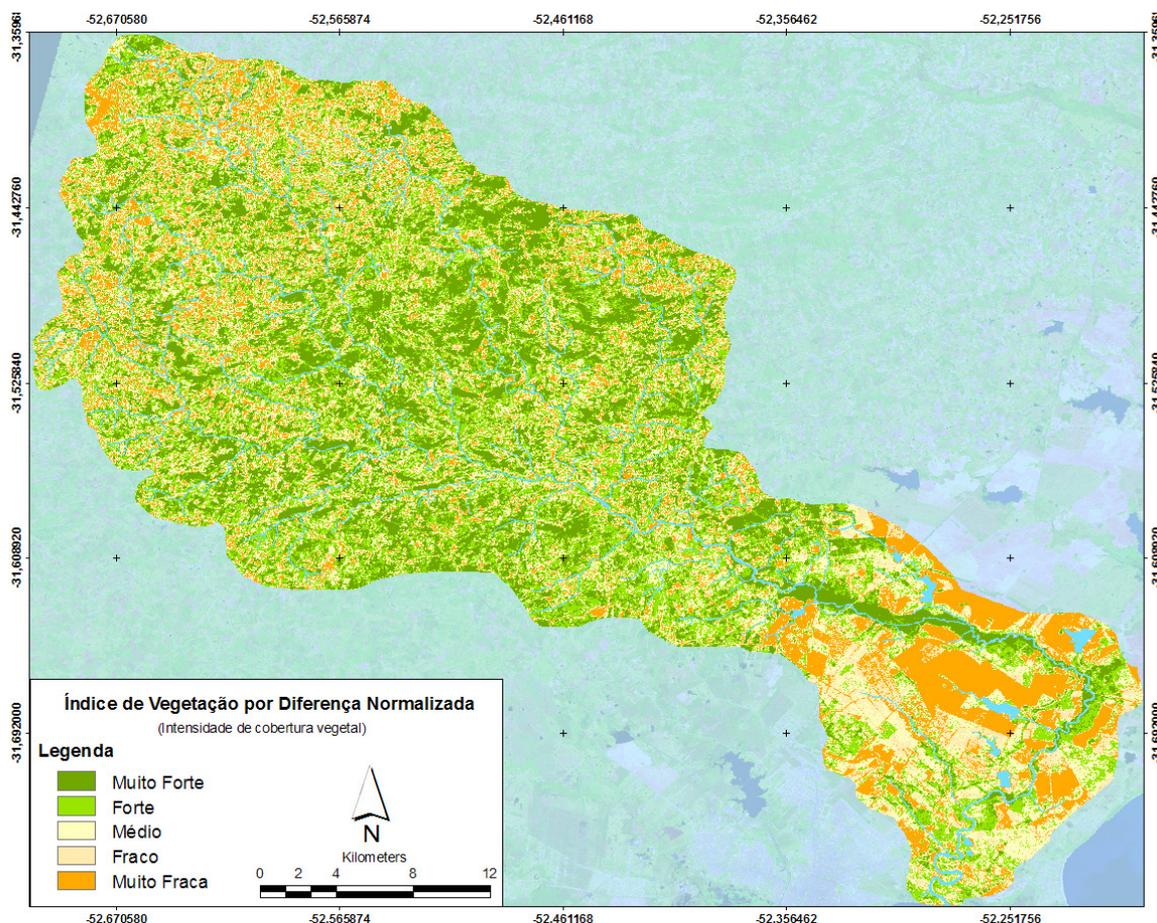
As vertentes em uma bacia arborizada são pouco “erodidas”, mas muito alteradas em profundidade e apenas escoam águas límpidas porque transportam unicamente substâncias dissolvidas ou muito finas. Por conseguinte, estas linhas de água têm uma forte competência e, portanto, são susceptíveis de transportar calhaus e de escavar desfiladeiros. Quando no começo do século se arborizaram os Alpes do Sul travou-se, simultaneamente, a perda de solo e favoreceu-se o encaixe de torrentes (DEMAGEOT, 2000, p.99).

Para se averiguar a intensidade de cobertura vegetal sobre o solo, utilizou-se o *índice de vegetação por diferença normalizada* (NDVI). Este parâmetro permite medir a quantidade de vegetação presente sobre a superfície, sendo expressa pela seguinte fórmula:

$$\text{NDVI} = (\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_3)$$

onde,  $\rho_4$  é a refletância no infra-vermelho próximo (banda 4), e  $\rho_3$  é da região do visível (vermelho) (banda 3).

O *índice de vegetação por diferença normalizada* (NDVI) é a resultante da diferença entre a reflectância do infravermelho próximo (IVP) e reflectância do vermelho (V), dividida pela soma das duas reflectâncias respectivamente (TOWNSHEND *et al.*, 1994 *apud* FECHINE e GALVÍNIO, 2008).



**Figura 40** – Mapa de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).  
Organização: Rafael Cruz da Silva.

Os resultados obtidos através do *índice de vegetação por diferença normalizada* (NDVI) demonstraram que a área de cobertura vegetal mais densa abrange a parte inferior da encosta, enquanto que a de cobertura vegetal média está localizada na área da Serra do Sudeste, e, por fim, a de menor intensidade se encontra na Planície Costeira.

## 6.4. Geomorfologia

A geomorfologia representa um dos aspectos fundamentais nas pesquisas relativas à erosão dos solos. Nos estudos geomorfológicos dá-se grande relevância para o microrrelevo, no qual determina o deslocamento das águas superficiais; bem como a morfologia das vertentes que podem interferir na energia potencial do escoamento superficial.

As características das encostas, tais como declividade e forma, e rugosidade do terreno, podem ampliar ou diminuir a velocidade do escoamento superficial. Encostas com maior declividade aumentam o volume e a velocidade da enxurrada, pois não há tempo suficiente para que o solo absorva grande quantidade de água. Assim, parte da água da chuva escoou pela superfície e ainda tem sua velocidade aumentada em função da força da gravidade (BOTELHO e SILVA, 2004).

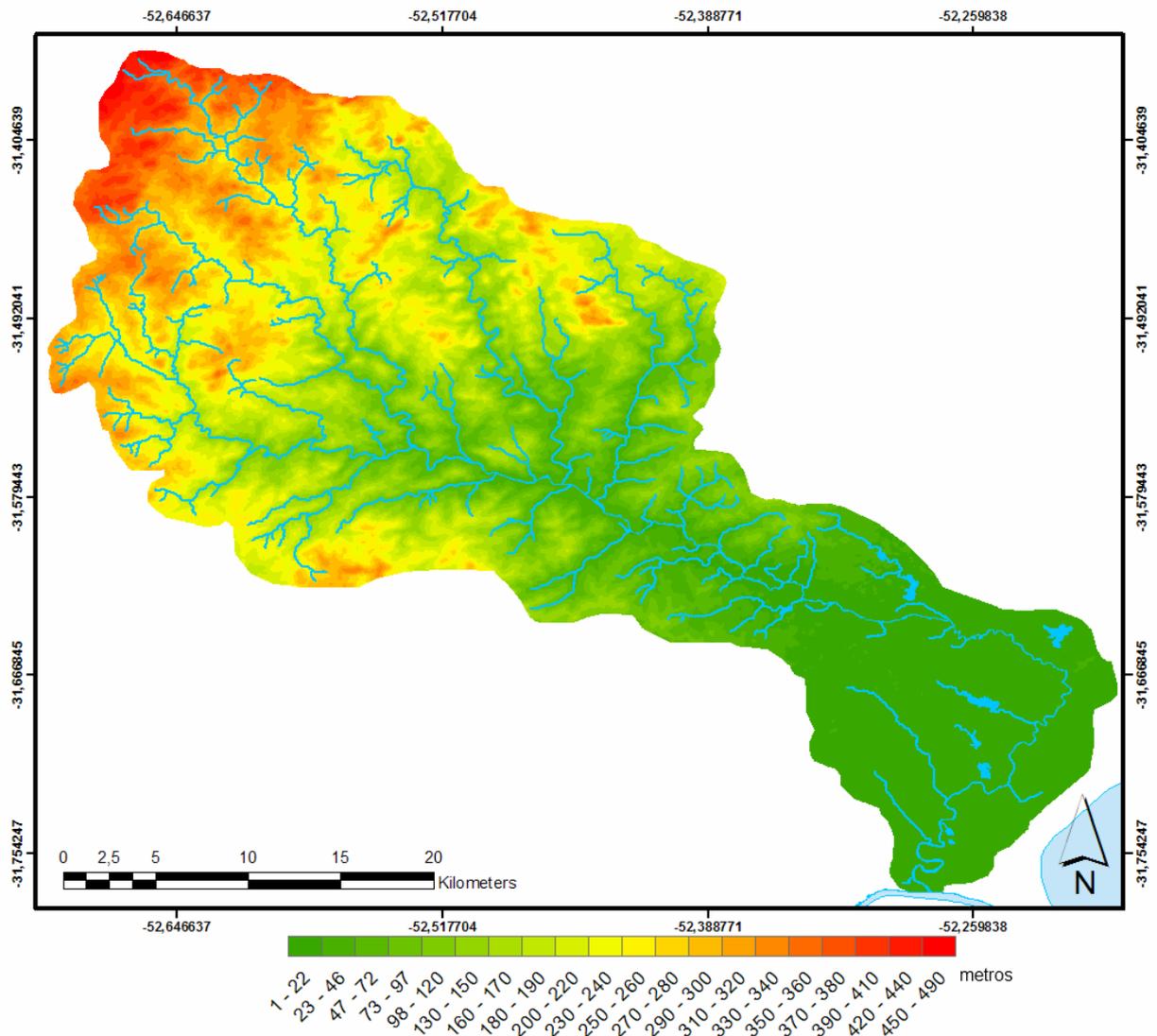
A área da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas compreende, em relação às unidades geomorfológicas, a Planície Costeira e o Planalto Sul-Rio-Grandense, também conhecido por Serra do Sudeste.

Na classificação proposta por Ross (2001) a Serra do Sudeste pertence à unidade de planaltos em *núcleos cristalinos arqueados*, fazendo parte do *cinturão orogênico* da faixa atlântica, correspondendo aos dobramentos antigos soerguidos em forma de abóbadas. Para Ab' Saber (1972 *apud* ROSS, 2001), o nordeste oriental e o sudeste do Rio Grande do Sul são áreas dos escudos orientais sul-americanos onde é particularmente expressiva a presença de núcleos cristalinos de conformação geral dômica.

Esta unidade geomorfológica, onde predominam os processos de erosão, tem como características, segundo Ross (2001), a apresentação de uma litologia diferenciada, com idades e gêneses diversas ao longo do Pré-cambriano, apresentando formas ligeiramente convexas, sendo que as partes mais elevadas não ultrapassam os 450 metros.

O domínio das colinas, pluriconvexizadas, as quais a tradição convencionou chamar de coxilhas. Seus campos pastoris são prados mistos: um tipo de *prairie*, da margem do grande domínio das pradarias pampeanas. É uma região de drenagem perene, porém menos densa e volumosa do que

aquela que ocorre no planalto basáltico sul-brasileiro. As largas calhas aluviais de seus rios tendem para o padrão meândrico, incluindo sucessivas coroas arenosas. Seus rios possuem pouco volume d'água e participam de sub-bacias hidrográficas pouco densas. A vegetação ciliar que marginava as "sangas" – córregos da nervura menor da drenagem – foi extremamente devastada, determinando ligeiros encaixamentos ravinantes e forte aceleração da erosão fluvial. Setores atualmente intermitentes das cabeceiras de drenagem parecem ter sido perenes em um passado recente (AB' SABER, 2003).



**Figura 41** – Mapa topográfico. Altitude em metros (m).  
 Fonte: SRTM/NASA, 2009.  
 Organização: Rafael Cruz da Silva.

Em relação a Planície Costeira, esta abrangem parte do médio e baixo curso da bacia do Arroio Pelotas. Esta unidade geomorfológica, segundo Ross (2001), tem sua gênese ligada a áreas planas geradas por sedimentos recentes de

origem marinha e lacustre. Essa unidade conhecida como planície da Lagoa dos Patos está geralmente associada a depósitos do Quaternário, principalmente do Holoceno. Ainda, conforme Rosa (1985), a Planície Costeira se encontra em formação graças ao trabalho constante das águas, o qual é feito no sentido do continente para o oceano, pela descamação das elevações graníticas da Serra dos Tapes.



**Figura 42** – Paisagens da área da bacia do Arroio Pelotas. 1) Planície Costeira. 2) Afloramento de rocha (granito) com morfologia de topo arredondado. 3) Serra do Sudeste com topos convexos.  
Organização: Rafael Cruz da Silva.

Através da incorporação de elementos morfoclimáticos e fitogeográficos na análise geomorfológica, Ab' Saber (2003) propôs a diferenciação da paisagem

brasileira em sete grandes unidades, os chamados *Domínios Morfoclimáticos Brasileiros*.

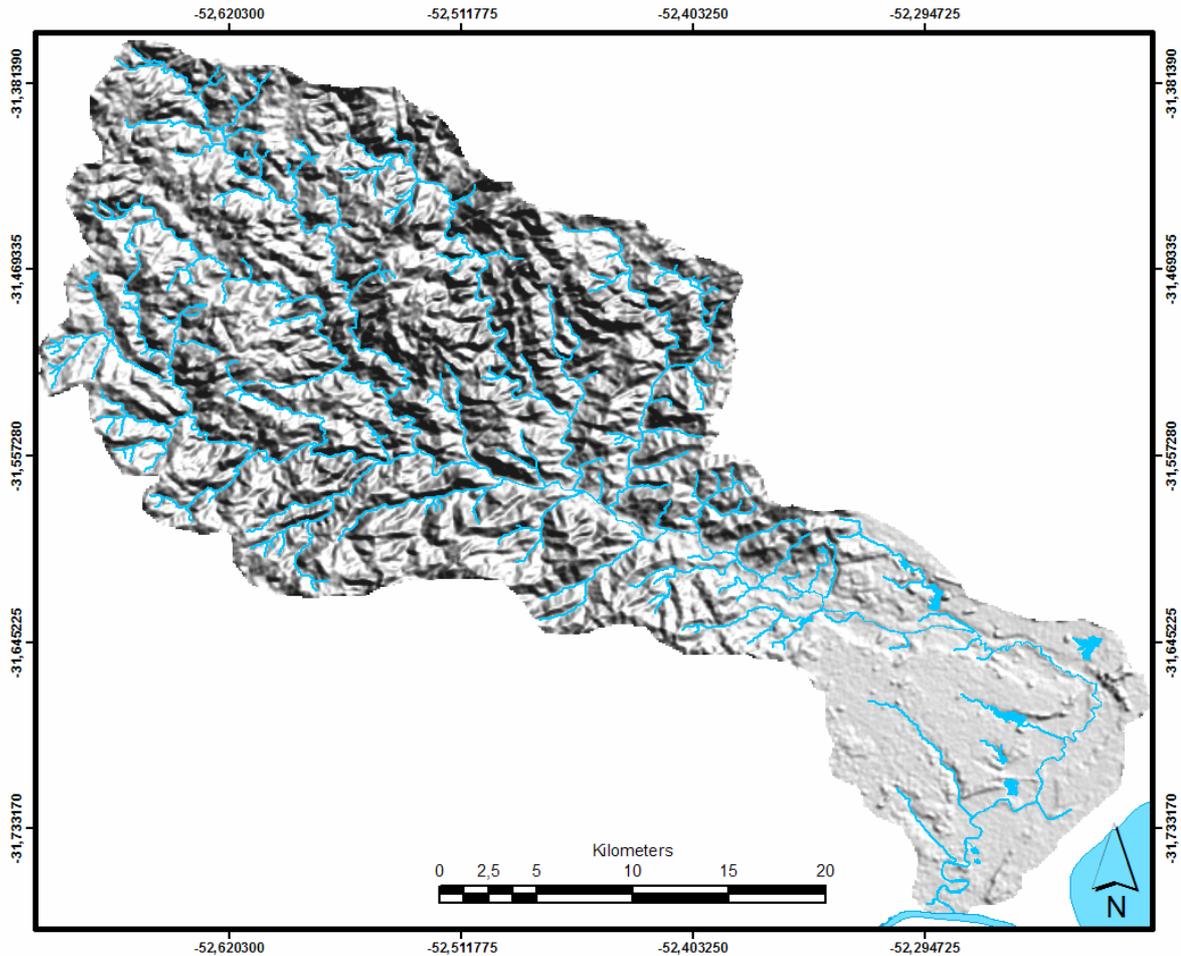
Assim, neste contexto a presente área de estudo compreende os seguintes domínios morfoclimáticos propostos por Ab' Saber: domínio morfoclimático de Mares de Morros, de Pradaria e a Faixa de Transição (união desses domínios ou área não diferenciada).

Em relação a morfologia, defini-se a morfografia e a morfometria como o estudo qualitativo e quantitativo das formas das vertentes, respectivamente. A partir do conhecimento das formas do relevo e, em especial, as formas do terreno, se pode determinar o comportamento hidrológico superficial e, por conseqüência, o tipo de erosão atuante em determinada área.

Para a análise da morfometria são cada vez mais utilizados os modelos digitais de terreno (MDT), no qual estes proporcionam a obtenção de dados como declividade, formas das vertentes, topografia, direção do escoamento superficial e delimitação de bacias hidrográficas.

Os modelos digitais de relevo são representações matemáticas do terreno, construídos a partir de dados espaciais verticais (z), e de localização (x) e (y). As informações extraídas destes modelos são essenciais para a geomorfologia, em especial para a morfometria.

Os dados topográficos fornecem variáveis importantes e freqüentemente solicitados nas análises ambientais e nos empreendimentos de engenharia. Os estudos envolvendo dados topográficos têm se voltado à caracterização de unidades da paisagem com base em variáveis morfológicas, estreitamente ligadas a feições geométricas da superfície sob análise (Doornkamp; King, 1971; Meijerink, 1988 *apud* VALERIANO, 2008).



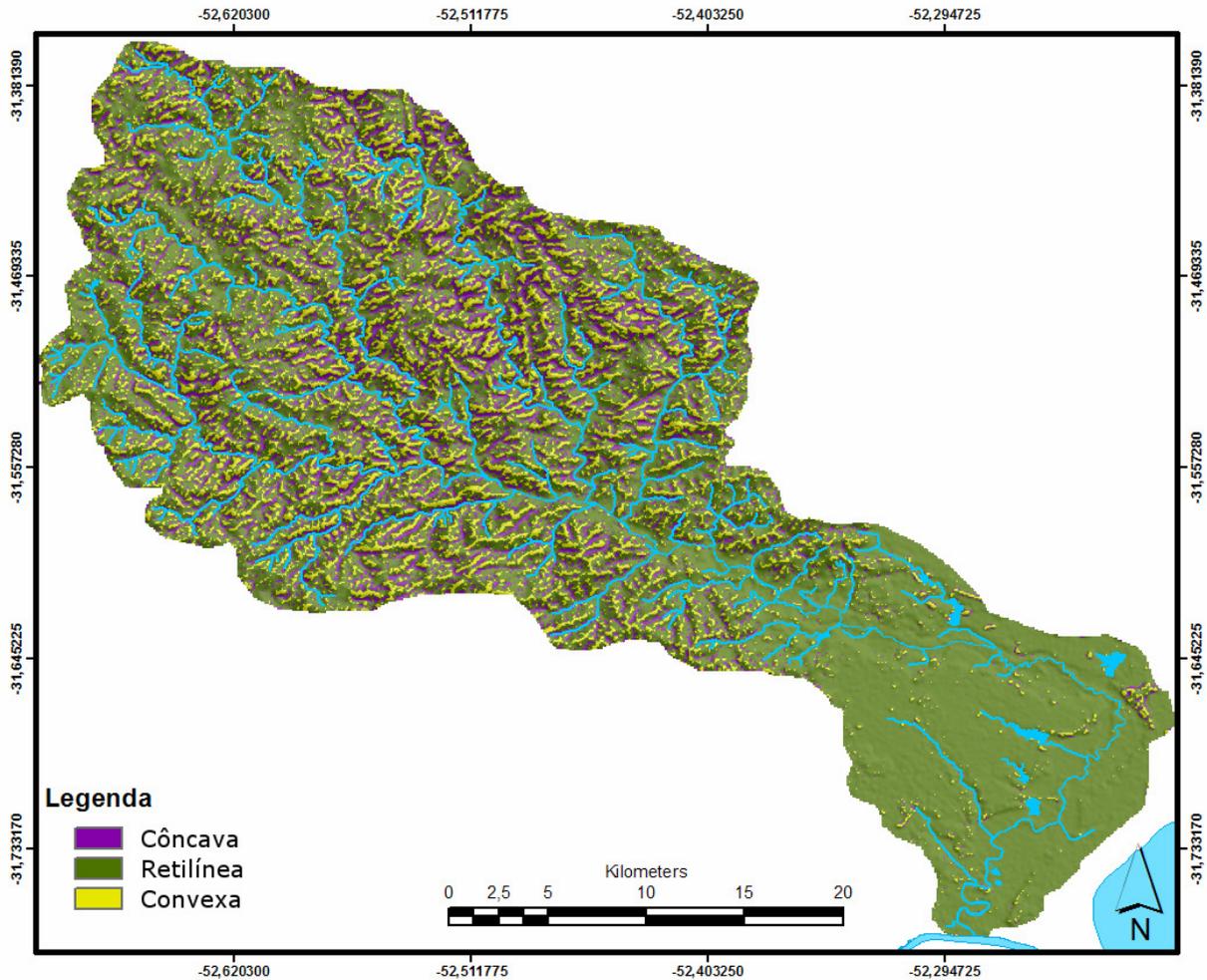
**Figura 43** – Modelo digital de terreno (MDT).

Fonte: SRTM/NASA, 2009.

Organização: Rafael Cruz da Silva.

Um outro exemplo de obtenção de dados dos modelos digitais se refere ao plano de relevo (convexo, retilíneo e côncavo), que predefinem a forma de escoamento superficial das águas e, por conseqüência, a tipologia erosiva.

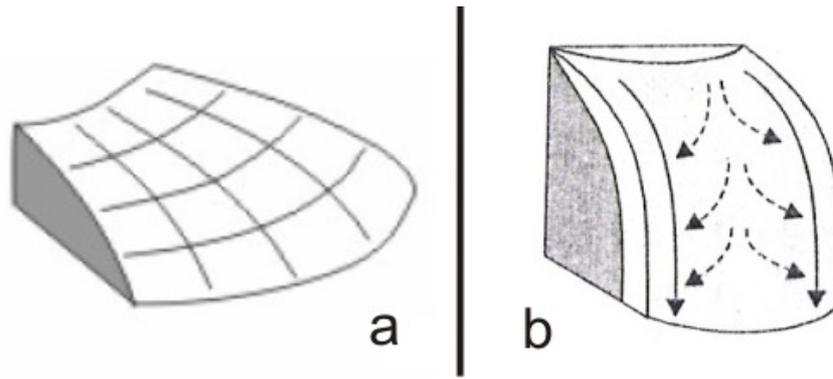
De acordo com Valeriano (2008), a curvatura vertical se refere à forma convexo/côncavo do terreno, quando analisado em perfil. Essa variável está relacionada aos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo, através da superfície, causados pela gravidade.



**Figura 44** – Plano de curvatura vertical.  
 Fonte: SRTM/NASA, 2009.  
 Organização: Rafael Cruz da Silva.

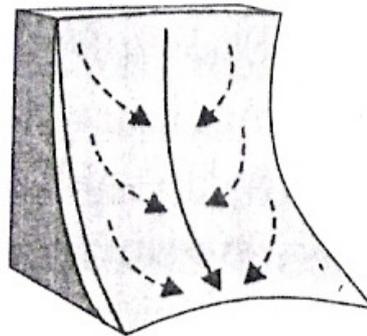
De acordo com Rezende (1985 *apud* CAVICHILO, 2005) a forma convexa gera a divergência das águas, favorecendo a erosão mais uniforme e laminar, não ocorrendo deposição, sendo que sementes e nutrientes são retirados do sistema.

O papel da forma da encosta está na concentração ou dispersão dos fluxos de água. Encostas côncavas acabam concentrando maior volume de água, propiciando a saturação dos poros e, conseqüentemente, diminuindo a capacidade de infiltração do solo, acelerando o escoamento superficial. Encostas convexas atuam como zonas dispersoras de água e, devido à maior declividade, contribuem para aumentar a velocidade do escoamento superficial (BOTELHO e SILVA, 2004).



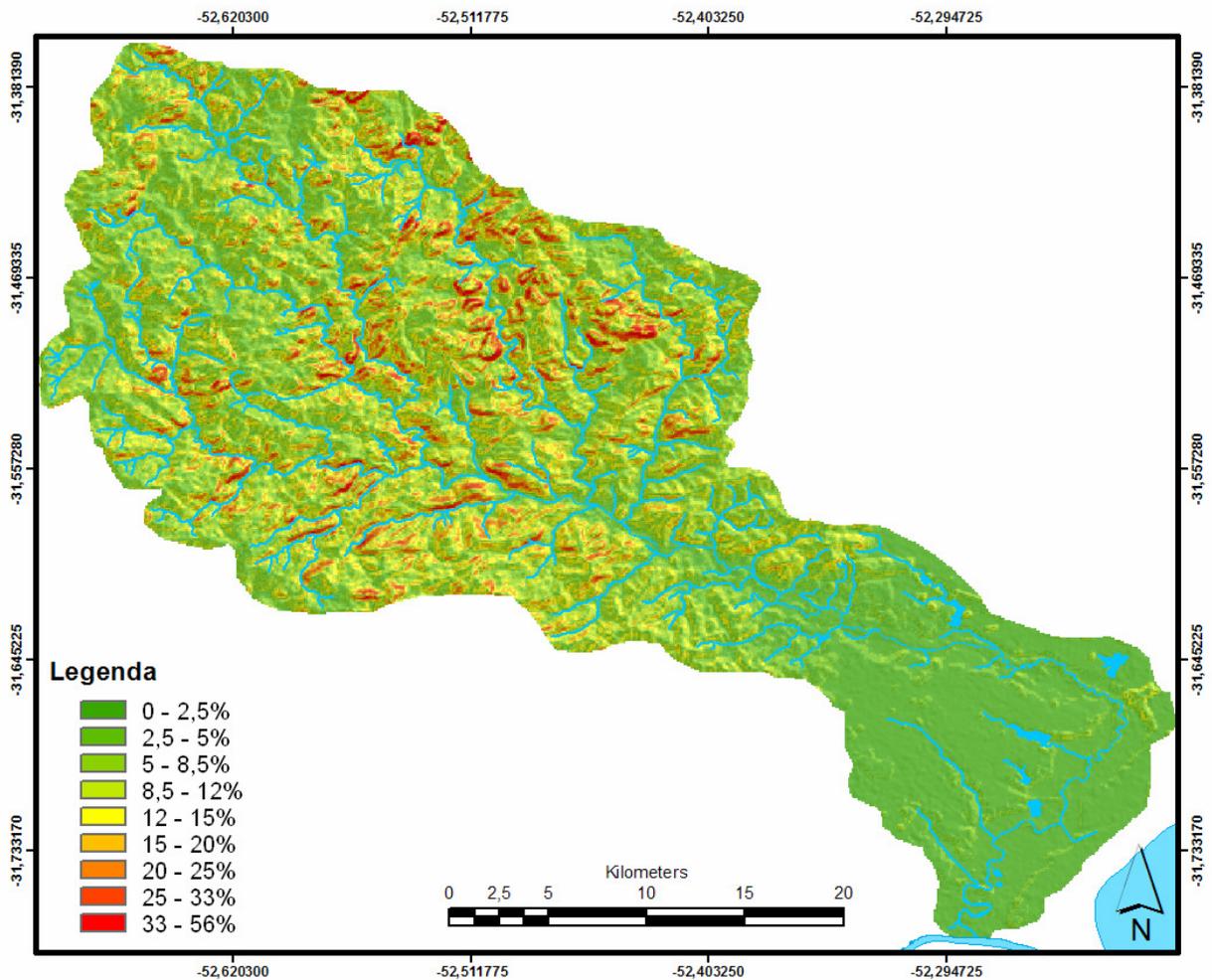
**Figura 45** – Vertentes em formas convexas (a) e (b).  
 Fonte: CASSETI, 2008. SILVA, 2003.

Por sua vez, vertentes côncavas tendem a concentrar o fluxo d'água superficial, provocando a formação de pequenos sulcos e, posteriormente, em ravinas. Assim, persistindo a extração do solo por fluxo concentrado pode-se atingir o estágio de voçorocamento do terreno, ou seja, o surgimento de voçorocas.



**Figura 46** – Vertente côncava.  
 Fonte: SILVA, 2003.

A declividade é a relação entre o topo e a base de uma vertente: à medida que as declividades aumentam, também há o aumento no potencial de escoamento superficial, o que contribui para o aumento das taxas de perda do solo por erosão.

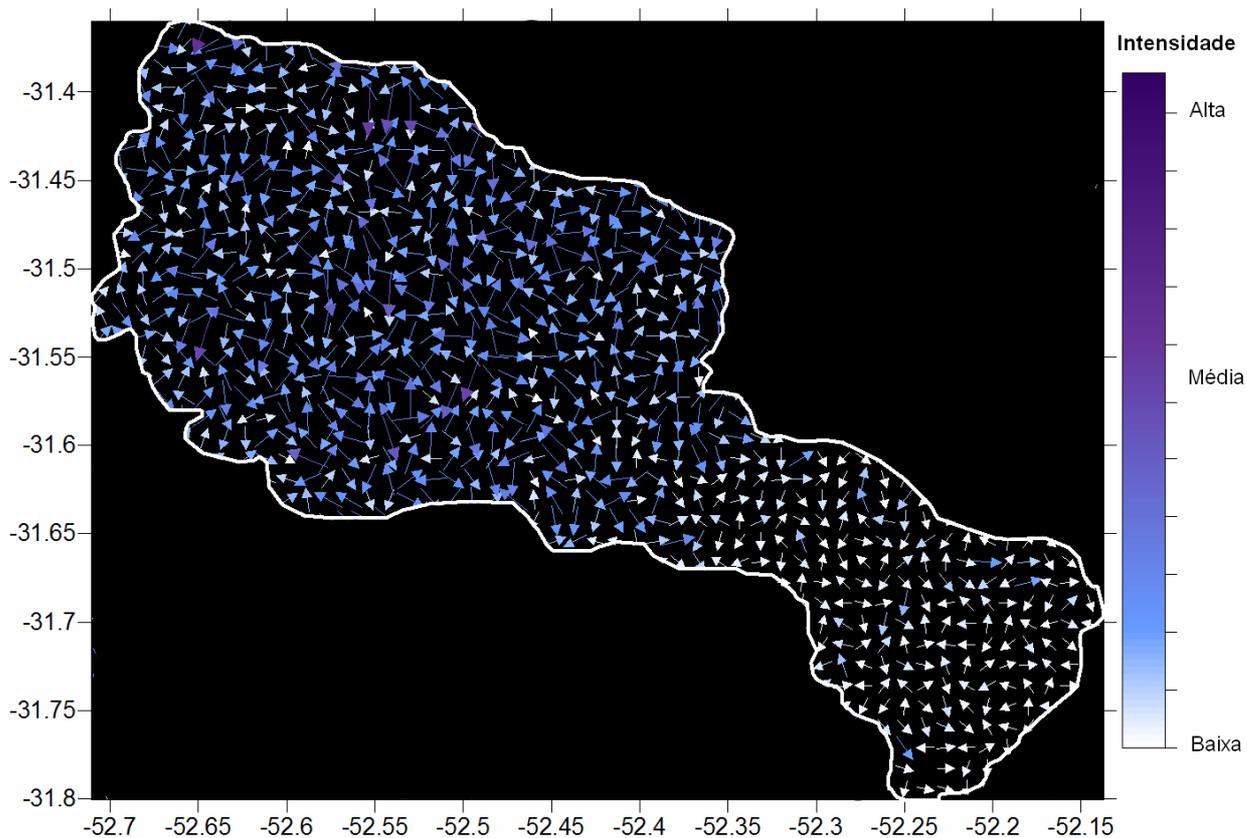


**Figura 47** – Declividade média do terreno em porcentagem (%).

Fonte: SRTM/NASA, 2009.

Organização: Rafael Cruz da Silva.

O potencial de escoamento superficial, que pode ser extraído dos modelos digitais de terreno (MDT), está intrinsecamente relacionado às formas e à declividade do terreno. A intensidade do escoamento das águas superficiais pode ser observada na figura a seguir (Fig. 48), onde a maior intensidade de escoamento é demonstrada pela cor roxa, a de média intensidade em azul, e a de baixa intensidade em branco. De modo geral há um aumento proporcional do escoamento superficial em direção às áreas serranas, por causa do aumento das declividades.



**Figura 48** – Vetores de intensidade de escoamento superficial.

Fonte: SRTM/NASA, 2009.

Organização: Rafael Cruz da Silva.

## 6.5. Hidrologia

O padrão de drenagem da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas é do tipo dendrítico. Este padrão de drenagem se assemelha à forma de uma árvore com diversas ramificações, que constitui os seus afluentes.

Segundo Christofolletti (1980), a corrente principal corresponde ao tronco da árvore, os tributários aos seus ramos e as correntes de menor categoria, aos raminhos e folhas. Esse padrão é tipicamente desenvolvido sobre rochas de resistência uniforme, ou em estruturas sedimentares horizontais.



**Figura 49** – Padrão de drenagem dendrítico, típico da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas.  
Fonte: CHRISTOFOLETTI, 1980.

Para Teixeira *et al.* (2000) este tipo de padrão ocorre em áreas onde a rocha dos substratos é homogênea, como um granito, por exemplo, ou ainda no caso de rochas sedimentares com estratos horizontais.

### **6.5.1. Classificação dos canais fluviais**

Em relação à morfologia dos canais fluviais, os tipos mais comumente encontrados foram o retilíneo, o meandrante e o entrelaçado.

#### **6.5.1.1. Canal retilíneo**

Os canais retilíneos aparecem no alto curso da bacia hidrográfica, sobre rochas cristalinas (escudo cristalino), apresentando pequenos trechos retilíneos contínuos, de baixa profundidade e sinuosidade.

A condição básica a existência de um canal reto está associada a um leito rochoso homogêneo que oferece igualdade de resistência à atuação das águas (CUNHA, 2008).



**Figura 50** – Canal retilíneo.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

#### **6.5.1.2. Canal meandrante**

Os meandros aparecem no baixo curso da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, sobre a Planície Costeira, onde as águas são calmas e os canais são largos, com predomínio do transporte de sedimentos finos (silte e argila).

Segundo Christofolletti (1980) os canais meândricos são aqueles em que os rios descrevem curvas sinuosas, largas, harmoniosas e semelhantes entre si, através de um trabalho contínuo de escavação na margem côncava (ponto de maior velocidade da corrente) e de deposição na margem convexa (ponto de menor velocidade).



**Figura 51** – Canal meandrante.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

O sistema fluvial meandrante caracteriza-se pela presença de canais com alta sinuosidade e razão largura/profundidade do canal menor que 40, onde predomina o transporte de carga em suspensão. A migração lateral dos canais ocorre através da erosão progressiva das margens côncavas e sedimentação nos leitos convexos dos meandros (Teixeira *et al.*,2000).

De acordo com Cunha (1995 *apud* ABDON, 2004) os canais meandrantess são encontrados com mais freqüência nas áreas úmidas cobertas por vegetação ciliar. Formas meandrantess representam um estado de estabilidade do canal de acordo com um ajuste certo entre todas as variáveis hidrológicas: declividade, largura e profundidade do canal, velocidade dos fluxos, rugosidade do leito, carga sólida e vazão.

### **6.5.1.3. Canal entrelaçado**

Os canais entrelaçados ocorrem no médio curso da bacia hidrográfica em estudo, ocorrendo a partir do *nível de base* (ponto onde cessa o trabalho erosivo). Este tipo de canal está associado a depósitos grosseiros de sedimentos (areia grossa e média).

Canais entrelaçados são desenvolvidos pela seleção das partículas, com a deposição de material de frações granulométricas que o rio não pode transportar. A diminuição progressiva da declividade leva à menor granulação do material que compõe a carga de fundo. A deposição da carga de fundo propicia o desenvolvimento de barras que obstruem a corrente e ramificam-na, processo este facilitado nos casos em que margens sejam facilmente erodidas, com conseqüente aumento do suprimento detrítico (Teixeira *et al.*,2000).



**Figura 52** – Canal entrelaçado.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

### 6.5.2. Processos fluviais

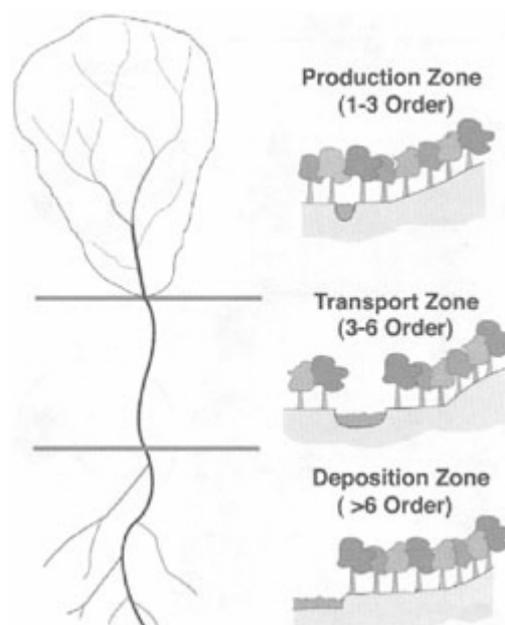
A partir dos processos geomorfológicos de ordem fluvial, ou seja, de erosão, de transporte e de sedimentação em uma bacia hidrográfica, têm se a seguinte classificação em setores ou zonas de acordo com o CLSWC (COMMITTEE ON LONG-RANGE SOIL AND WATER CONSERVATION), 2007.

*a) zona produtiva (production zone):* é onde naturalmente predomina a erosão, estando normalmente associado ao alto curso dos rios.

b) **zona de transporte** (*transport zone*): é onde se verifica a prevalência do transporte dos sedimentos, ocorrendo geralmente no médio curso dos rios.

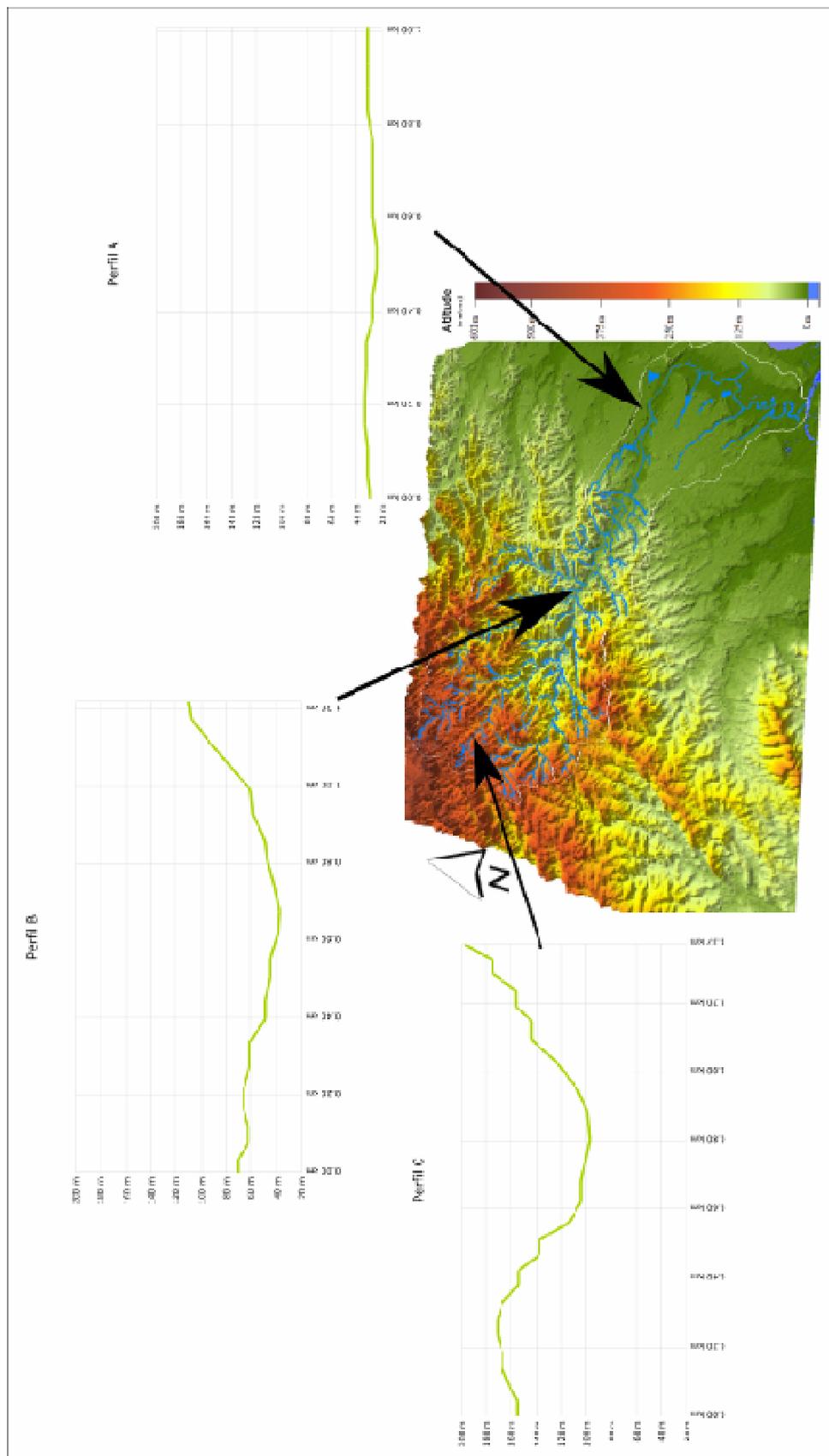
c) **zona de deposição** (*deposition zone*): é a área onde prevalece o processo de sedimentação, estando geralmente associado ao baixo curso dos rios.

Estes diferentes processos são ocasionados pela redução na velocidade do fluxo d'água no canal do rio, além da diminuição na declividade acarretando, assim, a redução na competência do rio, isto é, a perda de energia para transportar os sedimentos presentes no fluxo hidráulico.



**Figura 53** – Zonas de produção, transporte e sedimentação em bacia hidrográfica.  
Fonte: COMMITTEE ON LONG-RANGE SOIL AND WATER CONSERVATION, 2007.

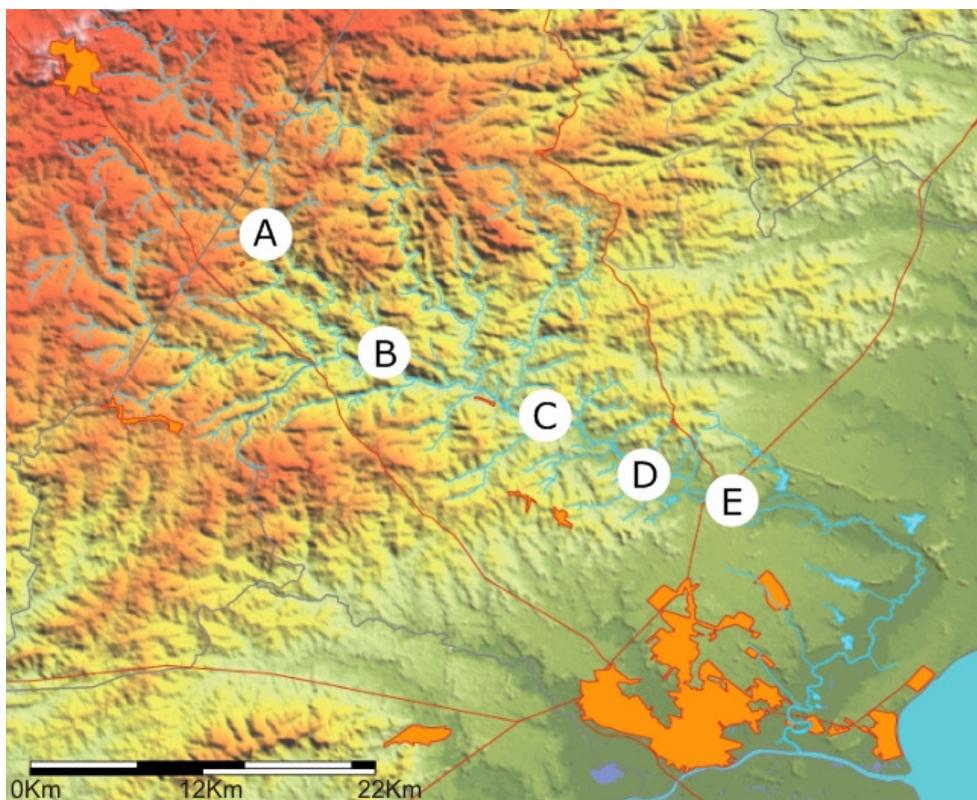
Nas áreas do escudo cristalino, onde há o predomínio da erosão fluvial, as vertentes dos leitos dos rios são mais íngremes, contrapondo-se às vertentes das áreas de planície, onde, pela baixa declividade nos canais fluviais, predominam os processos de deposição, produzindo com isso, um leito fluvial de declividade suave. (Fig.54).



**Figura 54** – Diferentes perfis ao longo da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas.  
Organização: Rafael Cruz da Silva.

### 6.5.3. Análise granulométrica

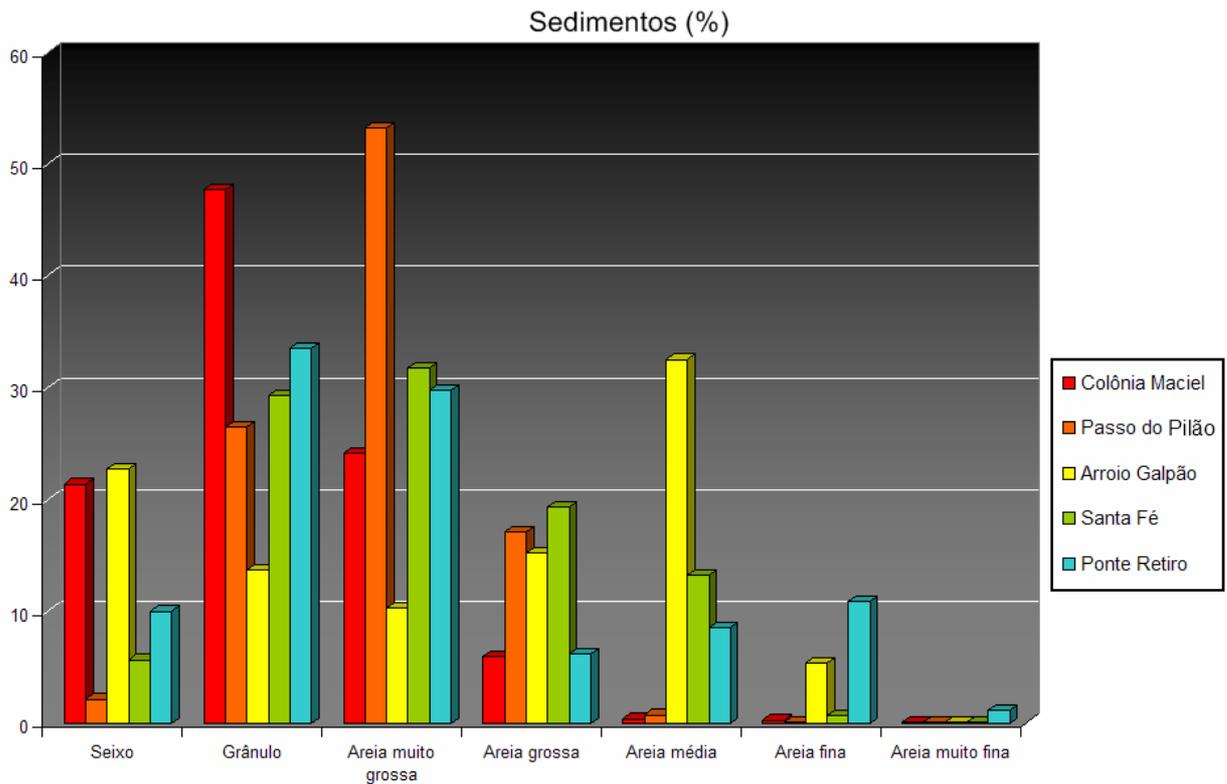
A análise granulométrica permitiu averiguar a capacidade total de transporte pelo fluxo hídrico do rio, ou seja, a sua competência e capacidade de transportar grãos de diferentes tamanhos ao longo do canal fluvial. No gráfico a seguir (Fig.56) se pode verificar os diferentes tipos de grãos contidos em amostras extraídas de cinco pontos distintos ao longo do Arroio Pelotas.



**Figura 55** – Pontos de coletas de sedimentos. Colônia Maciel (A), Passo do Pilão (B), Arroio Galpão (C), Santa Fé (D) e Ponte do Retiro (E).  
Organização: Rafael Cruz da Silva.

Estas são as coordenadas geográficas de posicionamento dos pontos de amostragem de sedimentos:

- Colônia Maciel: 31 °29'04"S e 52 °33'55"O – altitude: 162m;
- Passo do Pilão: 31 °34'24"S e 52 °27'45"O – altitude: 37m;
- Arroio Galpão: 31 °36'09"S e 52 °23'15"O – altitude: 25m;
- Santa Fé: 31 °36'53"S e 52 °22'15"O – altitude: 22m;
- Ponte do Retiro: 31 °37'52"S e 52 °19'34"O – altitude: 15m.

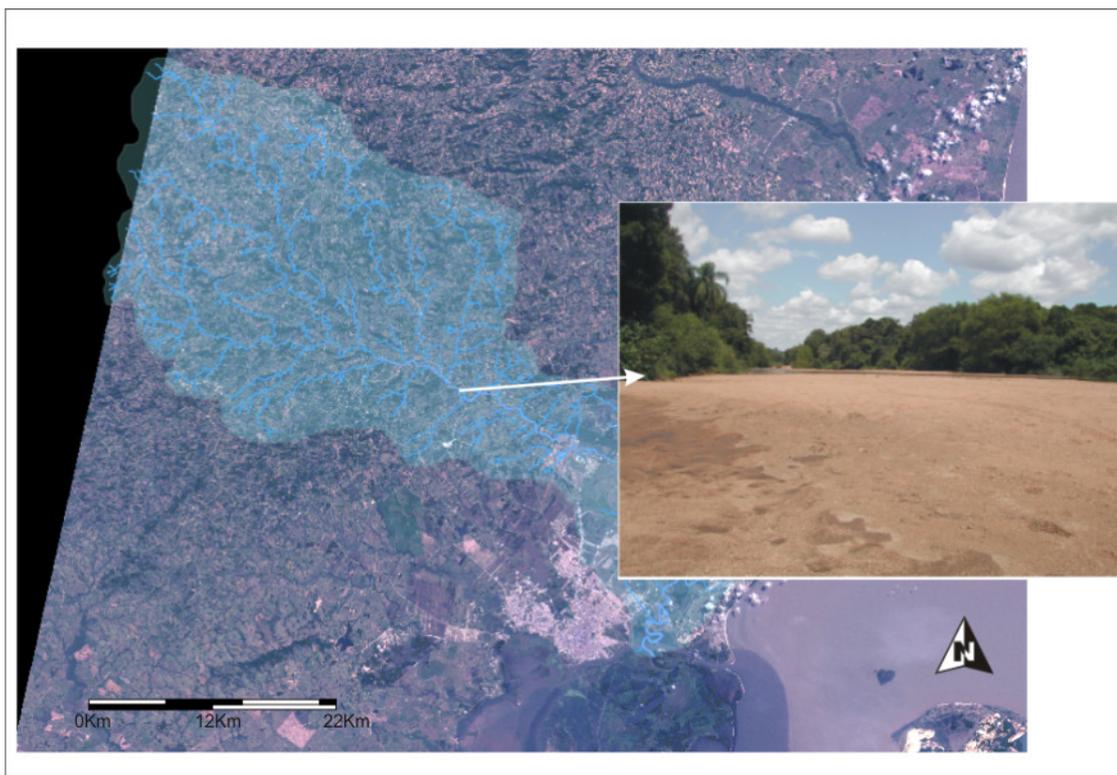


**Figura 56** – Análise de sedimentos do leito do Arroio Pelotas.  
Organização: Rafael Cruz da Silva.

Os resultados da análise granulométrica demonstraram a redução na competência à medida que nos aproximamos da foz. O ponto de coleta *Ponte do Retiro* foi o que apresentou o maior percentual de areia fina (1,17%) em relação aos outros pontos de coletas. Isso se deve ao fato de que este se localiza no baixo curso da bacia do Arroio Pelotas.

Em contrapartida, os pontos de coletas localizados no alto curso da bacia hidrográfica foram os que apresentaram maior percentual de seixos: *Colônia Maciel* (21,37%) e *Arroio Galpão* (22,74%) do total de sua amostra.

Esta correlação de carga e tamanho dos grãos pode ser percebida mais nitidamente desde o trecho do Arroio Pelotas, nas proximidades do distrito de Monte Bonito, onde se atinge o *nível de base* (Fig.57), ou seja, o ponto onde se verifica uma sensível redução na capacidade de sustentação dos sedimentos pelo fluxo hidráulico.



**Figura 57** – Assoreamento no Arroio Pelotas. Local de redução na competência do rio.  
Organização: Rafael Cruz da Silva.

## 6.6. Solos

Os principais tipos de solos que ocorrem na área da BHAP são: o Argilossolo, o Planossolo, o Chernossolo, o Gleissolo, o Neossolo e o Luvisolo (Tab.14).

**Tabela 14** – Tipos de solos na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas.

<b>Zoneamento de solos na Bacia do Arroio Pelotas</b>	
Alto Curso	Argilossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico, Luvisolo Hidrocromico Órtico e Neossolo Litólico Distrófico
Médio Curso	Planossolo Hidromórfico Eutrófico Solódico, Planossolo Hidromórfico Eutrófico Solódico e Chernossolo Argilúvico Carbonático
Baixo Curso	Neossolo Quartzarênico Hidromórfico Típico, Gleissolo Melânico Eutrófico e Planossolo Nátrico Órtico

Fonte: Adaptado de STRECK *et al*, 2002.

Os dados a seguir, relativos aos tipos de solos na área da BHAP, têm como referência o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SBCS (EMBRAPA, 1999), e a descrição das suas características desenvolvida por estudos realizados por Streck *et al.* (2002).

### 6.6.1. Argilossolo

O *argilossolo vermelho-amarelo distrófico típico* (Unidade Camaquã) abrange a área geomorfológica da Encosta da Serra do Sudeste, que corresponde ao médio curso da BHAP. Em relação as suas características físicas este solo é bem desenvolvido e profundo, com boa drenagem, e ocorre em relevo suavemente ondulado até fortemente ondulado, tendo como característica marcante o *horizonte B* de textura argilosa.



**Figura 58** – *Argilossolo vermelho-amarelo* na localidade da Colônia Maciel. Em destaque a concentração de argila no *horizonte B*.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

Em relação à erosão, Streck *et al.* (2002) citam que em condições de mesma declividade, quanto mais próximo à superfície for do início do *B* textural mais rapidamente se evidencia a erosão (*argilossolos típicos* > *arênicos* > *espessarênicos*),

menor será a tolerância de perdas de solo e maiores serão as exigências de práticas conservacionistas.

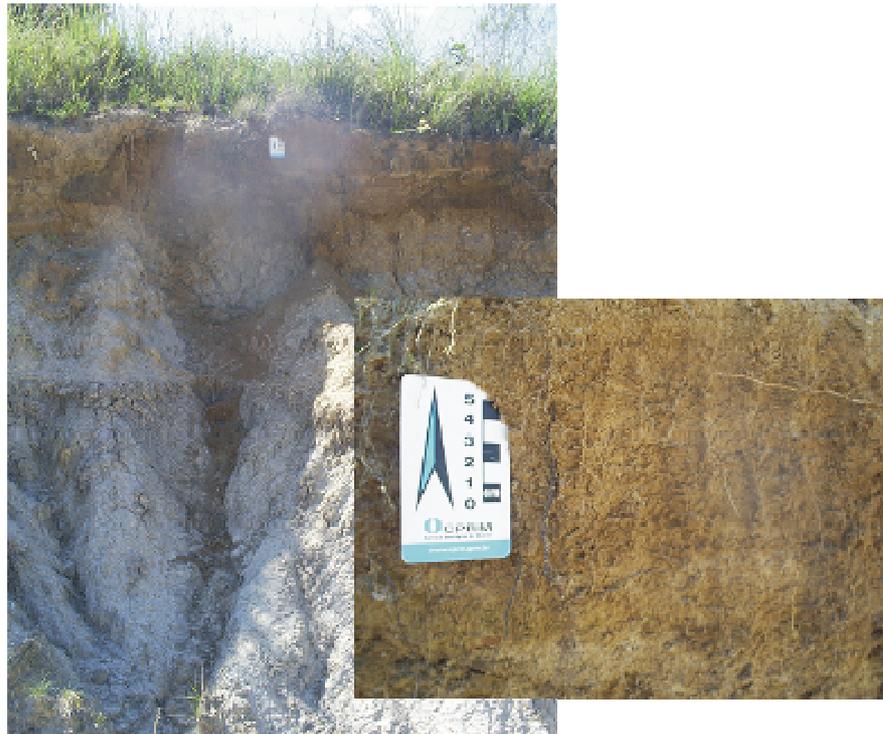
Como visto, o *argilossolo vermelho-amarelo distrófico típico* apresenta maior suscetibilidade aos processos erosivos em relação aos subtipos *arênicos* ou *espessarênicos*.

### 6.6.2. Planossolo

Os solos do tipo *planossolo hidromórfico eutrófico solódico* e *planossolo nátrico* abrangem a área da Planície Costeira, sendo que o *planossolo nátrico* abrange uma pequena área nas proximidades da foz do Arroio Pelotas, e estão geralmente associados aos solos do tipo *neossolo quartezarênico hidromórfico* e *gleissolo melânico*. O *planossolo hidromórfico*, de sua vez, abrange boa parte da Planície Costeira.

São solos imperfeitamente ou mal drenados, sendo freqüentemente encontrados em áreas de várzeas de rios, estando normalmente associados a um relevo plano e suavemente ondulado. Em relação a sua textura, o *planossolo* tem uma mudança brusca para o *horizonte B*, sendo este mais argiloso e classificado como *horizonte Bt*.

O *planossolo hidromórfico* por apresentar um ambiente desfavorável ao infiltramento, por causa de seu *horizonte B* mais argiloso, acaba favorecendo a ocorrência de inundações nas várzeas. Isso se deve também ao fato de que este tipo de solo ocorre em terrenos de baixa declividade e relativamente planos.



**Figura 59** – Planossolo hidromórfico de textura arenosa no *horizonte A*.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

### 6.6.3. Neossolo

O *neossolo litólico distrófico* abrange a área de divisa entre os municípios de Canguçu e Pelotas. São solos que podem ser diferenciados visualmente na paisagem, pois estão associados a áreas de afloramentos rochosos (Unidade Pinheiro Machado).

De acordo com Streck *et al.* (2002) os *neossolos litólicos* rasos e com seqüência de *horizontes A-R* têm baixa capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo, tem, no entanto, alta suscetibilidade à erosão hídrica, impossibilitando o seu uso com culturas anuais. O preparo convencional e a erosão proporcionam afloramentos de pedras (rochas) e matacões, dificultando o uso posterior com pastagens. Locais de pastagens com lotação excessiva de animais por unidade de área sofrem redução da cobertura vegetal do solo, favorecendo a erosão hídrica.



**Figura 60** – *Neossolo litólico*. Colônia Maciel.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

Já o *neossolo quartzarênico hidromórfico típico* é um solo pouco desenvolvido, aparecendo associado ao *gleissolo melânico eutrófico* e o *planossolo nátrico órtico*. O *neossolo quartzarênico* abrange a área do baixo curso do Arroio Pelotas, caracterizando-se pelo seu *horizonte A* estar assentado sobre sedimentos muito arenosos (de textura arenosa ou areia fraca, com teor de argila  $\leq 15\%$ ), constituídos por grãos soltos de quartzo.

#### 6.6.4. Chernossolo

São solos escuros com alta fertilidade química e com razoáveis teores de material orgânico. Abrange as áreas adjacentes às margens fluviais, no qual aparecem o *chernossolo argilúvio carbonático*, e associado a este o *planossolo hidromórfico eutrófico solódico*.

Segundo Streck *et al.* (2002) que os *chernossolos argilúvios carbonáticos típicos* (Unidade Formiga) ocorrem em relevo plano, apresentando drenagem

imperfeita. São próprios para arroz irrigado, exigindo práticas de drenagem mais eficientes quando utilizados em culturas anuais de sequeiro.

#### **6.6.5. Gleissolo**

São solos que se caracterizam pelo processo de *gleização* (redução de ferro) atuante em ambientes alagadiços. Os *gleissolos do melânico eutrófico* ocorrem nas proximidades da foz do Arroio Pelotas, estando associado aos *neossolos quartezarênico hidromórfico* e ao *planossolo nátrico*.

Segundo Streck *et al.* (2002) são solos pouco profundos, muito mal drenados. E ainda os *gleissolos* ocorrem tipicamente em depressões mal drenadas em todo Estado. Em maior extensão (Unidades Colégio, Taim e Itapeva) são encontrados em várzeas de rios e nas planícies lagunares, geralmente associadas aos *planossolos*.

#### **6.6.6. Luvissolo**

O *luvissolo crômico órtico típico* ocorre na divisa dos municípios de Canguçu e Pelotas, em relevos ondulados e convexos no Escudo Cristalino, e caracterizam-se por apresentar acumulação subsuperficial de argila.

Segundo Streck *et al.* (2002) o *luvissolo crômico órtico típico* (Unidade Bexigoso) ocorrem em relevo ondulado, são poucos profundos e até rasos, comumente associados com afloramentos de rochas e *neossolos litólicos*.

### **6.7. Unidades de suscetibilidade à erosão**

Na etapa de geoprocessamento produziu-se o mapa de suscetibilidade à erosão, sendo baseado na proposta metodológica de Tricart (1977), no qual foram identificados cinco tipos de setores de mesma intensidade erosiva, isto é, relativo a processos morfodinâmicos da paisagem.

Baseado no conceito de ecodinâmica de Tricart (1977), os setores apresentados são: muito forte, forte, moderado-forte, moderado e fraco. Estas unidades ou setores de erosão são o resultado da interação entre os principais

fatores que predeterminam a ocorrência de erosão, podendo a partir destes dados gerarem diversos cenários possíveis de erosão dos solos. Pois, alterando-se o potencial de erosividade das chuvas, ou seja, a entrada de energia no sistema obter-se-á cenários distintos.

Em relação aos resultados, obteve-se que mais de 90% da área da bacia do Arroio do Pelotas apresenta algum risco de risco a erosão dos solos. Os dados detalhados são apresentados na Tabela 15.

**Tabela 15** – Unidades de suscetibilidade à erosão

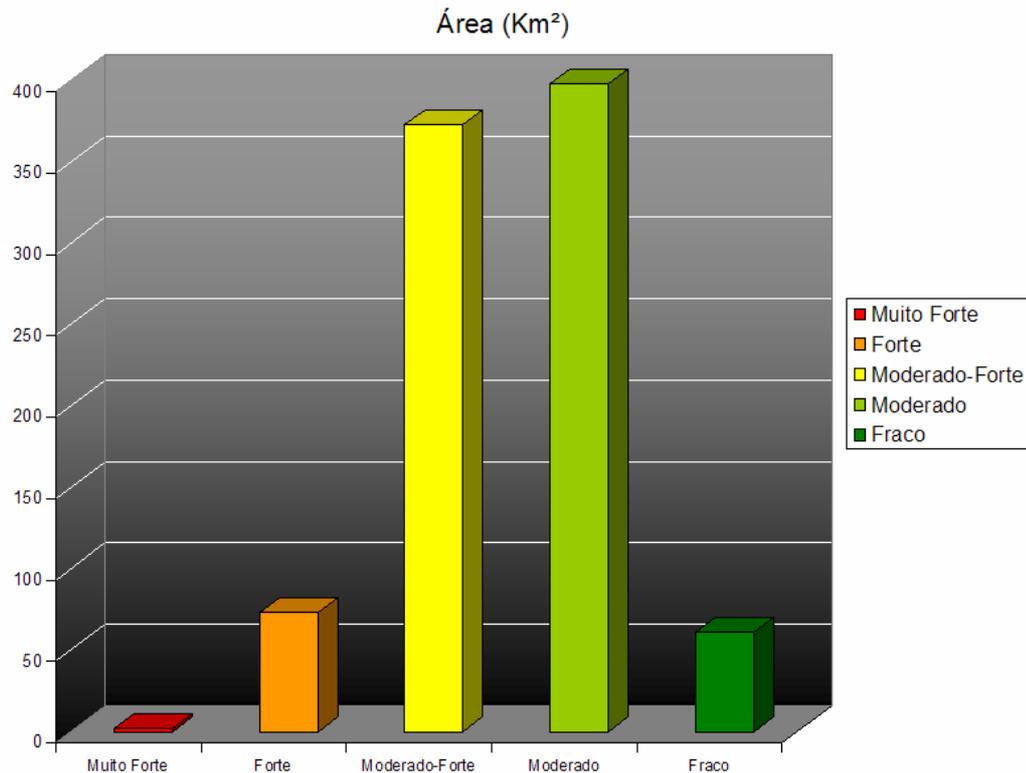
<i>Unidades de suscetibilidade à erosão</i>		
Classe	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)
Muito Forte	2.392	0,26
Forte	73.305	8,06
Moderado-Forte	373.142	41,04
Moderado	398.361	43,81
Fraco	61.918	6,81
<b>Total</b>	<b>909.118</b>	<b>100</b>

Organização: Rafael Cruz da Silva.

Embora a classe *muito forte* represente a de menor área de abrangência (0,26%), esta, porém, é a unidade de maior intensidade dos processos erosivos. O ambiente é fortemente instável predominando a morfogênese e a perda de solos por erosão.

A classe *moderada* representa a unidade de maior ocorrência em área (43,81%), ou seja, aproximadamente 398 Km<sup>2</sup>. É a partir deste estágio que se desenvolvem os processos de desequilíbrio da paisagem, como erosão em sulcos, ou até pequenas ravinas.

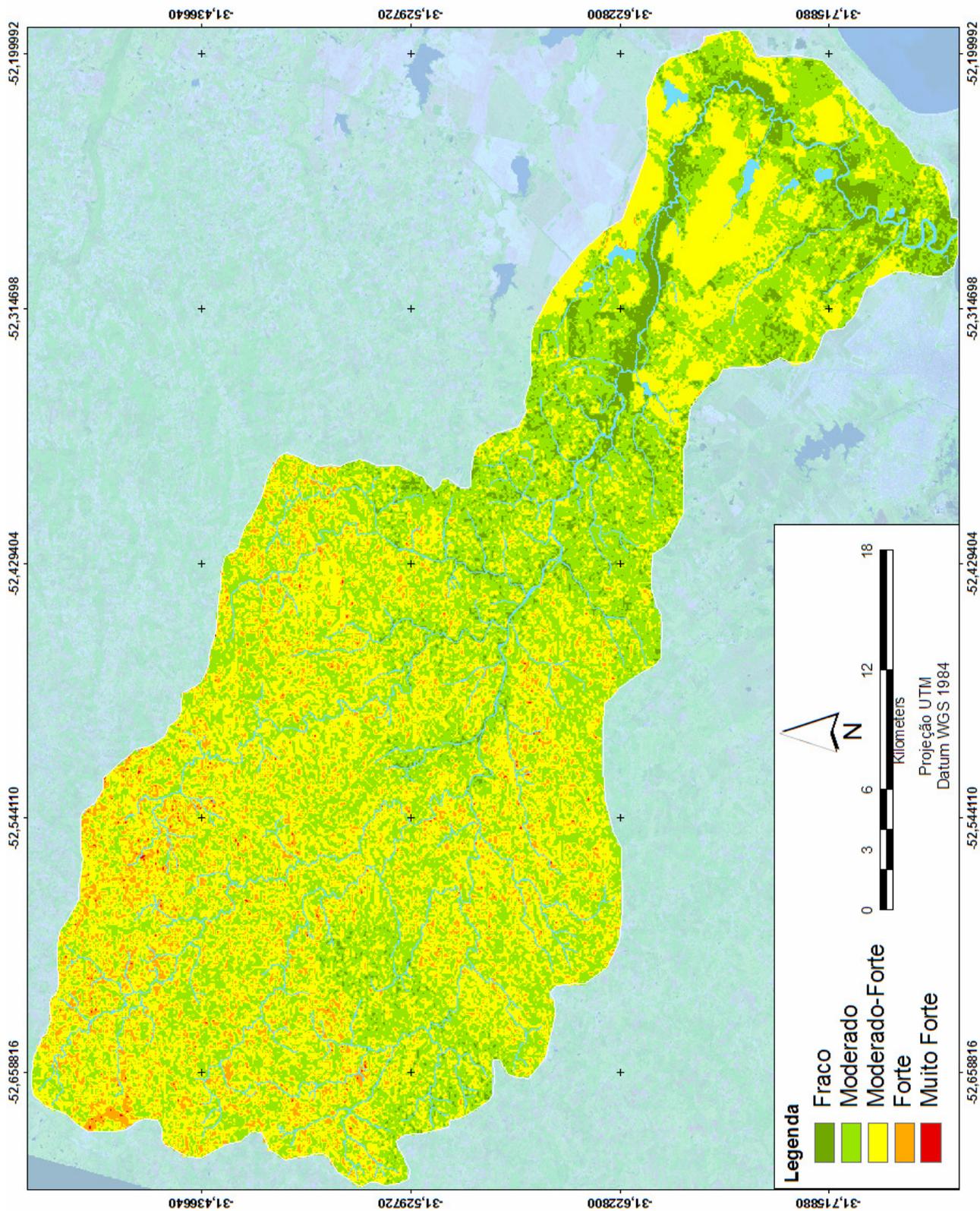
No gráfico a seguir (Fig.61) é possível verificar que a maior parte das unidades de suscetibilidade à erosão situa-se entre as classes *moderado-forte* e *moderado*.



**Figura 61** – Área das unidades de susceptibilidade à erosão.  
Organização: Rafael Cruz da Silva.

A partir destes pode-se perceber a tendência ao desenvolvimento dos processos erosivos na área de estudo. Acarretando nas mudanças das taxas de erosão e no desequilíbrio da paisagem. Pois, os processos morfogênicos tenderão a prevalecer perante a pedogênese.

Portanto, a análise da erosão potencial (susceptibilidade) em escala detalhada, principalmente, em bacias hidrográficas, municípios e unidades de conservação, permite o reconhecimento das fragilidades ambientais destas áreas e, com isso, o desenvolvimento de projetos de gestão ambiental.



**Figura 62** – Mapa de suscetibilidade à erosão.  
Organização: Rafael Cruz da Silva.

### 6.7.1. Setor muito forte

Este setor da bacia hidrográfica é caracterizado por sua alta fragilidade a erosão dos solos. Sua área de abrangência corresponde às bordas do Planalto Sul-rio-grandense, marcada por uma morfologia de morros convexos e de acentuada declividade (<20%). Neste setor o aumento ao risco de erosão é diretamente proporcional ao aumento das declividades e, também, a associação de solos *neossolos litólicos*, que pela baixa capacidade de infiltração que têm, condicionam o aumento das taxas de escoamento superficiais.

Somando-se aos fatores de fragilidade natural deste setor, inclui-se como elemento agravante a ação antrópica, que pela ação direta do homem no uso da terra provoca a alteração na estabilidade do terreno. É possível averiguar a seguir (Fig.63) a alteração no ambiente para fins agrícolas e de florestamento, no qual não são levadas em consideração as técnicas de conservação dos solos, pois como se pode perceber, não há o uso de curvas em nível no topo de morro; deixando o terreno a mercê das intempéries climáticas e das forças erosivas.



**Figura 63** – Erosão laminar em topo de morro. Área utilizada para o plantio de pessegueiros sem o uso de curvas de nível.

Foto: Rafael Cruz da Silva.

### 6.7.2. Setor forte

Este setor caracteriza-se por apresentar uma redução nas declividades (entre 10% a 18%) em relação ao *setor muito forte*. Apresenta solos do tipo *argilossolos* associados a um relevo ondulado, que proporcionam um menor empecilho para as práticas agrícolas e, por consequência, maior dinâmica no uso da terra.



**Figura 64** – Processo de voçorocamento. Evolução de uma microrravina com cabeceira (*headcuts*) para voçoroca.

Foto: Rafael Cruz da Silva.

### 6.7.3. Setor moderado-forte

O *setor moderado-forte* é constituído por áreas de relevo suaves, com cotas entre 100-200 metros. Por apresentar formas de relevo convexas o escoamento superficial se dá, principalmente, por deslocamento laminar, no qual condiciona o aparecimento de formas de erosão do tipo laminar. Nestas áreas são, normalmente, encontrados solos do tipo *argilossos*, que tem como características serem solos bem formados e de boa infiltração, que em conjunto com o relevo mais suave permite a redução nas taxas de erosão, se comparamos com os *setores muito forte e forte*.



**Figura 65** – Erosão por escoamento laminar.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

#### **6.7.4. Setor moderado**

O *setor moderado* representa a maior parcela da BHAP, estando associado a um relevo plano e aos solos do tipo *planossolos*. Embora a declividade seja baixa (inferior a 5%), o solo *planossolo* apresenta baixa infiltração, por ser um solo iluvial, no qual as argilas são facilmente transportadas para o *horizonte B*, impedindo a infiltração das águas para o subsolo. Por esta característica pedológica este tipo de solos é utilizado para o plantio de arroz irrigado, permitindo a maior retenção da água no solo, por isso, neste setor a erosão está intimamente atrelada à ocupação no uso da terra e, em especial, a superexploração do solo pela agropecuária desenvolvidas em latifúndios.



**Figura 66** – Erosão em área de pastagem associada a *planossolos*.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

#### **6.7.5. Setor fraco**

O *setor fraco* apresenta uma erosão muito baixa ou quase nula. Este setor é representado por áreas de depósito fluvial, no qual são locais de sedimentação do material erodido à montante. De certa forma é possível afirmar que estas áreas representam o quanto está sendo erodido nas áreas à montante, deixando o rastro da erosão na forma de sedimentos de variada granulometria ao longo dos leitos fluviais. Por sua vez, a contínua sedimentação, em áreas planas e de baixa incisão fluvial, pode ocasionar o aumento no potencial das enchentes.



**Figura 67** – Depósito fluvial.  
Foto: Rafael Cruz da Silva.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração deste estudo proporcionou, através da síntese cartográfica, a identificação e caracterização dos processos de degradação do solo, com ênfase na definição e análise de áreas suscetíveis à erosão na região que abrange a bacia do Arroio Pelotas, com o auxílio dos Sistemas de Informações Geográficas e do Sensoriamento Remoto.

Dessa forma, obteve-se como resultado a definição das áreas de suscetibilidade à erosão na bacia e estabelecidos os setores de acordo com a sua intensidade de atuação dos processos morfodinâmicos. Assim, foram identificados cinco unidades distintas caracterizadas como muito forte, forte, moderado-forte, moderado e fraco, sendo que para tal adotou-se a metodologia de unidades de fragilidade ambiental fundamentadas no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977).

Os resultados apontaram que aproximadamente 90% da área da bacia do Arroio Pelotas apresenta risco de erosão de intensidade forte. Sendo que, 75 Km<sup>2</sup> apresentam-se como áreas fortemente erodidas, equivalente a cerca de 9% da área total. E 398 Km<sup>2</sup> (43% da área) tem risco de perda de solos moderados por erosão.

As áreas de maior suscetibilidade à erosão são aquelas em que as declividades são superiores a 20%, apresentam solos do tipo *neossolo litólico*, estão associados a cultivos de ciclo curto (milho, fumo e soja), e apresenta desmatamento da mata nativa.

No caso de áreas agrícolas, como é caso da Região Sul, esse problema está atrelado à expansão da atividade agropecuária e, também da falta de políticas públicas para combater o avanço da erosão e do assoreamento em seus municípios, por exemplo, a implementação de políticas ambientais de conservação da mata ciliar que pode, em muitos casos, reduzir o assoreamento dos corpos d' água. Essas medidas, se diagnosticadas antes da erosão atingir estágios irreversíveis, tais impactos podem ser controlados sem a necessidade altos custos para a recuperação da área degradada.

A aplicação de práticas conservacionistas é altamente recomendada às áreas suscetíveis à erosão. Estas áreas foram identificadas através do processo de geoprocessamento (no subtítulo 6.7- *unidades de suscetibilidade à erosão*), onde as áreas de maior fragilidade localizam-se a montante da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas.

Nos setores classificados em muito-forte, forte e moderado-forte, caracterizados por apresentar um terreno de declividade acentuada, recomenda-se a utilização de cobertura vegetal permanente. Pois, essa técnica é de baixo custo, além de trazer boa recuperação aos solos degradados.

Nas áreas de maior suscetibilidade e correlacionadas com cultivos em áreas íngremes recomenda-se a utilização de plantio em contorno (em nível), que consiste no plantio em fileiras acompanhando as curvas de nível do terreno. Que conforme Bertoni e Neto (2008) o plantio em contorno constitui uma prática de maior facilidade e eficiência no controle da erosão.

Nos setores de menor suscetibilidade é recomendada a manutenção da cobertura vegetal e, também o uso de alternância de capinas. De acordo com Bertoni e Neto (2008) consiste em fazer a capina deixando alternadamente uma faixa capinada e outra não do terreno. Sendo que os resultados obtidos com essa técnica obtiveram uma redução de 30% na perda dos solos em culturas anuais.

A identificação acerca das áreas degradadas em bacias hidrográficas, através do geoprocessamento, proporciona dinamizar o processo de planejamento ambiental (recuperação e proteção) e, também, através deste processo é possível elaborar o prognóstico das áreas em potencial de degradação ambiental.

Assim, com os resultados elaborados no presente estudo poderão ser utilizados para auxiliar no planejamento territorial de caráter sustentável para o uso da terra na área da bacia do Arroio Pelotas, permitindo a redução dos impactos ambientais e, também, a mitificação das perdas na produtividade agrícola.

## 8. BIBLIOGRAFIA

ABDON, M. **Os Impactos Ambientais no Meio Físico – Erosão e Assoreamento na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari, MS, em Decorrencia da Pecuária**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2004.

AB' SÁBER, A. N. **Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. 3ª ed. São Paulo. Ateliê Editorial, 2003.

ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T.; NETO, J. B. C.; AGUIAR, L. A.; RODRIGUES, M. G.; COSTA, M. B. A.; MATOS; R. M. B. **Ciências Ambientais**. Rio de Janeiro: Editora Thex, 208.

ARAÚJO, Q. R.; ARAÚJO, M. H. S.; SAMPAIO, J. O. Análise do Risco de Erosão em Microbacias Hidrográficas: estudo de caso das bacias hidrográficas dos rios Salomé e Areia, sul da Bahia. In: **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, Ba: Editus, 2002.

ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

ARRIADA, E. **Pelotas – gênese e desenvolvimento urbano**. Pelotas: Editora Armazém Literário, 1994.

BECKER, B. K.; CHRISTOFOLETTI, A.; DAVIDOVICH, F. R.; GEIGER, P. P. (Orgs.). **Geografia e Meio Ambiente no Brasil**. São Paulo: Editora Hucitec, 1995.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do Meio Físico de Bacias Hidrográficas: Modelo e Aplicação**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1994.

BERTALANFFY, L. von .**Teoria Geral dos Sistemas**. 3ª ed. Petrópolis: Vozes, 1977.

BERTONI, J. e NETO, F. L. **Conservação do solo**. 6ª ed. São Paulo: Editora Ícone, 2008.

BOLFE, S. A. **As Alterações do Uso do Solo ao Longo do Arroio Arenal**. Monografia. Santa Maria. UFSM, 1992.

BOTELHO, R. e SILVA, A. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: **Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BRANCO, S. M. **Ecologia: Educação ambiental**. São Paulo: CETESB, 1980.

- BRUNHES, J. **Geografia Humana**. Rio de Janeiro: Editora Fundo de Cultura, 1962.
- CARVALHO, M. S.; PINA, M. F.; SANTOS S. M. **Conceitos Básicos de Sistema de Informação Geográfica e Cartografia Aplicados à Saúde**. Brasília: OPAS, 2000.
- CASSETTI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. 2ª ed. São Paulo: Editora Contexto, 1995.
- CASSETTI, V. **Geomorfologia**. UFG/Funape. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/>. Acesso em 20 de dez. 2008.
- CAVICHIOLO, S. R. **Perdas de Solo e Nutrientes por Erosão Hídrica em diferentes Métodos de Preparo do Solo em Plantio de Pinus Taeda**. Tese de Doutorado. Engenharia Florestal. UFPR. Curitiba, 2005.
- CEPRANI, E.; MEDEIROS, J. S.; PALMEIRA, A. F.; SILVA, F. E. Zoneamento Ecológico-Econômico. In: **Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Variáveis de qualidade das águas**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp> Acesso 20 de Mar. 2008.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Perspectivas da Geografia**. São Paulo: Difel, 1982.
- CHRISTOPHERSON, R. W. **Geosystems: an introduction to physical geography**. 4ª ed. New Jersey ,EUA: Prentice-Hall, 2000.
- COLLISCHONN, W. e TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Porto Alegre: IPH-UFRGS, 2008.
- COMMITTEE ON LONG-RANGE SOIL AND WATER CONSERVATION (CLSWS). **Solo e Qualidade da Água: Uma Agenda para a Agricultura**. Disponível em: <http://www.nap.edu/catalog/2132.htm> Acesso em 10 jan. 2007.
- CONTI, J. B. e FURLAN, S. A. Geoecologia: o clima, os solos e a biota. In: **Geografia do Brasil**. 4ª ed. São Paulo: Editora da USP, 2001.
- CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.
- DEMANGEOT, J. **Os Meios Naturais do Globo**. 7ª ed. Lisboa – Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian, 2000.
- DREW, D. **Processos Interativos Homem-Meio Ambiente**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 1989.

EMBRAPA. **Mata Ciliar**. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/mataciliar>> Acesso em 12 dez. 2006.

EMBRAPA. **Banco de Dados Climáticos**. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/index>> Acesso em 15 fev. 2007.

FARIA, A. P. Os Processos Erosivos e as suas Variações nas Escalas Temporal e Espacial: Revisão e Análise. In: **Revista Brasileira de Geografia/IBGE**. Rio de Janeiro, vol.58, n.1/4, p.1-149, jan/dez. 1996.

FECHINE, J. A. L. e GALVÍNIO, J. D. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada das Cidades de Salgueiro, Mirandiba, Carnaubeira da Penha e Floresta – Localizadas no Semi-Árido Pernambuco. In: **Revista Geográfica Acadêmica**, v.2 n.3, p. 60-67, 2008.

FENDRICH, R. **Drenagem e Controle da Erosão Urbana**. 4ª ed. Curitiba: Champagnat, 1997.

FEPAM. **Fundação Estadual de Proteção Ambiental. Qualidade Ambiental**. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br>> Acesso em 24 de dez. 2008.

FERREIRA, M. C. Considerações Teórica- Metodológicas Sobre as Origens e a Inserção do Sistema de Informação Geográfica na Geografia. In: **Contribuições à História e à Epistemologia da Geografia**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

FERREIRA, M. C. Mapeamento de Unidades de Paisagem em Sistemas de Informação geográfica. In: **Revista Geografia**. São Paulo, vol.22, n.1, p.23-35, abr. 1997.

FITZ, P. R. **Cartografia Básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008a.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento: sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008b.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FLORENZANO, T. G. (Orgs.). **Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FUGIMOTO, N. S. V. Planejamento ambiental: Abordagem utilizada nas áreas de risco a movimentos de massa no município de São Sebastião – litoral norte do Estado de São Paulo. In: **Boletim Gaúcho de Geografia**. nº 25 – AGB-PA. Porto Alegre, p.155-164, junho/1999.

FUJIMOTO, N. S. V. O Estudo Geomorfológico na Análise das Alterações Urbanas. In: **Anais do XXIII Encontro Estadual de Geografia: A Complexidade do Espaço Metropolitano: Dinâmicas Territoriais e Problemas Ambientais**. Porto Alegre, 2003.

GOOGLE EARTH. **Imagens de satélite Quickbird**. Google Inc. Califórnia: EUA, 2009

GUERRA, A. J. T. O início do Processo Erosivo. In: **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2005.

GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: Exercícios, Técnicas e Aplicações**. 2º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Orgs.). **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

GUERRA, A. J. T. e MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: **Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2004.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. e BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2005.

GUERRA, A. J. T. e MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2006.

GREGORY, K. J. **A natureza da geografia física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

IBAMA. **Lei de crimes ambientais** - lei nº 9.605/98. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/leiambiental/home.htm>. Acesso em 22 março de 2009.

IBGE. **Glossário Geológico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1999.

IBGE. Vocabulário **Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

IBGE. **Perfil dos Municípios Brasileiros: Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: IBGE, 2005.

IIRR: International Institute of Rural Reconstruction (2008). **Sustainable Agriculture Extension Manual**. Disponível em: <http://www.iirr.org/saem/contents.htm>. Acesso em 15 de agosto de 2008.

ISRIC/UNEP (1991). **World Soil information**. Disponível em: <http://www.isric.org/>. Acesso em 20 de fevereiro de 2008.

JOLY, F. **A Cartografia**. Campinas-SP: Papirus Editora, 1990.

LAGO, J. C. **Erosividade das Chuvas na Metade Sul do Rio Grande do Sul**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pelotas, 2000.

LEINZ, V. e AMARAL, V. S. **Geologia Geral**. 14<sup>a</sup> ed. São Paulo: Editora Nacional, 2003.

LEPSCH, I. **Solos: Formação e Conservação**. São Paulo: Edição Melhoramentos, 1977.

LUCHESE, E. B. **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2001.

LUTZENBERGER, J. **Manual de Ecologia: do Jardim ao Poder: vol. 1**. Porto Alegre: Editora L&PM, 2006.

MAFRA, N. M. C. Erosão e Planificação de Uso do Solo. In: **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2005.

MÁRIO, O. M. **Pelotas agrícola e pastoral (História da Associação Rural)**. Pelotas: Editora Armazém Literário, 1998.

MCDONALD, J.; BURTON, C. J.; WINSTANLEY, I.; LAPIDUS, D.F. **Dicionário de Geologia**. Glasgow, Escócia: Ed. Hasper, 2003.

MEDEIROS, J. S. **Banco de dados geográficos e redes neurais artificiais: tecnologias de apoio à gestão do território**. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo, 1999.

MENDONÇA, F. **Geografia e Meio Ambiente**. 3<sup>a</sup> ed. São Paulo: Contexto, 1998.

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO DO BRASIL. **Carta Topográfica de Pelotas: SH- D – IV – 1**. MI 3020/1. Escala 1:50.000. 2 ed. Porto Alegre: Diretoria de Serviço Geográfico, 1980.

MOURA, A. C. M. **Contribuição metodológica do geoprocessamento à geografia**. Material didático do curso de Especialização em Geoprocessamento – UFMG, 2008.

MÜLLER, A. C. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Makron Books, 1995.

NOAL, R. E. **A cartografia ambiental da bacia da lagoa mirim (RS): uma reflexão metodológica acerca do emprego dos sistemas de informações geográficas**. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo, 2001.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2005.

PALMIERI, F. e LARACH, J. Pedologia e Geomorfologia. In: **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

PINTER N. e BRANDON, M. T. Como a Erosão Constrói Montanhas. In: **SCIENTIFIC AMERICAN**, São Paulo, n.20, p. 76-83, 2008.

KOZEL, S. As Representações no Geográfico. In: **Elementos de Epistemologia da Geografia Contemporânea**. MENDONÇA, F. e KOZEL, S. (Orgs.). Curitiba: Editora UFPR, 2002.

RAMBO, B. **A Fisionomia do Rio Grande do Sul: Ensaio de Monografia**. 3ª ed. São Leopoldo: Editora UNISINOS, 2000.

ROSA, M. **Geografia de Pelotas**. Pelotas: Editora da UFPel, 1985.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia Aplicada aos EIAs-RIMAs. In: **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

ROSS, J. L. S. **Geografia do Brasil**. 4ª ed. São Paulo: Editora da USP, 2001.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. 7ª ed. São Paulo: Editora Contexto, 2003.

SALICHTCHEV, K. A. Algumas Reflexões sobre o Objeto e Método da Cartografia depois da Sexta Conferência Cartográfica Internacional. In: **Seleção de Texto**. Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção São Paulo. São Paulo, 1988.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2005.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo. Razão e Emoção**. 2ª ed. São Paulo: HUCITEC, 1997.

SANTOS, M. **Território e Sociedade: entrevista com Milton Santos**. São Paulo: Editora Fundação Perseu Abramo, 2000.

SCHÄFER, A. **Fundamentos de Ecologia e Biogeografia das Águas Continentais**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1984.

SCHIAVETTI, A. e CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, Ba: Editus, 2002.

SEMA/PR. **Secretaria Estadual do Meio Ambiente**. Disponível em <<http://www.mataciliar.pr.gov.br/>> Acesso em 10 jan. 2007.

SILVA, L. C. **Mapeamento das alterações do uso e ocupação do solo ao longo do Arroio Pelotas**. Monografia. Pelotas: UFPel, 2000.

SILVA, A.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias hidrográficas**. São Carlos: Rima Editora, 2003.

SILVA, V. P. **O raciocínio espacial na era das tecnologias informacionais**. In: Mercator – Revista de Geografia da UFC, ano 05, número 09 (jan./jul), p.29/36, 2006.

SILVA, C. A. e FILHO, A.P. Geografia, Turismo e Análise Sistêmica. In: **Contribuições à história e à epistemologia da geografia**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

SILVA, R. C. **Análise dos processos de erosão e assoreamento na microbacia hidrográfica do Arroio Pelotas, RS**. Monografia. Pelotas: UFPel, 2007.

SILVEIRA, A. Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica. In: **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Vol.4. Porto Alegre: EDUSP, 1993.

SOTCHAVA, V. B. – **O Estudo de Geossistemas. Métodos em questão**. São Paulo: 1977.

SPOSITO, E. S. **Geografia e filosofia: Contribuições para o ensino do pensamento geográfico**. São Paulo: Editora UNESP, 2004.

SRTM/NASA. **Shuttle Radar Topography Mission**. Disponível em: [www2.jpl.nasa.gov/srtm/](http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/). Acesso em 20 julho de 2009.

STIPP, N. A. F. e OLIVEIRA, J. **Estudos Ambientais na Área da Microbacia do Ribeirão dos Apertados – Londrina – PR**. In: Revista Geografia/UEL. Londrina, vol.13, n.2, p. 53-65, jul/dez, 2004.

STRAHLER, A. N. **Geografia Física**. 3ª ed. Barcelona – Espanha: Editora Omega, 1997.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2002.

SUGUIO, K. e BIGARELLA, J.J. **Ambientes Fluviais**. Florianópolis: Editora da UFSC/UFPR, 1990.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F (Orgs.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

TRICART, J. – **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Vol.4. Porto Alegre: EDUSP, 1993.

VALERIANO, M. M. Dados Topográficos. In: **Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VASCONCELLOS, M. J. E. **Pensamento sistêmico: O novo paradigma da ciência**. 2ª ed. Campinas, SP: Papyrus, 2002.

VITTE, A. C. e GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2004.

VITTE, A. C (Org.). **Contribuições à história e à epistemologia da geografia**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

XAVIER-da-SILVA, J. e ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento e Análise Ambiental: Aplicações**. Rio de Janeiro. Editora Bertrand Brasil, 2004.