

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM
"CIÊNCIAS DA ENGENHARIA AMBIENTAL"

**APLICAÇÕES DE TÉCNICAS DE
GEOPROCESSAMENTO NO ESTUDO DAS RELAÇÕES
ENTRE OS PROCESSOS EROSIVOS E
SEDIMENTOLÓGICOS DE BACIA HIDROGRÁFICA**

ALEXANDRE MARCO DA SILVA

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação "Ciências da Engenharia Ambiental", da Escola de Engenharia de São Carlos (USP), como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor.



ORIENTADOR: Prof. Dr. Harry Edmar Schulz.

SÃO CARLOS - SP
1999

contatos: marcosil@bol.com.br

Class.	TESE-EESC
Gutt.	5379
Tombo	014100

31100008558

s/s 107/755

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC/USP

S586n Silva, Alexandre Marco da
Aplicações de técnicas de geoprocessamento no
estudo das relações entre os processos erosivos e
sedimentológicos de bacia hidrográfica / Alexandre
Marco da Silva. -- São Carlos, 1999.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.

Área: Ciências da Engenharia Ambiental.

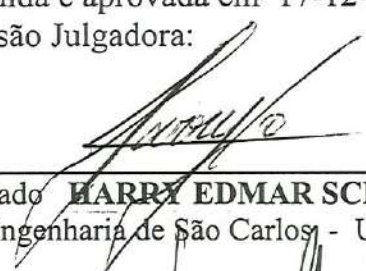
Orientador: Prof. Dr. Harry Edmar Schulz.

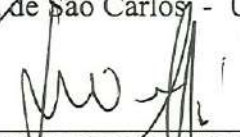
1. Sedimentologia. 2. Erosão. 3. Bacia
hidrográfica. 4. Geoprocessamento. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Ecólogo **ALEXANDRE MARCO DA SILVA**

Tese defendida e aprovada em 17-12-1999
pela Comissão Julgadora:

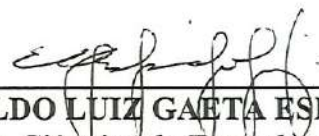

Prof. Associado **HARRY EDMAR SCHULZ (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

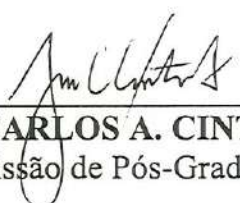

Prof. Titular **SWAMI MARCONDES VILLELA**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)


Prof. Doutor **ANTONIO CARLOS TAVARES**
(UNESP - Campus de Rio Claro)


Doutor **FRANCISCO LOMBARDI NETO**
(Pesquisador Científico VI - IAC - Campinas)


Prof. Doutor **REINALDO LORANDI**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)


Prof. Doutor **EVALDO LUIZ GAETA ESPÍNDOLA**
Coordenador da Área de Ciências da Engenharia Ambiental


JOSE CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

DEDICATÓRIA

Ao pessoal lá de casa...
pois as forças surgiam
quando suas lembranças
vinham em meus
pensamentos...

- AGRADECIMENTOS -

Ao grande amigo e orientador Harry Edmar Schulz, pela oportunidade dada e pela confiança em mim depositada para a realização deste trabalho.

Pela mesma razão agradeço também à coordenação do programa de Pós-graduação "Ciências da Engenharia Ambiental" (EESC – USP).

À Universidade do Tocantins (UNITINS) pelas dependências cedidas e demais auxílios prestados para a realização deste trabalho. Aos professores, funcionários e alunos desta instituição que direta ou indiretamente contribuíram no desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos Fernán e Regina pelo grande apoio dado em muitos momentos durante toda a minha estadia no Tocantins e desenvolvimento do trabalho desde a minha chegada em Palmas.

Aos amigos de São Carlos pelos apoios prestados em vários momentos, no local ou à distância: Zé Américo, Glória, Donato, Esperanza, Corina, Bittar, Serginho, Antonio (Ninim), entre outros que não lembrei no momento.

Ao CNPq, pela bolsa de doutorado concedida para a realização do curso, desenvolvimento do trabalho e obtenção de mais este título acadêmico.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram nesta jornada.

• SUMÁRIO:

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iv
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
RÉSUMÉ.....	x
1 — INTRODUÇÃO.....	1
2 — JUSTIFICATIVA.....	3
3 — OBJETIVOS.....	4
3.1 — Geral.....	4
3.2 — Específicos.....	4
4 - REVISÃO DA LITERATURA.....	5
4.1 - Fatores atuantes processo erosivo.....	5
4.1.1 — Solo.....	5
4.1.1.1 — Propriedades do solo que exercem influência na resistência contra o processo erosivo.....	6
4.1.2 — Natureza geológica das rochas formadoras do solo.....	9
4.1.3 — Clima.....	10
4.1.4 — Topografia.....	11
4.1.5 — Cobertura do solo.....	14
4.2 — Definição do problema "erosão" e principais modalidades de erosão hídrica.....	15
4.3 — Classificação das terras e de perdas de solo.....	19

4.4- O fenômeno da erosão como consequência de um fator econômico e/ou social.....	26
4.5 - Formas de abordagens do processo erosivo conforme o tipo de uso e ocupação.....	30
4.5.1 - A erosão ocorrente em área urbana.....	30
4.5.2 - A erosão ocorrente em área rural.....	33
4.5.3 - Erosão em estradas.....	37
4.6 - Estado da arte da pesquisa em erosão.....	39
4.6.1 — Os métodos de pesquisa.....	39
4.6.1.1 — Equação Universal de Perdas de Solo.....	44
4.6.2 - Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	51
4.7 - O processo erosivo enquanto fonte de poluição.....	53
4.7.1 — Erosão do solo e quantidade/qualidade da água.....	53
4.7.2 — Erosão e sedimentação sob a óptica do impacto ambiental.....	58
4.8 — Bacia hidrográfica como objeto de investigação técnico-científica e como unidade de gestão ambiental.....	59
4.8.1 — Estudos morfométricos de bacias hidrográficas.....	61
4.9 - Sedimentologia em bacias hidrográficas.....	66
4.9.1 — Dinâmica hidrossedimentológica.....	66
4.9.2 — Erosão e sedimentação sob a óptica do ciclo sedimentológico.....	69
4.9.3 — Métodos de estimativas de descarga sólida e de estimativas de coeficientes sedimentológicos.....	70
4.9.3.1 — Produção específica líquida de sedimento.....	73

4.9.3.2 — Coeficiente de remoção de sedimento.....	74
4.10 - Atividades conservacionistas e de recuperação de ambientes degradados pela erosão e conseqüentemente pelo transporte e deposição de sedimentos.....	82
5 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS E UM BREVE HISTÓRICO SOBRE SUA OCUPAÇÃO.....	87
5.1 — Localização.....	87
5.2 — Clima.....	89
5.3 — Geologia.....	90
5.4 — Geomorfologia.....	92
5.5 — Hidrografia, uso d'água e produção de sedimentos.....	92
5.6 - Solos.....	93
5.6.1 — Características gerais dos tipos de solos ocorrentes na área de estudo, conforme a literatura.....	94
5.6.2 — Informações adicionais sobre os solos da área de estudo.....	97
5.7 — Vegetação.....	97
5.8 - Breve histórico sobre o surgimento e o processo de ocupação do estado do Tocantins e da capital Palmas.....	98
6 - MATERIAL E MÉTODOS.....	102
6.1 - Documentação fotográfica preliminar.....	102
6.2 - Digitalização, cálculo e análise dos parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica e dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solo.....	102

6.2.1 - Caracterização fisiográfica da bacia do ribeirão Água Fria.....	102
6.2.2 — Aquisição de informações e procedimentos de cálculo para determinação dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solo.....	103
6.2.2.1. - Fator R - erosividade das chuvas.....	104
6.2.2.2 — Hipsometria, declividade e fator LS.....	106
6.2.2.2.1- Geração do "Modelo de Elevação Digital" da bacia hidrográfica.....	106
6.2.2.2.2. - Geração dos mapas de classes hipsométricas e classes de declividade da bacia hidrográfica.....	106
6.2.2.2.3 - Geração do mapa de classes de valores do fator LS da bacia hidrográfica.....	109
6.2.2.3 - Fator K - erodibilidade das classes de solos ocorrentes na bacia hidrográfica.....	109
6.2.2.4 — Fator C - cobertura do solo.....	110
6.2.2.5 - Fator P - práticas conservacionistas.....	113
6.3 — Elaboração do mapa de potencial natural à erosão.....	114
6.4 - Elaboração do mapa de expectativa de perda de solo (EPS) da bacia hidrográfica em função do seu uso e ocupação.....	111
6.5 - Determinação dos pontos de amostragem e digitalização das sub-bacias; estimativa da vazão líquida e vazão sólida e análise de parâmetros indicadores da qualidade da água em cada ponto de amostragem.....	115
6.5.1 - Localização e digitalização dos pontos de amostragem.....	115
6.5.2 - Estimativa da vazão.....	117

6.5.3 - Concentração de sedimentos e análise de parâmetros indicadores da qualidade da água.....	117
6.5.4 - Cálculo da descarga sólida, produção específica líquida de sedimentos para cada sub-bacia e para a área total.....	119
6.5.5. — Estimativa do coeficiente de remoção de sedimentos para cada sub-bacia e para a área total.....	120
6.5.6 — Análise da distribuição espacial das diferentes modalidades de erosão e da sua relação quanto ao aporte de sedimentos nos canais de drenagem.....	121
7 - RESULTADOS.....	123
7.1 — Análise morfométrica da bacia.....	123
7.2 - Erosividade das chuvas — fator R.....	126
7.3 - Fator topográfico da EUPS — fator LS.....	127
7.4 — Solos e a erodibilidade - fator K.....	129
7.5 - Uso e ocupação da bacia - fator C.....	131
7.6 — Práticas conservacionistas - fator P.....	137
7.7 - Potencial Natural à Erosão.....	137
7.8 - Expectativa de Perdas de Solo.....	139
7.9 - Parâmetros indicadores da qualidade da água.....	141
7.10 - Sedimentologia.....	151
7.10.1 — Vazão.....	151
7.10.1.1 — Relação entrada x saída de água.....	153
7.10.2 - Deflúvios sólidos diários, mensais médios e anual médio.....	154

7.10.2.1 — Relação entre descarga sólida em suspensão e descarga sólida de arraste.....	158
7.10.3 — Produção específica líquida de sedimento.....	160
7.10.4 - Estimativa do coeficiente de remoção de sedimentos.....	161
7.11 — Estimativa do tipo de erosão predominante na bacia hidrográfica.....	163
8 — DISCUSSÃO.....	170
8.1 — Análise morfométrica da bacia.....	170
8.2 — Erosividade da chuvas — fator R.....	176
8.3 — Fator topográfico da EUPS — fator LS.....	177
8.4 — Erodibilidade — fator K.....	179
8.5 — Aspectos sociais, econômicos e culturais ligados ao uso e ocupação da área de estudo. Cobertura do solo — "fator C" e práticas conservacionistas — "fator P"	182
8.6 — Potencial natural de erosão e expectativas de perdas de solo.....	193
8.7 — Parâmetros físicos da água — caracterização e classificação sob o ponto de vista sanitário.....	196
8.8 — Dinâmica sedimentológica.....	202
8.8.1 — Vazão e relação "entrada e saída" de água na bacia...203	
8.8.2 — Deflúvio sólido e relação entre descarga sólida em suspensão e de arraste.....	204
8.8.3 — Produção específica líquida.....	205
8.9 — Coeficiente de remoção de sedimentos e análise final.....	208
9 — COMENTÁRIOS ADICIONAIS.....	220

10 - CONCLUSÕES.....	223
11 - BIBLIOGRAFIA REFERENCIADA.....	226
ANEXOS.....	240

• LISTA DE FIGURAS:	pág.
FIGURA 4.1 - Geometria e declividades em encostas convexa e côncava.....	13
FIGURA 4.2 - Valores, em gramas de peso seco, de material salpicado entre as duas condições experimentais.....	15
FIGURA 4.3 – Variações entre a velocidade média e o tamanho das partículas, e suas relações com os grandes grupos de processos fluviais.....	18
FIGURA 4.4 – Relação entre profundidade de solo e produtividade para a cultura de milho.....	36
FIGURA 4.5 - Relações entre a velocidade de precipitação e o diâmetro da partícula, para sedimentos arenosos.....	67
FIGURA 4.6 – Comparação entre o escoamento, a carga em suspensão e a concentração de sólidos na água para alguns rios do mundo.....	73
FIGURA 4.7 – Relação entre a área de drenagem e a produção específica de sedimento (reta) e alguns exemplos de estimativa.....	74
FIGURA 4.8 – Coeficiente de remoção de sedimento <i>versus</i> área de drenagem para uso com a EUPS.....	75
FIGURA 4.9 – Efeito da razão relevo-comprimento no coeficiente de remoção de sedimento (fração) para uso em estimativas com a EUPS.....	77
FIGURA 4.10 – Diagrama para estimativa do coeficiente de remoção para posterior aplicação na EUPS.....	80
FIGURA 4.11 – Diagrama de conversão da porcentagem da área do polígono da figura anterior para o valor do coeficiente de remoção de sedimentos.....	81
FIGURA 5.1 - Mapa localizando o município de Palmas e a bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria.....	88
FIGURA 5.2 – Médias mensais de precipitação e de temperatura para a cidade de Porto Nacional (TO).....	89

FIGURA 5.3 – Mapa geológico da área de estudo elaborado a partir de informações extraídas do mapa geológico do projeto RADAMBRASIL.....	91
FIGURA 5.4 – Mapa mostrando os nomes dos principais rios com a localização em coordenadas UTM.....	93
FIGURA 5.5 – Mapa de solos da bacia.....	95
FIGURA 6.1 - Mapa das linhas isoerodentes do estado.....	105
FIGURA 6.2 - Mapa da bacia, em perspectiva, mostrando as classes hipsométricas da área.....	107
FIGURA 6.3 – Mapa de classes de declividade da bacia.....	108
FIGURA 6.4 – Mapa identificando as sub-bacias na área de estudo.....	116
FIGURA 6.5 – Mapa mostrando procedimento de cálculo para sub-bacias.....	120
FIGURA 7.1 - Curva de distribuição mensal (em % acumulada) ao longo do ano do índice de erosão para a região onde localiza-se a área de estudo.....	126
FIGURA 7.2 – Mapa mostrando as classes de valores do fator LS para a área de estudo.....	128
FIGURA 7.3 – Mapa de classes de uso e ocupação do solo para a área de estudo.....	132
FIGURA 7.4 – Mapa mostrando as classes de cobertura do solo para a área de estudo.....	135
FIGURA 7.5 – Mapa mostrando as classes de valores para o potencial natural à erosão para a área de estudo.....	138
FIGURA 7.6 - Mapa mostrando as classes de valores de expectativa de perdas de solo para a área de estudo.....	140
FIGURA 7.7 - Valores de turbidez (em NTU) para as oito sub-bacias durante o período de estudo.....	142

FIGURA 7.8– Valores de sólidos sedimentáveis (em mg/l) para as oito sub-bacias durante o período de estudo.....	148
FIGURA 7.9 – Valores de sólidos dissolvidos (em mg/l) para as oito sub-bacias durante o período de estudo.....	149
FIGURA 7.10 - Valores de sólidos totais (em mg/l) para as oito sub-bacias durante o período de estudo.....	150
FIGURA 7.11 - Vazão líquida (em m ³ /s) para cada sub-bacia em cada mês de coleta.....	152
FIGURA 7.12 – Gráfico “radar” mostrando as relações (em mm) entre precipitação (entrada de água) e vazão (saída de água).....	153
FIGURA 7.13 – Relação percentual do deflúvio sólido para cada sub-bacia e para cada mês durante o período de estudo.....	159
FIGURA 7.14 – Reta gerada a partir da relação entre a área e o respectivo coeficiente de remoção para cada sub-bacia e para a área de estudo.....	163
FIGURA 7.15 – Distribuição espacial da expectativa e/ou ocorrência das diferentes modalidades de erosão quanto ao aporte de sedimentos nos canais de drenagem.....	164
FIGURA 8.1 – Produção específica líquida de sedimentos em função da área de drenagem, com alguns pontos obtidos na literatura e agora também com o valor obtido para a área do presente estudo.....	206
FIGURA 8.2 – Comparação entre o escoamento, a carga em suspensão e a concentração de sólidos na água para alguns rios do mundo e enquadramento aproximado da área de estudo.....	207
FIGURA 8.3 – Coeficiente de remoção de sedimento <i>versus</i> área de drenagem para uso com a EUPS, agora incluindo a reta gerada para a área de estudo.....	216

• LISTA DE TABELAS:	pág.
TABELA 4.1 - Classificação da partícula de solo em função de seu tamanho.....	7
TABELA 4.2 – Velocidades de segurança de movimento das águas superficiais contra a erosão, conforme o grau de transportabilidade e destacabilidade das partículas de solo.....	9
TABELA 4.3 – Relação entre velocidade final e altura de queda de gotas d’água.....	11
TABELA 4.4 – Descrição do relevo conforme os intervalos de porcentagem de inclinação.....	23
TABELA 4.5 – Perdas de terras associadas ao uso agrícola no estado de São Paulo.....	35
TABELA 4.6 - Enquadramento de uso da água doce conforme sua classe.....	56
TABELA 4.7 – Quantidade média das substâncias dissolvidas nas águas dos rios e lagos de toda a Terra.....	68
TABELA 5.1 – Caracterização dos latossolos.....	94
TABELA 6.1 - Valores do fator “C” atribuído para cada classe de uso e ocupação.....	112
TABELA 7.1 - Valores de cada parâmetro morfométrico determinado para a área total da bacia e para cada sub-bacia.....	125
TABELA 7.2 – Porcentagem de ocorrência de cada classe de valor do fator LS em cada sub-bacia e em toda a área de estudo.....	129
TABELA 7.3 – Porcentagem de cada classe de declividade ocorrente em cada sub-bacia e para a área de estudo.....	129
TABELA 7.4 – Porcentagem de ocorrência de cada tipo de solo em cada sub-bacia e na área total.....	130
TABELA 7.5 - Valores do fator “K” para cada classe de solo ocorrente na bacia.....	131

TABELA 7.6 – Porcentagem de ocorrência de cada tipo de cobertura para cada sub-bacia e para a área total.....	136
TABELA 7.7 – Proporção de cada classe de potencial natural à erosão em cada sub-bacia e para a área total.....	139
TABELA 7.8 - Proporção de cada classe de expectativa de perda de solo em cada sub-bacia e para a área total.....	141
TABELA 7.9 - Valores de sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos e turbidez para a sub-bacia AF1.....	143
TABELA 7.10 - Valores de sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos e turbidez para a sub-bacia AF2.....	143
TABELA 7.11 - Valores de sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos e turbidez para a sub-bacia AF3.....	144
TABELA 7.12 - Valores de sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos e turbidez para a sub-bacia S1.....	144
TABELA 7.13 - Valores de sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos e turbidez para a sub-bacia S2.....	145
TABELA 7.14 - Valores de sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos e turbidez para a sub-bacia BC1.....	145
TABELA 7.15 - Valores de sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos e turbidez para a sub-bacia BC2.....	146
TABELA 7.16 - Valores de sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos e turbidez para a sub-bacia BC3.....	146
TABELA 7.17 – Valores de média aritmética e coeficiente de variação (C.V.) dos dados de vazão, obtidos para cada ponto ao longo do período de estudo.....	153
TABELA 7.18 – Relação entre entrada e saída de água no sistema.....	154
TABELA 7.19 - Deflúvio sólido total (em t/dia) para cada sub-bacia em cada mês de coleta.....	155
TABELA 7.20 – Valores mensais e anual (valores “brutos”) de sedimento carregado (em toneladas) para cada sub-bacia.....	156

TABELA 7.21 – Valores “líquidos” mensais de sedimento carregado (+) ou retido (-) (em toneladas) para cada sub-bacia.....	157
TABELA 7.22 – Produção específica líquida de sedimento (em t/ha x ano) para cada sub-bacia e para a bacia total, durante o período de estudo.....	160
TABELA 7.23 – Valores da estimativa anual de solo removido e produção líquida de sedimento e estimativa do coeficiente de remoção de sedimento.....	162
TABELA 7.24 – Interpretação da potencialidade de aporte de sedimentos conforme a proporção de classes de expectativa de perdas de solo – erosão laminar.....	166
TABELA 7.25 – Interpretação da potencialidade de aporte de sedimentos conforme a densidade de ravinas por km ²	166
TABELA 7.26 – Interpretação de expectativa de ocorrência de voçorocas conforme as características dos fatores considerados.....	167
TABELA 7.27 – Interpretação de expectativa de ocorrência de erosão em canais conforme as características dos fatores considerados.....	167
TABELA 7.28 – Interpretação de expectativa de ocorrência de erosão por deslizamento conforme as características dos fatores considerados.....	168
TABELA 7.29 - Estimativa da probabilidade de erosão predominante para cada sub-bacia.....	169
TABELA 8.1 - Classes de interpretação para os valores da densidade de drenagem.....	172
TABELA 8.2 - Classes de interpretação para os valores da textura da topografia.....	175
TABELA 8.3 - Classes de interpretação para índices de erosividade.....	176
TABELA 8.4 – Classes de interpretação para os valores do fator K.....	180
TABELA 8.5 – Valores de perdas de solo para interpretação do parâmetro “potencial natural à erosão”.....	194

TABELA 8.6 – Classes de interpretação para o parâmetro expectativa de taxas de erosão.....	195
---	-----

Título: Aplicação de técnicas de geoprocessamento no estudo das relações entre os processos erosivos e sedimentológicos de bacia hidrográfica.

- RESUMO -

Investigou-se as relações existentes entre os processos erosivos e sedimentológicos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Água Fria em função das características físicas e de uso do solo da área, através de técnicas de geoprocessamento.

Utilizou-se a Equação Universal de Perdas de Solo para gerar o mapa de expectativas de perdas de solo. Para realizar a estimativa do transporte de sedimentos dividiu-se a área de estudo em oito sub-bacias e, por um ano, realizou-se coletas mensais de amostras de água e de informações adicionais para estimar a quantidade total de sedimento carregado em cada sub-bacia, calculado pelo método simplificado de Colby. Utilizando-se recursos de geoprocessamento estimou-se os seguintes parâmetros: produção específica de sedimentos, coeficiente de remoção de sedimentos, estimativa do grau de influência de cada modalidade de erosão no aporte de sedimentos em cada sub-bacia.

Verificou-se que o relevo possui movimentação de forma concentrada na área e que o tipo de solo bem como o substrato geológico foram importantes fatores na variação e na amplitude de valores da expectativa de perdas de solo conforme a localização. A queimada constitui-se o processo de alteração ambiental de maior importância na região, sendo praticada numa frequência acima do tolerável e nem sempre com finalidade de posterior utilização da área impactada.

A modalidade de erosão que estimou-se ser a maior contribuinte de sedimentos aos canais de drenagem é a laminar, embora as modalidades linear e em canais sejam importantes contribuintes, conforme a localização. O valor da produção específica de sedimentos obtida para a área de estudo ficou próximo ao da reta normal de produção específica de sedimentos gerada conforme a área da bacia. Entretanto a reta do coeficiente de remoção apresentou-se abaixo daquelas apresentadas na bibliografia, provavelmente devido as características climatológicas locais.

Menciona-se a necessidade de haver um programa de incentivo a manter-se a superfície do solo coberta e protegida da ação erosiva das chuvas e também na preservação das matas ciliares para manutenção da boa qualidade das águas fluviais e dos canais de drenagem.

Palavras-chave: erosão, sedimentologia, sistema de informação geográfica, bacia hidrográfica.

Title: Application of GIS technology to study the watershed relationships on erosive and sedimentological processes on.

- ABSTRACT -

Relationships between erosive and sedimentological processes were investigated for the Água Fria watershed according its physical characteristics and land use forms, using GIS technology.

Universal Soil Loss Equation was used to create the soil loss expectation map. To estimate the total sediment outflow, the watershed was divided in eight sub-watersheds and, during one year, was collected in each sub-watershed monthly samples of water and additional informations to estimate the sediment yield from each sub-watershed. The sediment yield was determined using the Colby's simplified method. Using GIS technology, the following coefficients were determined: sediment yield by area unit, sediment delivery ratio, evaluation of degree of participation of each erosion mode on sediment inflow into the systems drainage at each sub-watershed.

The relief's watershed showed a concentrate irregularity on its high parts. The soil types and lithology were important factors on spatial variations and amplitude of the values of soil loss expectation. The burn of vegetation constitute the main process of environmental alteration. It is coming in a dangerous frequency and sometimes without the aim of posterior uses of the burned land.

Sheet erosion is the mode of erosion that can be the most contributor of sediments into the drainage channels, although the rill and stream erosion can be important contributors too, according to localization. The value of sediment yield calculated to study area was similar those determined by normal line of sediment yield determined using the value of watershed's area. However, the line regression determined to sediment delivery ratio was different those presented on bibliography, perhaps due the climatological characteristics of study area.

Programs of incentive to maintenance the soil cover and protected against the rain's erosive forces are necessary. It's too necessary on preservation of riparian forests to promote the maintenance of good fluvial water's quality and of drainage channels too.

Key-words: erosion, sedimentology, geographical information system (G.I.S.), watershed.

Titre: Application de techniques de systèmes d'information géographique on étudie dans relations entre les processus érosives et sédimentologiques de bassin hydrographique

- RÉSUMÉ -

Les relations entre les processus érosives et sédimentologiques de bassin hydrographique «d'Água Fria» furent recherchées en fonction des caractéristiques physiques et d'usage du sol, étudié à travers de techniques de systèmes d'information géographique.

L'Équation Universel de Pertes de Sol fut utilisée pour engendrer le carte de expectative de pertes de sol. Pour réaliser l'estimatif du transport de sediment, on a divisé l'aire d'étude en huit sub-bassins et pour un anée, furent réalisées collectes mensuels d'échantillons d'eau et d'informations additionels pour engendrer le quantité total de sediment charrié en chaque sub-bassin, calculée par de méthode de Colby. À travers de techniques de systèmes d'information géographique on consider les suivants paramètres: production spécifique de sediment, coefficient de transference de sediment, estimatif du degré d'influence de chaque modalité de érosion sur l'apport de sediment em chaque sub-bassin.

On a vérifié que le mouvementation du relief est de manière concentré dans la parts élevées de l'aire d'étude et que le type de sol, ainsi comme la lithologie, furent importants facteurs dans la variation et dans l'amplitude dus valeurs dans l'expectative de pertes de sol conforme le local. Brûler cest le procès de modofication environné de majeur importance de la région, étant pratiquée dans une fréquence au-dessus du toréable et pas toujours avec le finalité de postérieur utilisation de l'aire dégradée.

Le modalité de érosion on a estimé être le majeur contribuable de sediments aux canals de drainage est l'érosion en nappes, quand même l'érosion par rigoles et en cours d'eau soient importants contribuats, selon la localisation. Le valeur de production spécifique de sediment calculée pour l'aire d'étude reste pareil au de la ligne normal de production spécifique de sediment engendré conforme le valeur de l'aire de la bassin. Cepedant le ligne du coefficient de transference de sediment présentée á bas desquelles presentées dans la bibliographie, probablement par la raison des caractéristiques climatologiques de la région.

On signale le nécessitée d'avoir un programme de incitation de maintenir la surface du sol couvrée et protégée de l'action érosive des pluies et aussi dans la préservation des forêts ciliaires pour la manutention de la bonne qualité des eaux fluviales et des canals de drainage.

Termes – clef: érosion, bassin hydrographique, système d'information géographique, sédimentologie.

1 - INTRODUÇÃO:

No âmbito de promover alguma forma de desenvolvimento para uma região, as sociedades humanas, seja em áreas rurais ou urbanas, sempre possuem a tendência de promover impactos no ambiente em que vivem, tanto no meio biótico como no meio abiótico. Exemplos destes impactos são vistos no mau uso do solo e da água tanto em áreas rurais como em áreas urbanas, provocando conseqüências freqüentemente noticiadas como erosão, poluição e contaminação de lençóis freáticos e demais corpos-d'água, além do freqüente acúmulo de materiais tóxicos e/ou nocivos à saúde humana e aos demais seres vivos que compõem a comunidade biótica do ecossistema em questão.

Neste contexto, torna-se necessário acompanhar o desenvolvimento local, apontar aspectos falhos no planejamento e gestão da área e dos recursos voltados à ela e oferecidos por ela, racionalizando a exploração dos bens disponíveis, bem como direcionando a ocupação do solo para fins adequados em função de sua capacidade de exploração, visando manter a qualidade do ambiente.

No âmbito urbano regiões são desmatadas, alterando a forma de cobertura do solo e ocasionando alterações principalmente no ciclo hidrológico, já que ocorre uma diminuição da porcentagem de água infiltrada e ainda um aumento no escoamento superficial. Conseqüentemente aumenta-se a produção de sedimentos, ocorrendo alterações tanto no solo em função do seu empobrecimento e perdas por erosão como nos cursos d'água, com conseqüências como o assoreamento e/ou a contaminação dos cursos d'água e da cadeia alimentar.

Devido à ausência dos chamados "zeladores do meio ambiente", foram destruídos no Brasil, vegetações como: os pinheirais da região Sul, as matas (especialmente espécies como o pau-brasil e jacarandás), do norte do Espírito Santo e sul da Bahia; o mogno, na região Amazônica; o açaí, no estado do Pará, os palmitais da Mata Atlântica e, em vias de extinção, as seringueiras e castanheiras da Amazônia (CORREA, 1995).

A Amazônia Legal do Brasil contém 850.000 km² de vegetação de cerrado concentrado principalmente nos estados de Mato Grosso (43%) e Tocantins (29%), sendo o segundo maior bioma brasileiro, atrás somente da floresta amazônica. É uma das mais ricas floras de savana do mundo (NEPSTAD *et al*, 1997).

O processo de ocupação do cerrado teve início no século XVI, com a procura de índios e exploração de minerais preciosos pelos portugueses. No século XVIII ocorreram os primeiros assentamentos definitivos de populações na região, associados com a mineração do ouro e logo após, com o esgotamento das minas, houve uma alteração na atividade econômica para a pecuária. No século XX, duas foram as principais razões

para a expansão da ocupação da região do cerrado: a instalação da capital federal Brasília no final da década de 50 e a construção de algumas rodovias seguidas pela expansão de áreas ocupadas e expansão de áreas de agricultura comercial (NEPSTAD *et al*, 1997).

Como consequência da expansão das áreas de ocupação do cerrado, houve um crescimento da população da região de 6,5 milhões em 1970 para 12,6 milhões em 1991. Em linhas gerais, a região vem sofrendo um intenso processo de migração da população rural para áreas urbanas. Cerca de 25% da população da região está concentrada nas áreas metropolitanas de Brasília e de Goiânia (KLINK *et al* (1993) *in* NEPSTAD *et al*, 1997).

Em função de movimentos populares, ora políticos, ora não, que vinham ocorrendo há séculos, em 1988 houve a divisão política do estado de Goiás em duas partes, onde a porção setentrional desta divisão originou-se o estado do Tocantins, justamente no âmbito de promover um impulso ao desenvolvimento desta região.

A construção da capital do estado, o município de Palmas, iniciada em maio de 1990, embora tenha sido projetada para ser uma "Cidade Ecológica", constitui-se em mais um caso de alteração do cerrado brasileiro, haja visto as profundas alterações provocadas pelo desmatamento na área central da cidade e suas adjacências. Palmas experimentou um crescimento populacional médio anual superior a 25 % entre os censos de 1991 e 1996, realizados pelo I.B.G.E.. Isto devido principalmente a um enorme fluxo migratório que vem ocorrendo para a região centro-sul do estado do Tocantins, afetando significativamente o ambiente local, principalmente em função do modo acelerado e, às vezes, desordenado de urbanização que vem ocorrendo na cidade e que nem sempre os serviços públicos colocados a disposição da população conseguem atender a demanda satisfatoriamente.

2 - JUSTIFICATIVA:

A proposta do presente trabalho está localizada no contexto mais geral da problemática da erosão em função do modo de ocupação e manejo do solo e de sua cobertura, quer seja em áreas urbanas, quer seja em áreas rurais. As conseqüências desses processos erosivos geram problemas cujas soluções normalmente resultam em orçamentos muito onerosos em termos econômicos e complexos em termos ambientais e sociais para prefeituras e demais segmentos da sociedade solucionar.

A obtenção e integração de informações sobre este tema é de grande interesse para organizações governamentais e não governamentais da região, uma vez que proporciona uma base de conhecimentos que, fundamentada nas características regionais, fornece subsídios ao gerenciamento tanto do modo de utilização da área como da quantidade e qualidade da água que chegará aos rios sob a forma de escoamento superficial ou sub-superficial.

Pretendeu-se com este trabalho realizar um diagnóstico do potencial natural de erosão e também da expectativa do processo de erosão acelerada na bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria (município de Palmas, estado do Tocantins), além de explicar as possíveis influências que este processo pode estar exercendo nos recursos hídricos da área. Isto foi feito através do levantamento e integração de informações sobre as características naturais da área e do modo e intensidade de uso e ocupação do solo. Algumas informações foram levantadas em campo, durante o período de janeiro de 1998 a fevereiro de 1999, enquanto que outras foram levantadas de outras fontes (mapas, imagens de satélites, trabalhos preexistentes sobre a região) também durante este período.

Buscou-se ainda gerar novas concepções de abordagem do processo e fornecer subsídios para auxiliar futuros programas de manejo dos solos e dos recursos hídricos, dentro dos novos conceitos de manejo ambiental que vem se desenvolvendo (microbacias) e dentro de um novo padrão de tecnologia que surgiu e vem se desenvolvendo (informatização de informações e manipulação de dados com uso de computadores).

Salienta-se que de uma forma geral o trabalho fornece subsídios no sentido de servir de modelo de abordagem dos processos ocorrentes em qualquer bacia hidrográfica, porém mais especificamente para a região estudada (bacia do Ribeirão Água Fria, cuja ocupação é recente, a qual conta ainda com escasso volume de informações sobre a área). O trabalho fornece subsídios tanto do próprio modelo de abordagem quanto também para utilização direta dos produtos nele gerados (mapas, gráficos, tabelas), prestando também uma contribuição para favorecer o desenvolvimento sustentado da região a partir das informações geradas.

3 - OBJETIVOS:

3.1 - GERAL:

- Realizar um estudo, de forma integrada, das relações entre os processos erosivos e sedimentológicos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Água Fria em função das características físicas e de uso do solo da área, utilizando técnicas de geoprocessamento.

3.2 - ESPECÍFICOS:

- Diagnosticar os processos de erosão ocorrentes na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Água Fria.

- Elaborar os mapas de potencial natural de erosão e de expectativa à erosão da bacia.

- Interpretar e analisar o uso e ocupação do solo na bacia, suas causas e suas relações com os processos erosivos e sedimentológicos ocorrentes na área.

- Estimar a vazão e o transporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Água Fria em cada uma das oito regiões (sub-bacias) que foi dividida a bacia, ao longo de um ano de estudo.

- Estimar a taxa de produção específica líquida de sedimentos e do coeficiente de remoção de sedimento da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Água Fria.

- Explicar, de forma qualitativa, a contribuição com que cada modalidade de erosão vem contribuindo no aporte de sedimentos aos canais de drenagem da bacia conforme a localidade.

4 - REVISÃO DA LITERATURA:

Devido ao processo erosivo-sedimentológico ser de compreensão complexa por envolver vários fatores, o procedimento seguido neste trabalho buscou abordar o assunto de forma holística desde o capítulo sobre a fundamentação teórica. Esta forma de abordagem foi encontrada na literatura consultada com raridade e no presente trabalho visa fornecer subsídios essenciais para uma clara compreensão de cada uma das etapas efetuadas desde os trabalhos de campo até os cálculos finais dos coeficientes e elaboração dos mapas.

4.1 - Fatores atuantes no processo erosivo:

4.1.1 – Solo:

Antes de discorrer sobre o processo erosivo, vale um breve comentário sobre um dos agentes passivos deste processo sobre o qual a atenção é quase integralmente concentrada: o solo.

Trata-se de um corpo formado por processos físicos, químicos e/ou biológicos, cujos agentes de formação são basicamente o clima, fatores topográficos e a comunidade biótica, 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.

Possui, enquanto ecossistema, a função de servir de moradia para alguns grupos de organismos e, enquanto parte integrante da biosfera, servir de substrato para a fixação de diversos grupos de outros organismos. É um local de excelência de complexas reações físicas, químicas e físico-químicas que compreendem a síntese e/ou a mineralização da matéria orgânica. Em função de complexas interações de vários fatores que determinam sua formação e evolução, existe uma grande variedade de tipos de solos.

Ao longo de um perfil vertical de um solo, este pode ser dividido em camadas (horizontes), que são diferenciados em função do tipo de cobertura que predomina sobre sua superfície, clima local e rocha matriz, entre outros fatores. Tais horizontes são de espessura muito variável e de características muito diversificadas. Todas estas características determinam a aptidão do solo de uma localidade para determinado uso, de forma a ter um melhor retorno econômico, com uma sustentabilidade contínua a médio e longo prazo.

4.1.1.1 – Propriedades do solo que exercem influência na resistência contra o processo erosivo:

Várias são as características do solo que podem influenciar no processo erosivo e o conhecimento destas características é de grande importância na orientação dos trabalhos de manejo de solo e controle da erosão (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990, LEPSCH, 1993).

A textura do solo compreende a distribuição quantitativa das classes de tamanho de partículas que compõem o solo. São consideradas partículas os seixos, os cascalhos, a areia, o limo (ou silte), e a argila (TABELA 4.1). Partículas menores que 2 mm de diâmetro, porém, são as de maior importância, pois muitas propriedades físicas e químicas da porção mineral do solo dependem da proporção que contém dessas partículas de tamanho pequeno. Assim, usualmente, se consideram apenas as três frações menores - areia, limo e argila - para caracterizar a textura. É uma propriedade permanente do solo que depende das características do material originário e dos agentes naturais de formação do solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

PRADO (1991) discorre sobre a atenção que é necessário observar em solos cuja mudança textural entre horizontes é abrupta, isto é, ocorre uma brusca mudança textural no perfil do solo, com um exagerado aumento no teor de argila (equivalente ao dobro ou mais), num pequeno intervalo vertical na zona limítrofe do horizonte superficial para o horizonte subjacente (menos de 7,5 cm). O autor comenta ainda que em casos como este há grande suscetibilidade à erosão, favorecendo muito a formação de voçorocas, pois ocorre rápida permeabilidade da água no horizonte "A" e lenta no horizonte "B".

A estrutura do solo é a forma como se arranjam as partículas elementares do solo. A estrutura determina a maior ou menor facilidade de trabalho das terras, permeabilidade à água, resistência à erosão e as condições ao desenvolvimento das raízes das plantas. A estrutura pode ser modificada pelas práticas de manejo, tais como o trabalho mecânico, o manejo da incorporação de matéria orgânica, a drenagem, rotação de culturas (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

PRIMAVESI (1987) menciona a agregação do solo denominada *bioestrutura* do solo, a qual é caracterizada pelos agregados secundários ou grumos formados pelos microrganismos a partir dos agregados primários, de formação química. É um tipo de estrutura formada por grumos estáveis à água que depende de colóides ou "cola orgânica" produzida por bactérias, filamentos de algas e de hifas de fungos. Sua vida útil é temporária e depende de sua renovação periódica que é conseguida basicamente pela adição contínua de matéria orgânica. Esta estrutura pode também, quando deficitária, ser corrigida pela adição de matéria orgânica,

porém, o efeito na estabilidade dos agregados somente é conseguido depois de ocorrer a sua decomposição (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

TABELA 4.1 - Classificação da partícula de solo em função de seu tamanho:

Nome	Intervalo de tamanho das partículas (mm):
Cascalho muito grosso	64,00 – 32,00
Cascalho grosso	32,00 – 16,00
Cascalho médio	16,00 – 8,00
Cascalho fino	8,00 – 4,00
Cascalho muito fino	4,00 – 2,00
Areia muito grossa	2,00 – 1,00
Areia grossa	1,00 – 0,50
Areia média	0,50 – 0,25
Areia fina	0,250 – 0,125
Areia muito fina	0,1250 – 0,0625
Silte grosso	0,0625 – 0,0310
Silte médio	0,0310 – 0,0160
Silte fino	0,0160 – 0,0080
Silte muito fino	0,0080 – 0,0040
Argila grossa	0,0040 – 0,0020
Argila média	0,0020 – 0,0010
Argila fina	0,0010 – 0,0005
Argila muito fina	0,0005 – 0,00024

FONTE: AMERICAN GEOPHYSICAL UNION *in* CARVALHO (N. O., 1994).

A porosidade refere-se à proporção de espaços ocupados pelos fluidos em relação ao espaço ocupado pela massa de solo. A perda desta propriedade está associada à redução do teor de matéria orgânica, à compactação e ao efeito do impacto das gotas de chuva, fatores estes que, causando uma diminuição no tamanho dos agregados maiores, reduzem, em consequência, o tamanho dos poros (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). Neste contexto PRIMAVESI (1987) faz uma comparação interessante: “Todos sabem que entre grãos de trigo ou arroz existem

interstícios relativamente grandes. Se água for derramada por cima destes grãos, desaparecerá rapidamente, infiltrando-se pelos “poros”. Mas, se o trigo for moído em farinha, existirão somente espaços minúsculos entre os grãos e se água for derramada sobre a farinha, empoçará, penetrará vagarosamente e não a molhará toda”.

A permeabilidade é a capacidade que tem o solo de deixar passar água e ar através do seu perfil. Em termos de movimento de água, é a condutividade hidráulica do solo saturado. Está diretamente relacionada com o tamanho das partículas, volume e distribuição dos poros e varia nos horizontes de dado solo. Constitui uma das mais importantes propriedades físicas do solo para estabelecimento de práticas conservacionistas (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

O conteúdo de matéria orgânica no solo é de grande importância no controle da erosão. Nos solos argilosos, modifica-lhes a estrutura, melhorando as condições de arejamento e de retenção de água, o que é explicado pelas expansões e contrações alternadas que redundam de seu umedecimento e secamento sucessivos. Nos solos arenosos, a aglutinação das partículas, firmando a estrutura e diminuindo o tamanho dos poros, aumenta a capacidade de retenção de água. A matéria orgânica retém duas a três vezes o seu peso em água, aumentando assim a infiltração, do que resulta uma diminuição nas perdas por erosão. A profundidade do solo e as características do subsolo contribuem para a capacidade de armazenamento da água. O conhecimento do tipo de solo de cada uma das glebas da propriedade é essencial para qualquer plano conservacionista (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Deste modo, a tabela apresentada por RODRIGUES (1982) (TABELA 4.2) mostra as velocidades máximas de movimento de águas superficiais que não ocorre erosão conforme o tipo de terreno e reduz uma série de fatores do processo erosivo a duas características básicas do solo: a destacabilidade e transportabilidade das partículas. A transportabilidade está relacionada com a granulometria e a destacabilidade com a coesão e cita ainda que, para o caso das areias finas, a velocidade de erosão é mínima. Tal velocidade aumenta significativamente de valor tanto no sentido dos materiais mais finos para remover como nos de maior diâmetro para transportar. Menciona ainda que terrenos com partículas maiores apresentam alta destacabilidade e baixa transportabilidade ao passo que nos terrenos com partículas de menor diâmetro ocorre o inverso: baixa destacabilidade e alta transportabilidade.

mat.
água

TABELA 4.2 – Velocidades de segurança de movimento das águas superficiais contra a erosão, conforme o grau de transportabilidade e destacabilidade das partículas de solo:

transportabilidade	destacabilidade	Tipos de terreno	Velocidades (m/s)
		Areia muito fina e limpa	0,2 – 0,3
		Areia muito fina e solta	0,3 – 0,5
		Areia grossa ou solo fino e arenoso	0,5 – 0,6
		Solos arenosos correntes	0,6 – 0,7
		Limos arenosos	0,7 – 0,8
		Limos, solos aluvionares, cinzas vulcânicas	0,8 – 0,9
		Limos consistentes e limos argilosos	0,9 – 1,2
		Argilas duras e saibros	1,2 – 1,5
		Areões e godos	1,5 – 1,8
		Conglomerados, xistos, cascões	1,8 – 2,5

FONTE: AYRES (1936) *in* RODRIGUES (1982).

4.1.2 – Natureza geológica das rochas formadoras do solo:

A rocha sofre o processo de intemperismo quando encontra-se coberta pela camada de solo e também quando, por algum motivo, ela aflora na superfície e passa a sofrer o impacto direto das águas da chuva, ação do vento, entre outros agentes intempéricos. Quando aflora ela passa a sofrer uma ação desgastadora mais intensiva do que quando encontra-se sob o solo.

A taxa de erosão deste tipo de material é muito variável, tanto quando encontra-se coberto como quando encontra-se descoberto. Depende da composição química e da consistência dos materiais, do comportamento na infiltração e no escoamento da água, da espessura da camada de rocha, da declividade e das fraturas existentes (CARVALHO, N. O., 1994) além das características dos agentes intempéricos do local.

Observa-se que geralmente rochas de natureza cristalina (metamórfica ou ígnea) possuem maior resistência ao processo de desgaste pela água que as rochas sedimentares. Isso se dá pela maneira que são formadas nas porções interiores do planeta (POPP, 1988).

Segundo a variabilidade dos agentes que participam na formação das rochas, verifica-se que pode haver diferenças na resistência contra o processo erosivo (desagregação física ou decomposição química) dentro de um mesmo grupo de rochas mas localizadas em diferentes locais e em diferentes situações.

Para o caso de uso da TABELA 4.2, observa-se que sua aplicação não se limita apenas para solos, mas também para as rochas que tenham aflorado e vêm sofrendo diretamente o impacto da ação mecânica da água, especialmente as rochas sedimentares.

4.1.3. – Clima:

O clima exerce influência no processo erosivo sob várias formas através de agentes como o vento, a chuva, a neve e seu conseqüente degelo, entre outros não tão comuns. A erosão causada pela ação do vento denomina-se eólica e as causadas pela ação da água denomina-se hídrica, sendo que mais especificamente tem-se a erosão hídrica pluvial causada pela água da chuva. No presente trabalho, como não ocorre a erosão pelo degelo da neve na região de estudo, sempre que surgir o termo erosão hídrica, entenda-se por erosão hídrica pluvial.

A erosão hídrica é, sobre grande parte do nosso planeta, a mais importante forma de erosão (ZACHAR, 1982). É causada pela chuva e pelo escoamento superficial, sendo afetada por um grande número de agentes naturais e antropogênicos. Pode ser expressa como a relação existente entre a erosividade da chuva (fator ativo), ou seja, o potencial da chuva de causar erosão, e a erodibilidade do solo (fator passivo), que por sua vez é a suscetibilidade do solo à erosão (HOLÝ, 1980), sendo que as águas pluviais são o agente do processo (ACIESP, 1987).

Os danos causados pelas gotas de chuva que golpeiam a superfície desprotegida de um solo a uma alta velocidade constituem o primeiro passo no processo da erosão (BEASLEY, 1972). A gota d'água, na queda, aumenta sua velocidade progressivamente até atingir um valor constante ou final. Vários autores citados por RODRIGUES (1982) estabeleceram, através de dispositivos distintos, qual a altura de queda necessária para que as gotas, com diferentes diâmetros, atinjam 95% de sua velocidade final (TABELA 4.3).

Verifica-se que gotas com diâmetros menores adquirem mais rapidamente sua velocidade final. Quando a altura de queda for superior a 8 metros, a velocidade final é alcançada independentemente do diâmetro da gota. O diâmetro máximo que uma gota pode alcançar é aproximadamente 9 mm, gotas maiores se fragmentam, pois a tensão superficial é insuficiente para mantê-las.

As gotas podem ser consideradas como bombas em miniaturas que golpeiam a superfície desprotegida do solo, rompendo os grânulos e torrões, reduzindo-os a partículas menores e, em conseqüência, aumentando a proporção de partículas pequenas na superfície. Uma gota golpeando um solo úmido forma uma mini-cratera, compactando a área imediatamente sob o centro da gota e movimenta as partículas soltas para fora num círculo em volta de sua área (BEASLEY, 1972; BERTONI & LOMBARDI NETO,

1990), sendo que junto com as partículas de solo são lançados juntamente nutrientes e partículas de matéria orgânica, os quais são posteriormente carregados pela enxurrada (ZACHAR, 1982).

TABELA 4.3 - Relação entre diâmetro, velocidade final e altura de queda de gotas d'água:

Diâmetro da gota (mm)	Velocidade final (m/s)	Altura de queda para atingir 95% da velocidade final (m)
0,25	1,0	---
0,50	2,0	---
1,00	4,0	2,2
2,00	6,5	5,0
3,00	8,1	7,2
4,00	8,8	7,8
5,00	9,1	7,6
6,00	9,3	7,2

FONTE: RODRIGUES (1982).

4.1.4 – Topografia:

O tamanho e a quantidade do material em suspensão arrastado pela água dependem da velocidade com que ela escorre e essa velocidade é uma resultante do comprimento do lançante e do grau de declive do terreno (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). Dentre os fatores topográficos, a declividade de um terreno é possivelmente o fator mais importante no condicionamento da gênese e evolução do processo erosivo (RODRIGUES, 1982).

Contudo, o comprimento de rampa não é menos importante que o declive, pois a medida que o caminho percorrido vai aumentando, não somente as águas tornam-se mais volumosas como também a velocidade de escoamento vai aumentando progressivamente e a maior energia resultante se traduz por uma erosão maior. Um exemplo ilustrativo pode ser mencionado: associando valores de declividade e comprimento de rampa, BERTONI *et al* (*in* BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990) estimaram que um terreno com 20 metros de comprimento e 20% de declividade tem a mesma taxa de perda de terra que um terreno de 180 metros e 1% de declividade.

Ao analisar a declividade de uma encosta, verifica-se que geralmente ocorre desuniformidade na variação do perfil longitudinal. Se forem considerados ao menos três valores de declividade num perfil, sendo um na parte baixa, outro no trecho médio e outro no topo da encosta, pode-se encontrar perfis longitudinais do tipo convexo, onde os trechos baixos apresentam uma declividade acentuada e essa é uma das razões pelo qual o escoamento superficial inicia o processo erosivo no local, enquanto que os trechos médios apresentam uma declividade mais baixa e os topos das colinas podem ter declividades quase nulas (casos 4, 5 e 6 da FIGURA 4.1).

Se dentre estes três pontos os trechos baixos apresentarem uma declividade baixa, os trechos médios apresentam declividades moderadas e os trechos altos declividades acentuadas, tem-se a caracterização de perfis côncavos (casos 7, 8, e 9 da FIGURA 4.1) e, se os valores de declividade dos trechos analisados forem similares entre si, tem-se um perfil longitudinal próximo ao retilíneo (casos 1, 2 e 3 da FIGURA 4.1) (RODRIGUES, 1982).

Conforme as características do terreno, há o transporte de partículas para a parte mais baixa da rampa, em função da enxurrada que vai se formando. Como a enxurrada tende a passar pelo mesmo caminho, ocorre a formação de sulcos que vão se aprofundando até encontrar o lençol freático, formando então as conhecidas voçorocas (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

A dinâmica das encostas, traduzida na forma de "complexo de rampa", atua diferencialmente no tempo e no espaço. Dentre as formas geométricas de encostas expostas anteriormente, menciona-se que os segmentos de geometria côncava nos sentidos vertical e horizontal (caso 9 na FIGURA 4.1), são zonas preferenciais à ocorrência de processos erosivos, devido à convergência de segmentos - acarretando um maior número de descontinuidades entre colúvios e/ou entre colúvios e alúvios - e dos fluxos d'água - acelerando a ruptura entre materiais de diferentes características (MEIS *et al in* SILVA, 1988.). Neste sentido, a relação entre forma erosiva e geometria das encostas serve de subsídio à detecção de áreas mais propícias aos processos de ravinamento, sulcos e voçorocamentos (OLIVEIRA & MEIS, 1985).

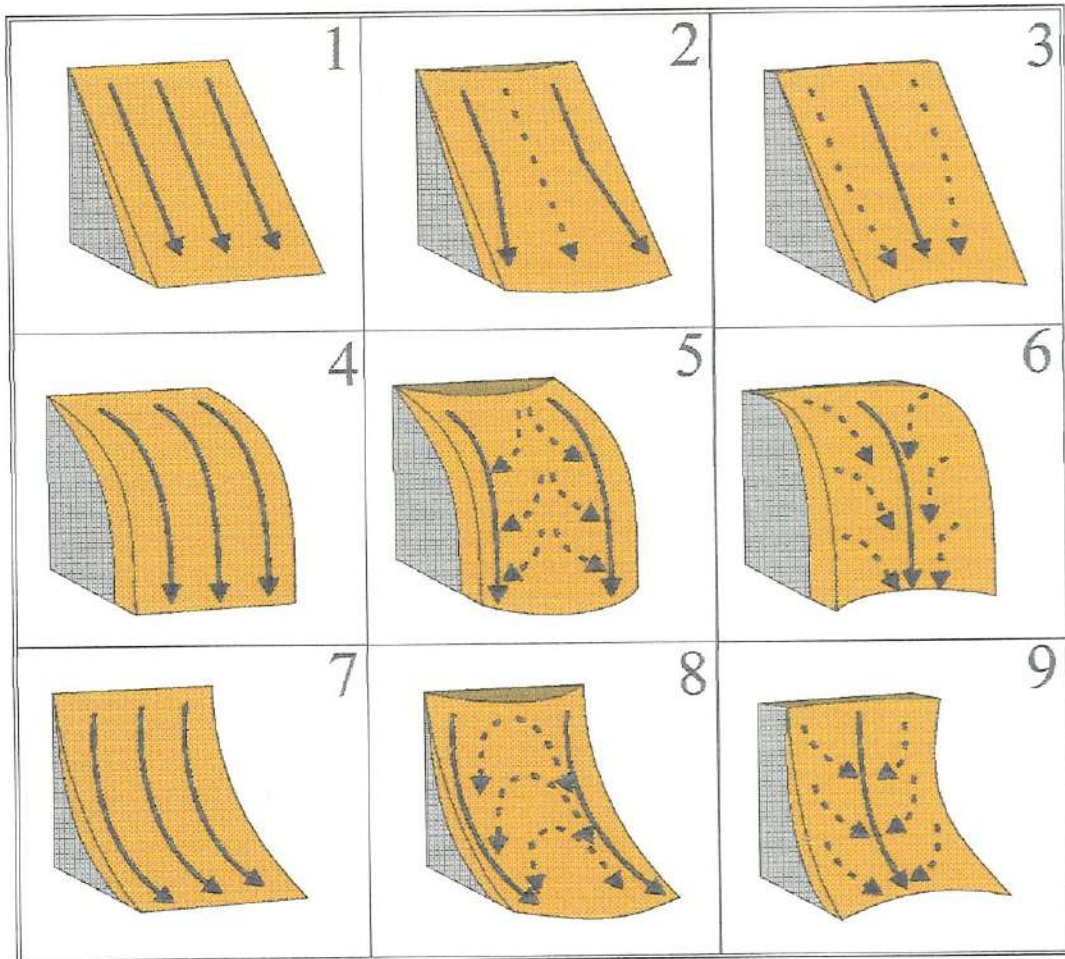


FIGURA 4.1 - Geometria e declividades em encostas retilínea, convexa e côncava. FONTE: RODRIGUES (1982).

Legenda:

- 1 - Vertente retilínea nos sentidos vertical e horizontal.
- 2 - Vertente retilínea no sentido vertical e convexa no sentido horizontal.
- 3 - Vertente retilínea no sentido vertical e côncava no sentido horizontal.
- 4 - Vertente convexa no sentido vertical e retilínea no sentido horizontal.
- 5 - Vertente convexa nos sentidos vertical e horizontal.
- 6 - Vertente convexa no sentido vertical e côncava no sentido horizontal.
- 7 - Vertente côncava no sentido vertical e retilínea no sentido horizontal.
- 8 - Vertente côncava no sentido vertical e convexa no sentido horizontal.
- 9 - Vertente côncava nos sentidos vertical e horizontal.

Seta azul pontilhada - Tendência de fluxo de canal inicial.

Seta azul cheia - Tendência de fluxo de canal concentrado.

4.1.5 – Cobertura do solo:

O fator cobertura sobre o solo é de grande importância na prevenção e controle da erosão e os agravamentos do processo erosivo. Este fator exerce influência sob várias formas. A primeira a ser comentada é a proteção sobre o solo. Sob condições naturais, as copas das árvores, a vegetação de sub-bosque e, principalmente, a serapilheira de uma floresta fazem o papel de “amortecedores” da energia cinética contida na gota d’água da chuva, impedindo o contato direto entre a gota d’água e as partículas do solo. Neste sentido o sub-bosque e a serapilheira exercem papel fundamental especialmente em florestas cujas copas de árvores ultrapassam os oito metros de altura pois, neste caso, a copa das árvores inicialmente interceptam a gota d’água de chuva porém, algumas gotas escorrem e voltam a cair. Conforme seu tamanho e sua altura de queda poderá recuperar toda sua energia e seu poder de destruição, cabendo basicamente à serapilheira o papel de amortecedor, por encontrar-se rente ao solo. A segunda grande influência é principalmente no sentido de aumentar a rugosidade do solo (micro-relevo) e evitar a formação de enxurradas.

A cobertura do solo é um fator que está intimamente ligado a processos antrópicos (econômicos, sociais e culturais), os quais explicam o modo com que vem sendo manejado o solo de uma região, juntamente com sua cobertura. A ausência da cobertura é percebida logo no primeiro estágio do processo erosivo. Para ilustrar o fato, menciona-se que SILVA (A. M., 1997), utilizando um dispositivo descrito em SILVA & SCHULZ (1996), comparou a quantidade de partículas salpicadas em solo com superfície desprotegida e superfície protegida com resíduos triturados de vegetais de origem urbana (5 t/ha - perfazendo uma cobertura de aproximadamente 70% sobre o solo na fase inicial do experimento). Em função dos resultados encontrados e apresentados abaixo (FIGURA 4.2), SILVA (1997) concluiu que o fato de haver uma cobertura sobre a superfície do solo reduziu significativamente a quantidade de material salpicado e que a cobertura morta apresentou, ao longo dos 90 dias de experimento, maior efetividade na diminuição do salpicamento do que no controle do escoamento superficial, sendo registrado diminuição da proteção contra o escoamento e aumento de solo arrastado em taxas maiores principalmente no último mês do período do experimento.

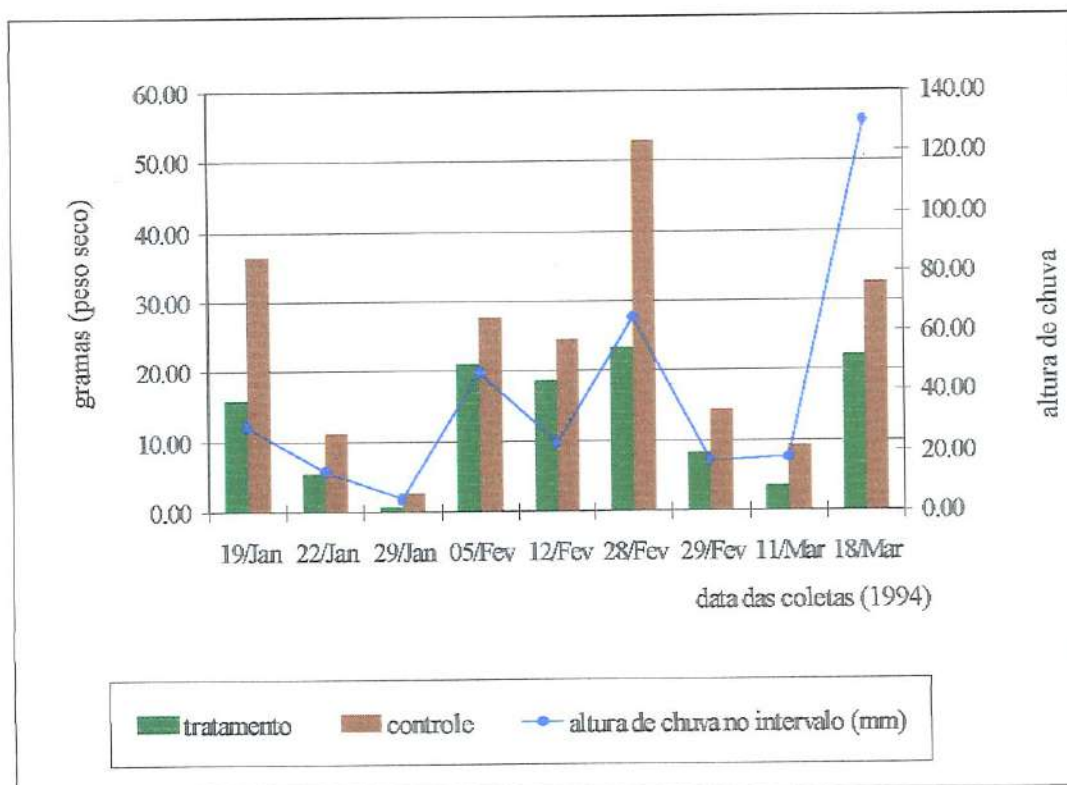


FIGURA 4.2 - Valores, em gramas de peso seco, de material salpicado entre as duas condições experimentais (SILVA, A. M. (1997)).

Contudo, qualquer corpo, vivo ou não, que cubra o solo contra o impacto das gotas de chuva constitui-se cobertura do solo. Evidentemente que conforme o tipo de cobertura sobre o solo terá maior ou menor efetividade de proteção do solo, algumas favorecendo mais o processo de infiltração da água no solo, outras impermeabilizando totalmente o solo, como é o caso da pavimentação.

4.2 - Definição do fenômeno “erosão” e principais modalidades de erosão hídrica:

O termo erosão originou-se, segundo ZACHAR (1982) do Latim, derivando-se do verbo *erodere* (escavar). Dentro das ciências ambientais trata-se do desgaste e/ou arrastamento da superfície da terra pela água corrente, vento, gelo ou outros agentes geológicos, incluindo processos como o arraste gravitacional (ACIESP, 1987). A erosão é um dos principais fenômenos geológicos que ocorre na Terra e se processa de várias formas, se considerarmos o seu ambiente de ocorrência (RODRIGUES, 1982).

A erosão natural ou geológica é o desgaste da superfície da terra por água, gelo ou outros agentes naturais, sob condições de meio

ambiente natural em termos de clima e vegetação, sem perturbações do homem (ACIESP, 1987).

A erosão acelerada ou induzida é muito mais rápida que a natural, primariamente como um resultado da influência das atividades do homem, ou, em alguns casos, de animais (ACIESP, 1987). É entendida como o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e/ou pelo vento e constitui, sem dúvida, a principal causa do depauperamento acelerado das terras (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

A ação antrópica constitui o principal fator na deflagração dos processos erosivos acelerados (LIEBMANN, 1979; RODRIGUES, 1982). Partindo-se do impacto inicial, causado por desmatamentos, há uma ruptura no equilíbrio natural do meio físico. A erosão normal, própria da evolução da paisagem e cuja velocidade de desgaste do solo normalmente é equivalente à velocidade de sua formação (ODUM, 1988), dá lugar à erosão acelerada, resposta incontinenti de um meio de busca de nova condição de estabilidade (STEIN, 1995).

Embora o processo de erosão do solo ocorra mesmo em ecossistemas naturais, o seu considerável aumento que ocorre em muitos sistemas agrícolas, é sempre sintoma de declínio da fertilidade do solo e, assim como graves avarias ou destruição total de grandes áreas anteriormente férteis e aráveis, noticiadas de todos os continentes do mundo, é geralmente o resultado da incapacidade de conservar e restabelecer a fertilidade em declínio associadas a práticas agrícolas impróprias, bem como incêndios florestais em regiões inclinadas e processo acelerado e desordenado de urbanização (ODUM, 1988).

A erosão hídrica pode se processar das seguintes formas:

- *LAMINAR*: caracterizada por ocorrer a remoção de uma camada fina e relativamente uniforme do solo pela precipitação pluvial e pelo escoamento superficial. Na erosão laminar ou ainda em lençol ou areolar, a qual a remoção de partículas é bastante seletiva, ocorre em toda a área e é feita pelo impacto das gotas de chuva (SPAROVEK, 1996).

O tipo de solo também é fator importante a ser considerado no tocante à ação erosiva pela gota d'água, sendo esta proporcional ao grau de coesão das partículas de solo (BARROS, 1956; RODRIGUES, 1982), conferido pela presença de um agente que as agregue - argilas e/ou matéria orgânica. Conforme as características do perfil do solo (textura, permeabilidade, profundidade, gradiente textural B/A, teor de matéria orgânica) ocorre uma variação da susceptibilidade à erosão (CARVALHO, A. P., 1994).

- *LINEAR*: na qual ocorre a formação de canais de frequência e dimensões variáveis, conforme as características da chuva, relevo e solo e cuja ocorrência se dá principalmente em solos recém-cultivados. Uma vez que ocorre a acumulação de água em canais estreitos por curtos períodos, há a remoção de solo desses canais desde a superfície até profundidades consideráveis, variando de 0,5 m até 25,0 m.

Na erosão do tipo linear a remoção e o transporte de partículas são feitos pela enxurrada concentrada de alta velocidade; condicionada pelo relevo, deságües de estradas ou terraços seccionados. A remoção é feita de forma pouco seletiva e a área afetada corresponde, geralmente, a uma pequena parte da superfície. A quantidade e o tamanho dos sedimentos transportados na enxurrada são função da velocidade do escoamento superficial da água e sua turbulência, os quais, por sua vez, são influenciados pela rugosidade superficial, comprimento da rampa, declividade e cobertura do solo (LOPES *et al*, 1987).

- *DESLIZAMENTO*: constitui o deslizamento coletivo do solo e também de fragmentos rochosos, com deslocamento por gravidade, em épocas de grandes chuvas continuadas, de grandes postas de terreno. São terras escorregadas por saturação extremada (perda da coesão das partículas de solo) e ação da gravidade em escarpas ou vertentes íngremes. Existem diversos tipos de escorregamento: planares, de rotação por avalanches detríticas, entre outros. O caso de escorregamentos ocorridos na Serra do Mar (Cubatão-SP), por exemplo, foram ocasionados devido a intenso processo de fenecimento desigual da cobertura florestal, devido à ação prolongada de agentes poluentes na região (ACIESP (1987); CARVALHO (N. O., 1994)).

- *CANAIS*: ou erosão fluvial. Processa-se de modo contínuo e espontâneo pela ação das correntes dos rios. É de grande interesse na morfologia fluvial, podendo explicar a formação dos rios e da rede hidrográfica. É responsável pelo aprofundamento e alargamento do leito dos rios. O material erodido é transportado pelos rios, processando-se uma deposição que pode ser temporária. Esse material é chamado aluvião.

Segundo o estágio de evolução do curso d'água, haverá maior ou menor transporte (CARVALHO, N. O., 1994). A dinâmica do transporte fluvial está também intimamente relacionado com a velocidade das águas. A FIGURA 4.3 ilustra a relação entre a velocidade de escoamento das águas e a granulometria do material. Conforme o gráfico, verifica-se que podem ocorrer três grandes processos que atuam no modelado fluvial: erosão, transporte e deposição.

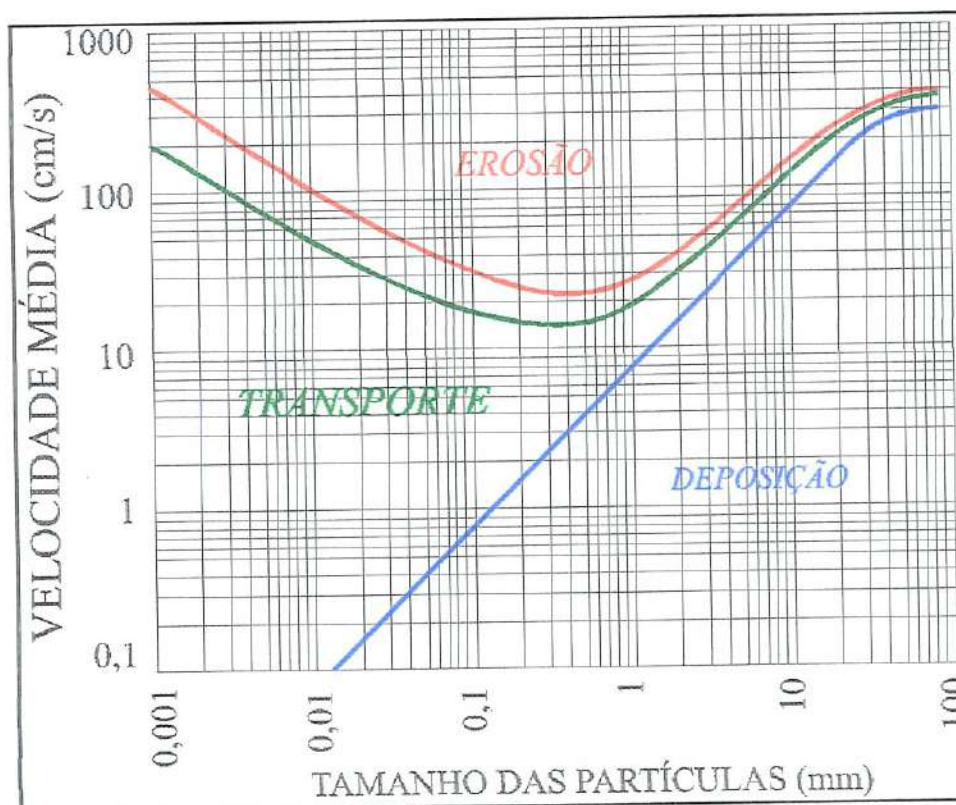


FIGURA 4.3 – Variações entre a velocidade média e o tamanho das partículas e suas relações com os grandes grupos de processos fluviais. (FONTE: HJULSTROM, 1935 in CHRISTOFOLETTI, 1981).

No solo as partículas pequenas e dispersas, quando são arrastadas principalmente pela ação da água, preenchem os espaços vazios entre os agregados, diminuindo a capacidade de infiltração de água no solo e induzindo a formação de uma crosta de aproximadamente 1 mm de espessura, que quando seca torna-se impermeável, prejudica a infiltração de água e a aeração do solo, comprometendo a germinação das sementes e acelerando a erosão (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990; VASCONCELOS & LANDERS, 1994).

PRUSKI *et al* (1993) denominam este fenômeno como selamento superficial e citam que sua ocorrência é comum particularmente em solos que tenham sido intensivamente cultivados. A superfície do solo torna-se compacta após as primeiras ocorrências de chuva, ocasionando redução da capacidade de infiltração da água no solo e, conseqüentemente, uma redução na disponibilidade de água para as plantas, bem como interferindo também na dinâmica das trocas gasosas entre o solo e a atmosfera e na emergência das plantas, contribuindo no aumento do escoamento superficial e favorecendo a erosão.

Esta etapa do processo erosivo é denominada erosão por impacto ou salpicamento (no idioma inglês “splash” (ZACHAR, 1982) ou ainda erosão por embate (CARVALHO, N. O., 1994). É um processo

inicial dentro do encadeamento completo do processo erosivo e independente dos seguintes, ou seja, antecede processos como formação ou não de escoamento superficial, ravinas e/ou voçorocas, podendo ocorrer mesmo em terrenos sem nenhuma declividade.

Um aspecto a ser considerado no processo de salpicamento é a variação da distância em que as partículas de solo são atiradas quando são lançadas ao ar pelo impacto da gota de chuva. Esta distância depende do tamanho e peso das partículas. Observa-se que o diâmetro de partículas salpicadas é geralmente menor que dois milímetros e que é a fração mais fina de partículas do solo que tende a ser lançada (ZACHAR, 1982).

4.3 - Classificação de terras e de perdas de solo:

Dando ênfase especificamente ao processo erosivo, há uma classificação de terras exposta por VIEIRA (1988) onde estabelece graus de limitações por suscetibilidade à erosão:

NULO - Solos não suscetíveis à erosão. São normalmente de relevo plano ou quase plano e de boa permeabilidade. Com uso agrícola prolongado (de 10 a 20 anos), estes solos não apresentam erosão em sua maior parte.

LIGEIRO - Solos com alguma suscetibilidade à erosão, que apresentam declives suaves (3 a 8%) e boas condições físicas. Podem ser mais declivosos quando as condições físicas forem muito favoráveis.

Quando usados com agricultura por um período de 10 a 20 anos, terão aproximadamente de 25 a 75% do horizonte "A" removido na maior parte da área. Proteção e controle simples são em geral de fácil execução e bastam práticas conservacionistas simples para controlar a erosão. Em muitos casos, o uso de culturas selecionadas podem auxiliar satisfatoriamente o controle.

MODERADO - Tratam-se de solos moderadamente suscetíveis à erosão. Para esta classe o relevo apresenta-se geralmente ondulado e a faixa limite para declividade é de 8 a 20%, desde que hajam boas propriedades físicas. Quando as propriedades físicas dos solos forem favoráveis podem aparecer declives maiores (de 20 a 45%).

Quando usados com agricultura, a erosão apresenta-se moderada. Inicialmente ocorre a remoção de todo o horizonte "A", que facilmente pode continuar com a formação de sulcos, ravinas e voçorocas. Práticas conservacionistas são necessárias desde o início de sua utilização agrícola. Em alguns casos, o combate à erosão pode ser feito com práticas simples, como em lavouras de ciclo longo, mas geralmente são necessários

controles intensivos que demandam investimentos e conhecimentos técnicos da área.

FORTE - Solos fortemente suscetíveis à erosão. São em geral de relevo forte ondulado e declividade de 20 a 45%, desde que apresentem boas condições físicas. Podem apresentar declives maiores, quando as condições físicas dos solos forem muito favoráveis ou declives menores quando desfavoráveis. Quando usados para fins agrícolas a erosão é reconhecida por fenômenos fortes, causadores de danos aos solos. Proteção e controle são, na maioria das vezes, difíceis e dispendiosos ou pouco viáveis.

MUITO FORTE - Tratam-se de solos fortemente suscetíveis à erosão. Compreende aqueles com declividade superior a 45%, excetuando-se os com declive superiores porém que apresentem muito boas condições físicas. Quando usados com agricultura, serão totalmente erodidos em poucos anos, com aparecimentos de sulcos e voçorocas. Se usados para pastoreio, os riscos de danos ainda são grandes. Proteção e controle, nesta classe, não são economicamente viáveis, sendo então recomendado o uso para fins de conservação e manutenção da vida silvestre.

Para evidenciar uma classificação espacial, comumente utiliza-se material cartográfico (cartas), as quais podem abordar desde um único assunto específico até vários assuntos simultaneamente. Dependendo de seu tipo e escala, as cartas são recursos que permitem orientar o planejamento ou estabelecer restrições técnicas específicas para as diferentes formas de ocupação do terreno. Uma carta geotécnica pode ser definida como uma representação gráfica das limitações e potencialidades do meio físico. Contém informações geológico-geotécnicas do solo e subsolo de uma região, dividida em zonas homogêneas diante das intervenções previstas (GARCIA, 1996).

São entendidas como cartas geotécnicas:

- . Carta de Planejamento Regional.
- . Carta geo-ambiental.
- . Mapa de zoneamento ambiental.
- . Mapa de zoneamento geotécnico.
- . Mapa de zoneamento urbano.
- . Carta de aptidão.
- . Mapa de vulnerabilidade.
- . Carta de susceptibilidade à erosão.
- . Mapa de potencial natural.
- . Carta de risco.

De acordo com a escala, as cartas podem ser:

- a. Grande Escala: 1:10.000 e maiores.
- b. Média Escala: entre 1:10.000 e 1:100.000.
- c. Pequena Escala: menores que 1:100.000.

No Brasil uma metodologia bastante difundida considera como elementos fundamentais para o mapeamento geotécnico a identificação de atributos, os quais definem áreas homogêneas para fins específicos. Para alcançar as finalidades desejadas, são analisados os seguintes grupos de atributos:

- a. Condições geomorfológicas: declividade, forma das encostas, movimento de materiais.
- b. Fatores climáticos: características pluviométricas (altura, intensidade, duração e frequência do eventos chuvosos), evaporação; meses mais úmidos e mais secos; insolação; direção dos ventos.
- c. Materiais inconsolidados: natureza e características físicas do material; espessuras; texturas; potencial de material para construções.
- d. Material rochoso: natureza e características físicas dos materiais próximos à superfície; potencial mineral; potencial de material para construção.
- e. Águas superficiais e subterrâneas: profundidade do lençol freático; áreas inundáveis; características físico-químicas; aquíferos e áreas de recarga.
- f. Formas de ocupação: vegetação natural; ocupação agrícola, urbanização, etc.
- g. Ação antrópica: finalidades e intensidade com que o solo vem sendo usado.

Os serviços se iniciam pelo levantamento bibliográfico, procurando-se identificar e organizar as informações existentes: relatórios, cartas topográficas, mapas geológicos, pedológicos, etc; sondagens e ensaios já executados.

Posteriormente é executada fotointerpretação, objetivando a delimitação de unidades homogêneas de terreno, sendo realizado também o trabalho de campo. Este trabalho é conduzido de modo que as informações obtidas (características físicas e espaciais do solo, água e rocha; texturas;

estruturas; compacidade; espessuras; grau de alteração; descontinuidades; intercalações; mineralogia, etc) possam levar à definição dos limites entre os diferentes materiais, bem como orientar a amostragem, que deve ser feita uma a cada 5 Km².

Após análise dos atributos, os mesmos são representados em mapas, gerando quatro classes de documentos: a) Mapas básicos fundamentais; b) Mapas básicos opcionais; c) Mapas auxiliares; d) Cartas derivadas ou interpretativas. Cada um destes mapas incluem os seguintes itens:

a. Mapas Básicos Fundamentais:

a1) Carta topográfica: Além de controlar a escala de trabalho, é sobre ele que são representadas todas as informações obtidas.

a2) Mapa de substrato rochoso: Representa, para uso em mapeamento geotécnico, as litologias, suas relações estruturais e genéticas.

a3) Mapa das Águas: Representa as condições 1) *hidrológicas*: tipo e sistema da rede de drenagem; bacias e sub-bacias; possibilidade de escoamento superficial; áreas inundáveis, etc e 2) *hidrogeológica*: aquíferos livres ou confinados, tipo, profundidade e espessura do material armazenados; áreas de recarga; condições de perfuração para atingir o aquífero; características químicas das águas.

b. Mapas Básicos Opcionais:

Dependendo das características e finalidades do projeto, podem se tornar "fundamentais":

b1) Mapa Pedológico: Apresenta os materiais inconsolidados até a profundidade de 3 metros, fornecendo as seguintes informações: gênese; mineralogia; estruturas; textura; índices físicos; CTC; permeabilidade, etc.

b2) Mapa Geomorfológico: Representa as características do meio físico, registrando o relevo, a litologia e os processos dinâmicos atuantes. Podem ser:

b2.1) Mapa morfológico (representação do relevo através de perfis, quebras e dados sobre suas dimensões);

b2.2) Mapa de declividade (as curvas de nível são transformadas em porcentagens de inclinação. Para este último caso

LEMOS E SANTOS (1996) citam a caracterização do relevo onde é atribuído um nome para a classe conforme o intervalo de porcentagem de inclinação (TABELA 4.4).

TABELA 4.4 – Descrição do relevo conforme os intervalos de porcentagem de inclinação:

Intervalo de % de declive	Nome atribuído	Caracterização
< 3	Plano	Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos.
3 – 8	Suave ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives suaves.
8 – 20	Ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives acentuados.
20 – 45	Forte ondulado	Superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros, com declives fortes.
45 – 75	Montanhoso	Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas e maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes.
> 75	Escarpado	Regiões ou áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo escarpamentos, tais como: aparado, itaimbé, frente de cuevas, falésia, flanco de serras alcantiladas, vertente de declives muito fortes de vales encaixados.

FONTE: LEMOS E SANTOS (1996).

b3) Mapa Climático: Retrata variações relativas a pluviosidade, evapotranspiração, escoamento, temperatura, insolação, direção dos ventos.

b4) Mapa de Ocupação Atual ou Prevista: Apresenta uma análise da ocupação atual, delimitando zonas com diferentes aptidões para ocupação.

c. Mapas Auxiliares:

O mais conhecido é o Mapa de Documentação ou Mapa de Dados, onde são registrados todos os pontos de observação e de coleta de dados, tanto qualitativos quanto quantitativos.

d. Cartas Derivadas ou Interpretativas:

São obtidas através da integração dos mapas anteriores, contendo informações para a utilização direta pelos usuários e exibindo características do meio físico. São várias as cartas que se pode gerar através de informações básicas, dentre elas algumas são sucintamente descritas e aquelas que são referentes ao assunto abordado no presente estudo são descritas com maior detalhe:

d1) Carta para Fundações: Utilizada na fase de inventário das obras de engenharia. Tem caráter indicativo, ao sugerir áreas com diferentes aptidões à implantação de fundações superficiais ou profundas, considerando diferentes níveis de profundidade.

d2) Carta para Escavabilidade: Os materiais são separados em classes considerando a facilidade em serem escavados, as condições para escavação e os equipamentos exigidos. Prevê a adequabilidade dos terrenos à instalação de obras enterradas, construções de estradas, etc. Para a sua elaboração devem ser considerados os seguintes atributos: tipo de material; profundidade do substrato; profundidade do nível freático; declividade.

d3) Carta para Deposição de Rejeitos Sépticos: Orienta os usuários sobre variações do meio físico e sua interferência na deposição dos rejeitos. Para rejeitos radioativos e perigosos, estudos específicos precisam ser realizados. Devem ser tomadas precauções principalmente no que diz respeito à contaminação de águas superficiais e subterrâneas. Para tanto, é relevante o estudo dos seguintes atributos: declividade; materiais inconsolidados; profundidade do nível freático; gradiente do nível freático; velocidade das águas do aquífero; direção de fluxo das águas do aquífero freático; profundidade e características do substrato rochoso; evaporação; escoamento superficial; pluviosidade; camadas compressíveis.

d4) Carta de Materiais para Construção: Delimita as ocorrências dos materiais que apresentam possibilidades de uso, além dos locais mais favoráveis à sua exploração. A carta contém informações tanto para materiais utilizados na indústria de transformação, quanto para agregados, cujas características variam de acordo com a mineralogia, estrutura, descontinuidades, grau de alteração.

d5) Carta para Estabilidade de Taludes: Deve fornecer informações sobre as condições de estabilidade na área, prevendo problemas quanto a escoamentos, escorregamentos, quedas de blocos e detritos. Os seguintes atributos são considerados: condições morfológicas; tipos de materiais envolvidos; condições estruturais; condições hidrológicas; efeitos climáticos; geometria do talude; cobertura vegetal; atividades antropogênicas; técnicas construtivas; tensões sofridas.

d6) Cartas para Obras Enterradas: Reflete a existência de fatores do terreno que possam alterar custos e qualidade dos materiais utilizados em obras enterradas. Os atributos são: profundidade e características do substrato; materiais inconsolidados; profundidade e características físicas e químicas das águas.

d7) Carta para Irrigação: Indica áreas potencialmente irrigáveis, de acordo com as características do meio físico, dos materiais existentes e da quantidade e qualidade da água disponível.

d8) Carta para Obras Viárias: São utilizadas nas fases do planejamento e possuem informações que afetam a execução de obras. As informações de interesse são divididas em três grupos: a) Traçado: declividade, áreas inundáveis, áreas instáveis, materiais inconsolidados, substrato rochoso, condições hidrológicas, custo do terreno; b) Sub-Leito: drenabilidade, expansibilidade e compressibilidade, resistência, materiais inconsolidados pouco espessos; c) Aterros: local e material a ser utilizado.

d9) Carta de Restrições Ambientais: Auxilia o planejador quanto ao uso e ocupação do meio físico, fornecendo dois grupos de informações: a) Áreas onde ocorre exploração natural através de agropecuária e dos bens minerais; b) Áreas com potencial de uso por órgãos públicos; áreas ocupadas para fins turísticos ou com potencial; áreas de recarga de aquíferos; áreas que permanecem alagadas muito tempo; áreas com ocupações especiais.

d10) Carta de Orientação ou Carta de Zoneamento: Orienta quanto às diferentes formas de ocupação, sendo elaborada a partir de todos os documentos já mencionados. A cada atributo é dado um “peso”, os quais somados definirão as unidades. Estas cartas podem ser de três tipos: a) Geral: Retrata as unidades que melhor se enquadram nas necessidades de cada forma de ocupação; b) Parcial: Elaborada para conhecer o comportamento de duas ou mais formas de ocupação interligadas e que devem ser implementadas conjuntamente numa região; c) Individual: Análise referente a uma única forma de ocupação.

d11) Carta de suscetibilidade à erosão: Representa o potencial que o solo apresenta à erosão. Os atributos que devem ser analisados são: natureza dos materiais; relevo; cobertura vegetal; fatores climáticos; ação antrópica; ação das águas. Neste contexto há a possibilidade de gerar mapas de duas naturezas distintas sobre o processo erosivo: o mapa de potencial natural de erosão (PNE) e o mapa de expectativa de perdas de solo (EPS).

O PNE é um tipo de estimativa onde não se considera a intervenção antrópica nem qualquer tipo de cobertura sobre o solo, isto é, estima-se a suscetibilidade à erosão de uma área especificamente em função de suas condições físicas (VALÉRIO FILHO, 1994). Já a EPS contempla todos os seus parâmetros abordados no PNE mais aqueles que possuem a ação antrópica: cobertura do solo e práticas conservacionistas. A Equação Universal de Perda de Solo é uma ferramenta bastante utilizada para esta finalidade.

4.4 - O fenômeno da erosão como consequência de um fator econômico e/ou social:

VINK (1975) define uso da terra como qualquer forma de intervenção humana - permanente ou cíclica - para benefício essencialmente humano, seja de caráter espiritual, material ou ambos; sobre um complexo de recursos que juntos são denominados de "terra". Nestes termos, verdadeiros nômades com habitação não fixada não praticam uso da terra, pois não aplicam sua energia de forma sistemática para um específico trato da terra e são por si mesmo parte natural do ecossistema, juntamente com outros organismos vivos.

O homem, embora seja parte do ecossistema que vive, normalmente coloca-se como parte não integrante do ambiente e continuamente tenta manipulá-lo. Atua de forma desde fortemente intensiva, como é visto em plantações de horticulturas na Europa ocidental, até de forma fortemente extensiva como fazem os povos semi nômades da África.

A exploração da terra é o resultado da escassez de terras. Num contexto global e sempre considerando os continentes, esta escassez tem sido considerada relativa. Terras férteis suficientes foram acessíveis, mas terras originalmente férteis e ainda produzindo naturalmente um conjunto de espécies vegetais e/ou animais úteis do ponto de vista nutricional para a biologia humana - onde então a atividade era a coleta e não o plantio de alimentos - tornaram-se escassas há vários milhares de anos na maior parte dos continentes (VINK, 1975). Esta escassez vem forçando o homem a tomar dois tipos de atitudes:

1) Procurar novas terras que naturalmente ainda produzem quantidades suficientes de alimentos específicos para a sustentação humana sem qualquer manipulação local; ou

2) Permanecer no mesmo local e injetar esforços para manipular a terra para conseguir matéria-prima - alimento e utensílios (fibra, couro, madeira).

A necessidade em optar pela segunda atitude é muitas vezes determinada pelas barreiras naturais locais e ainda nos últimos séculos, vem sendo adotada a fim de corresponder ao rápido crescimento da população humana no mundo.

O uso da terra, bom ou mal, está muito intimamente ligado ao avanço da tecnologia gerada pelo homem (VINK, 1975). Entretanto, a exagerada ambição humana, a inaptidão e a ignorância, esta em geral alimentada por descabidas intenções em algumas partes, respondem, sempre, indiretamente muito mais do que qualquer ato direto, pelo desgaste dos solos. Sem dúvida, pois, a afirmativa de que o homem é o fator da degradação pode ser posta na boca do homem da ciência como na do homem comum. Limitações de ordem **física**: solos, topografia, chuvas, secas e ventos; de ordem **econômica**: juros altos, prazos curtos, financiamentos viciosos, arrendamentos por períodos breves, maus salários; de ordem **social**: estado de educação do lavrador, relações entre homem e terra, densidade demográfica, uso e posse da terra, são os condicionantes do bom ou do mau estado de conservação dos recursos naturais. Em toda a parte o aspecto do fenômeno se reveste das mesmas causas, é claro que mais acentuadamente aqui que ali, porém, sempre tem as mesmas origens e os mesmos sintomas o acompanham (BARROS, 1956). Dentro deste contexto FIGUEIREDO (1994) mostra ainda outros fatores que são apontados como causa do desgaste acelerado das terras:

a) **má distribuição de rendas**: É sabido que uma elevada concentração de renda em uma reduzida parcela da população é a causa mais perversa do empobrecimento de uma nação. Estima-se que 60 milhões (no Brasil e em 1994, segundo o autor) de pessoas estejam vivendo em estado de absoluta miséria, sem condições mínimas de saúde, educação e habitação.

b) **“Boom” industrial**: No final da década de 1950 e início da década de 1960, a acelerada industrialização dos grandes centros urbanos (São Paulo - SP e Rio de Janeiro - RJ, por exemplo) provocou um fluxo migratório intenso em sua direção até o início da década de 1980, gerando um acréscimo na população destas cidades sem a contrapartida de investimentos nas obras e serviços de infra-estrutura urbana.

c) **Planejamento urbano “deturpado”**: A falta de integração entre as várias esferas governamentais associada a interesses casuísticos e a uma visão distorcida de desenvolvimento das cidades colaboraram, por muitos anos, para a elaboração de inúmeros “Planos Diretores” desgarrados da realidade (e que sequer saíram do papel), além de intervenções pontuais “inundando” a paisagem urbana com pontes, viadutos, túneis, etc., em detrimento de ações sócio-urbanísticas concatenadas.

d) **Ocupação desordenada**: Conseqüência direta dos itens anteriores, este tópico traduz a omissão histórica do poder público no sentido de coibir a presença de moradores em encostas, baixadas e várzeas, com o intuito de impedir a formação e proliferação das áreas de risco, bem como evitar a degradação do meio ambiente.

Contudo, deve-se ressaltar que a ocupação de locais inadequados não se restringe apenas a habitação. SILVA (1988) menciona que na cidade do Rio de Janeiro, mais precisamente na bacia hidrográfica do rio Faria-Timbó, as indústrias também contribuem para a ocorrência e aceleração do processo erosivo devido à sua instalação nas proximidades das encostas sem quaisquer medidas preventivas de estabilização, acarretando deslizamentos e, também, favorecendo o aparecimento de ravinas e voçorocas.

e) **“Clandestinidade” das favelas**: Outro erro histórico, sem a perspectiva de correção a curto prazo, é o fato de as favelas serem consideradas “clandestinas”, isto é, não serem enfocadas como existentes - de fato e de direito - pelos órgãos públicos e pela a sociedade em geral. Assim, todos os cadastros e registros são “aproximados”, não havendo uma sistemática adequada para se tratar desta questão.

f) **Legislação**: Em que pese terem sido formuladas algumas leis sobre o assunto, pode-se dizer que, tanto do ponto de vista jurídico como do técnico (diretrizes para ocupação, execução de obras de terra, fiscalização, penalidades, multas, entre outras), a legislação específica tem-se mostrado ineficaz e anacrônica para se enfrentar com determinação e em sua totalidade tão grave problema.

A base para o sucesso ou frustração de uma campanha de conservação do solo está no modo de como se usa esta terra (MORGAN, 1986) e o modo de uso da terra, em grau quantitativo, tanto no qualitativo é, objetivamente, assunto da esfera da Sociologia. Seu exame numérico figurado, em síntese estatística, permite-nos, entretanto, situá-lo, sem outra face, também, como problema inicial e último de Economia. Todavia, há que vê-lo de maneira mais ampla que seu valor social, tido aqui na acepção total, não restrita a especialização profissional, de ciência básica a que se

juntam todas as outras. Os demais, fatores que a complexidade determina colocar em análise - são vistos em função daquele. Parece assim, que de modo incontestável, os estudos físicos, sociais, biológicos e geográficos da questão conservacionista, feitos geralmente sob o ângulo agrônomo e/ou ambiental, a que mais diretamente são afeitos, conduzem do exame rígido do fato à sua interpretação como problema econômico-social (BARROS, 1956).

O tamanho, a intensidade e a modalidade da exploração influenciam no tipo de cobertura e predisõem o solo à erosão. Latifúndios improdutivos são, tanto quanto os minifúndios extensivamente explorados, agravadores da erosão. Por outro lado, quanto mais rotineira e monocultural for a atividade, quanto mais intensivamente utilizada, tanto mais séria, custosa e necessária será qualquer tarefa conservacionista. E quase sempre, em um como em outro caso, os resultados da erosão agravam a condição da terra que, por sua vez, se destrói e se aniquila cada vez mais (BARROS, 1956).

Pelo imenso poderio econômico que a indústria representa, o homem, obstinadamente, cada dia mais, busca as conquistas industriais para o conforto pessoal e para o bem estar da família, orientando-se para viver nos centros urbanos. Fascinado pelas facilidades imediatas é assoberbado pelo gregarismo, atributo intrínseco do moderno espírito humano que as cidades grandes - grandes sociedades - antagonicamente tanto e tão singularmente forçam aqueles que usufruem a vida nos seus limites urbanos (BARROS, 1956).

A crise do final do século XX é, sem dúvida alguma, uma crise urbana. Isto porque as perspectivas são de que em 2020 mais da metade da população do mundo em desenvolvimento sejam moradores de cidades. Nas grandes aglomerações urbanas, os atuais padrões de desenvolvimento tem resultado na degradação sócio-ambiental que aflige sobretudo as classes de menor poder aquisitivo (MELLO, 1995).

Ao pugnarmos pelo ensino obrigatório da conservação do solo, nós o fazemos plenamente convictos de que será o melhor caminho para conseguir uma próxima geração de cidadãos dignos e patriotas, defensores capacitados do solo e arduos divulgadores da mentalidade conservacionista. Os homens de amanhã, nos campos, nas aldeias ou nas metrópoles, saberão cultivar a defesa do solo e estarão aptos a deixar a seus filhos um solo pujante de vitalidade e capaz de arcar com a tremenda responsabilidade de alimentar o indivíduo, a família e a coletividade (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

4.5 - Formas de abordagens do processo erosivo conforme o tipo de uso e ocupação do solo:

Para um habitante de origem urbana, a concepção de solo seria, talvez, um local da superfície terrestre onde se anda, se constrói. Enfim, nada mais seria do que o chão. Para um habitante de uma região rural, a concepção de solo passa a sofrer uma mudança com relação daquela que é vista num ambiente urbano. Para um habitante rural, a concepção do que é solo provavelmente possa ir mais longe, dado que o solo, além de ser o local onde ele pisa e construiu sua habitação, é também a fonte de seu sustento, seu local de trabalho.

Como já ficou implícito nas classificações anteriormente apresentadas, não só do ponto de vista popular, mas também do ponto de vista técnico-científico, o solo, por si mesmo e ainda os processos que nele ocorrem, são vistos e analisados sob diferentes ângulos, principalmente talvez devido ao motivo de que o uso do solo é diferenciado nestes dois ambientes e há diferentes necessidades de aquisição de conhecimentos, ora comum aos dois locais, ora específico para um deles. Sob o ponto de vista natural, a transformação de um local rural para urbano afeta grande parte de seus fatores e processos ocorrentes, entre eles a erosão, como exposto a seguir.

4.5.1 - A erosão ocorrente em área urbana:

A erosão e o transporte de sedimentos superficiais de uma região urbanizada diferem significativamente dos processos que ocorrem em regiões onde o uso do solo é predominantemente para fins rurais. Nas áreas urbanas, embora possam ocorrer modalidades de erosão semelhantes às áreas rurais, predominam aquelas decorrentes da concentração de fluxo, decorrentes principalmente de deficiências do sistema de drenagem (LLORET RAMOS, 1995).

Uma outra característica típica das áreas de ocupação urbano-industrial, é a intensa movimentação de terra nas áreas ocupadas que vai desde o nível dos assentamentos de lotes residenciais até a implantação de grandes obras, públicas ou privadas, como conjuntos habitacionais, loteamentos industriais, entre outras tantas que poderiam ser citadas. Estas intervenções, de maneira geral, caracterizam-se por partirem de concepções que envolvem alterações significativas da topografia para permitir o assentamento da obra e, portanto, com a necessidade de cortes profundos e conseqüentemente aterros de compensação. Estes cortes podem deixar expostos às ações erosivas substratos frágeis, o mesmo ocorrendo nas áreas de aterro (LLORET RAMOS, 1995).

A erosão do meio urbanizado integra um gênero de problemas correlatos, afeta o regime hidrológico, em função da concentração da

drenagem, eliminação da rugosidade das rampas, redução dos percursos, inibição da infiltração e da evapotranspiração, aumentando caudais de cheia, reduzindo tempos de concentração, sem contrapartida natural (BLACK, 1991; TEIXEIRA, 1995).

Problemas de qualidade/quantidade de água são intensificados pelo desenvolvimento urbano. A cobertura natural é muitas vezes destruída durante as construções e substituída por prédios, ruas e áreas de estacionamento. Isto provoca uma redução na infiltração e aumenta o escoamento superficial. O aumento do volume de água no escoamento superficial resulta em aumentos nos níveis de água, acarretando inundações de áreas que anteriormente não eram inundadas (BEASLEY, 1972).

Erosão de empreendimentos de áreas periféricas urbanas é um problema relativamente novo, mas pode contribuir para o processo de sedimentação tanto quanto a erosão de uma área rural (McCAULL & CROSSLAND, 1974).

Segundo LAZARO (1990), muitos pesquisadores vem mostrando que em nenhuma fase do processo de urbanização a erosão é tão violenta quanto na fase da construção.

Conforme citam PRANDINI & NAKAZAWA (1995), o estudo dos rios da região metropolitana de São Paulo demonstra que o assoreamento resulta quase que somente da erosão urbana, ainda que metade da bacia seja de ocupação rural. Apenas 12% da área urbana com erosão intensa responde substancialmente pelo aporte dos três milhões de metros cúbicos anuais de sedimentos.

Durante o processo de urbanização de uma localidade, há uma tendência de ocupação rápida de áreas consideradas nobres para moradias, especialmente na região central de uma cidade, e rapidamente o custo da terra nestas áreas aumenta drasticamente.

Isto faz com que a parcela menos favorecida da população local seja forçada a procurar outros locais, geralmente na região periférica da cidade e onde o valor do imóvel ainda não tenha sofrido tamanha especulação imobiliária ou mesmo invadindo áreas desocupadas de propriedade pública ou privada. Em grandes centros urbanos tal pressão é de tamanha magnitude que comumente são encontradas habitações em áreas totalmente impróprias para instalação de moradias não só do ponto de vista ambiental mas também do ponto de vista geotécnico, inclusive com risco para a vida do próprio morador, áreas denominadas "áreas de risco" (FIGUEIREDO, 1994).

Áreas de risco são aqueles locais sujeitos à ocorrência de fenômenos de natureza geológico-geotécnica e hidráulica que impliquem a possibilidade de perdas de vida e/ou danos materiais. Estes locais são, predominantemente, ocupações de fundos de vales sujeitos a inundações e solapamentos, ou encostas de alta declividade passíveis de escorregamentos e desmoronamentos (FIGUEIREDO, 1994; SILVA, 1988).

Vários motivos contribuíram, ao longo do tempo, para o surgimento de Áreas de Risco em escala mundial, sendo que alguns - infelizmente - persistem até o momento e as populações menos privilegiadas da grande maioria das cidades brasileiras são os agentes, conforme o caso, passivo ou ativo, de ao menos um dos motivos mencionados por FIGUEIREDO (1994) e citados na página 30.

Nos processos erosivos em áreas urbanas o disciplinamento do fluxo superficial e a sua condição a um ponto de lançamento seguro constituem a alternativa óbvia. Essa premissa pressupõe a adoção de obras de drenagem superficial (sarjetas, bocas de lobo, rede coletora, poços de visita, poços de queda e emissários), conjugadas a dissipadores de energia (FENDRICH *et al* (1988); VILAR & PRANDI (1993)). Estas obras podem ser de: 1) caráter provisório, objetivando deter o avanço da erosão e quando há carência de meios financeiros para construir as obras definitivas ou 2) caráter definitivo, que constam de um sistema de drenagem pluvial, conduzindo as águas a um curso d'água estável, aliado a pavimentação das vias públicas. Em suma, o que importa é deter tão cedo quanto possível o avanço do processo erosivo (DNOS, 1972).

Em DNOS (1972) é mencionado uma forma específica de erosão no meio urbano que é a erosão nas estruturas de concreto. Apesar de não possuir nenhuma relação com perdas de solo, pode ser importante sob o ponto de vista da produção de sedimentos e/ou materiais dissolvidos aos corpos d'água, podendo ocorrer das seguintes formas:

Erosão por abrasão: A erosão causada por partículas sólidas carregadas pela corrente de água como silte, areia e/ou pedregulho, pode ser tão severa quanto a causada pelas forças da cavitação. Bacias de dissipação sem auto-limpeza podem ser seriamente erodidas quando o material sólido coletado tenha movimento turbulento ou de redemoinho, ou quando grandes quantidades de material sólido são transportados pela corrente da água. Neste caso o concreto deverá ser da melhor qualidade. É necessário o nivelamento para que se obtenha superfícies lisas, onde se espera grandes esforços de abrasão e quando a velocidade da água excede a 5 m/s.

Erosão por cavitação: Cavitação se produz normalmente na zona de pressão negativa. Não é comum ocorrerem avarias em condutos abertos e com velocidades de escoamento da água abaixo de 12 m/s. O melhor meio, entretanto, para proteger o concreto da cavitação é a eliminação das forças em zonas de pressão negativa, sempre que possível, pelo projeto geométrico correto da peça, bem como por uma construção adequada que proporcione uma superfície lisa do concreto e um escoamento uniforme numa estrutura hidráulica. Mudanças abruptas de curvatura ou de declividade devem ser evitadas, principalmente aquelas que tendem a deslocar o escoamento d'água da superfície do concreto que deve ter

superfície lisa, livre de irregularidades. As protuberâncias devem ser sempre evitadas, pois haverá problemas na parte a jusante dessas protuberâncias.

Erosão por ação química: pode ser causada pela ação dos afluentes provenientes das ligações clandestinas de esgotos sanitários ou mesmo pela ação d'água pluvial dissolvendo o hidróxido de cálcio do concreto. No primeiro caso o ataque pode ser devido a materiais sulfurosos e costuma ser mais severo. A poluição de descargas pluviais, devido as ligações clandestinas dos esgotos, águas servidas de postos de gasolina e outros, podem provocar reações químicas destrutivas ao concreto.

4.5.2 - A erosão ocorrente em área rural:

Enquanto na área urbana o uso do solo limita-se, na sua maior parte, para fins de instalação de construções, quer seja industrial quer seja residencial ou comercial, para regiões rurais o uso do solo, melhor dizendo, o bom uso do solo, é algo que está sempre em jogo para o sucesso de uma propriedade rural, cuja finalidade é a produção de algum ou alguns produto(s) agropecuário(s) e cujo solo é o elemento chave e ponto de partida para o possível sucesso desta atividade.

Enquanto o processo de urbanização de uma região acarreta uma alteração principalmente no regime hidrológico local devido essencialmente a impermeabilização de grande porcentagem da superfície do solo, 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 com menor intensidade, pois, na pior das hipóteses, ainda ocorre alguma infiltração no solo e essa infiltração tende a aumentar conforme aumenta a porcentagem de cobertura vegetal, viva ou morta, sobre a superfície do solo.

Contudo, conforme o tipo de cultura instalada e manejo de solo e de restos culturais adotado, pode haver uma grande exposição da superfície do solo ao sabor da força erosiva das gotas de chuva. Ainda, uma vez ocorrendo a formação de enxurrada e com o solo exposto, há o carreamento de grandes quantidades de sedimentos para os cursos d'água quer seja por erosão linear, quer seja por erosão areolar e em maior ou menor intensidade conforme características do solo, topografia, chuva, entre outras (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Uma vez que o solo não é impermeabilizado, cabe fundamentalmente à vegetação fazer o papel de protetor da superfície do solo, tanto por parte das plantas vivas como por parte dos resíduos vegetais que ficam dispostos na superfície do solo, sendo estes paulatinamente incorporados no solo pelo processo de decomposição (ODUM, 1988). Estes restos culturais, denominados cobertura morta (no inglês "mulch"),

exercem não só o papel de proteção do solo contra a ação erosiva da chuva como também amenizador da temperatura das camadas superficiais do solo principalmente nos horários mais quentes do dia, ainda atua como retentor de água e mantenedor da umidade telúrica, entre outras funções vitais ao solo (PRIMAVESI, 1987). Conseqüentemente, cabe ao homem manejar corretamente a vegetação local e/ou os restos culturais para que sempre haja a máxima porcentagem de cobertura da superfície do solo (BEASLEY, 1972).

Em terras utilizadas para fins agrícolas há não só o problema da diminuição ou até mesmo eliminação da cobertura vegetal sobre o solo mas também outros tipos de manejo do solo que pode alterar algumas de suas propriedades físicas e /ou químicas, tendo como conseqüência a perda da fertilidade que levará a perda da produtividade e ainda, simultaneamente, à perda da resistência à erosão, acarretando perdas de solo e água cada vez maiores.

Práticas como cultivo intensivo de apenas um tipo de cultura - especialmente anuais - por sucessivos anos, levam o solo a um esgotamento nutricional por um lado ou intoxicação por outro, pois uma determinada cultura tende a absorver mais intensivamente alguns nutrientes e em menor quantidade outros. Conseqüentemente ocorre a destruição de agregados (perda da estrutura grumosa) e aumenta a suscetibilidade do solo à erosão (PRIMAVESI, 1987).

Práticas que ocorrem na fase de preparo do solo para a instalação de uma nova cultura encerram extrema importância para um possível sucesso ou frustração na conservação do solo no presente e no futuro. A utilização quase que exclusiva de fertilizantes minerais e o uso excessivo de máquinas agrícolas, principalmente nesta fase, também leva à destruição das propriedades físicas do solo, esta última trazendo ainda conseqüências como a compactação, o que diminui a infiltração e favorece o escoamento superficial.

Sob o ponto de vista agroeconômico, para termos uma idéia mais acessível e concreta do que o problema da erosão pode causar quando solos são explorados de forma tecnicamente débil, temos as estimativas realizadas por BELLINAZZI Jr. *et al* (1981) e apresentadas por BERTOLINI & LOMBARDI NETO (1993), os quais mostram que para o estado de São Paulo as perdas de terra acontecem na proporção mostrada na TABELA 4.5.

Associado a este fator, menciona-se que BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) apresentam uma relação entre a perda de solo influenciando na perda de produtividade para a cultura do milho (FIGURA 4.4). A redução de 5 centímetros da camada superior do solo resulta em redução de 15% na produção; 10 cm reduz 22%; 15 cm reduz 30%; 20 cm reduz 41%; 25 cm reduz 57% e 30 cm reduz 75%.

TABELA 4.5 – Perdas de terras associadas ao uso agrícola no estado de São Paulo:

Culturas / uso do solo	Perdas de terra (t x ha⁻¹ x ano⁻¹)
Culturas anuais	
Algodão	24,8
Amendoim	26,7
Arroz	25,1
Feijão	38,1
Milho	12,0
Soja	20,1
Outras	24,5
Culturas temporárias	
Cana	12,4
Mamona	41,5
Mandioca	33,9
Culturas permanentes	
Banana	0,9
Café	0,9
Laranja	0,9
Outras	0,9
Outros tipos de ocupação	
Pastagem	0,4
Vegetação	0,4
Reflorestamento	0,9
Áreas críticas (estrada e periurbana)	175,0
Outras	1,0

FONTE: BELLINAZZI Jr. et al (1981) in BERTOLINI & LOMBARDI NETO (1993).

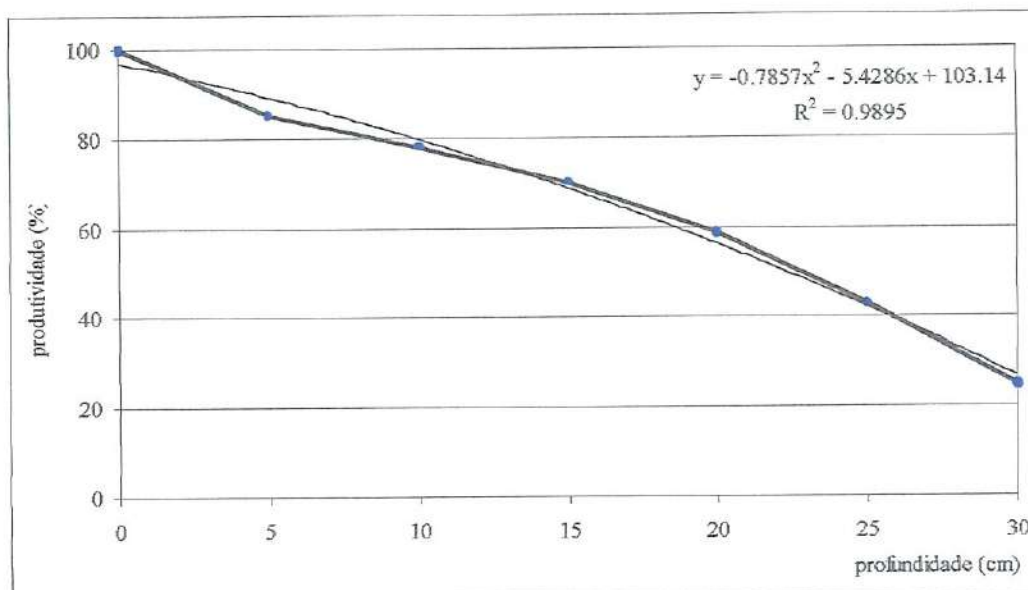


FIGURA 4.4 – Relação entre profundidade do solo e produtividade para a cultura do milho (FONTE: BERTONI & LOMBARDI NETO (1990)).

Conforme as informações expostas na TABELA 4.5 e na FIGURA 4.4 e considerando-se que a produtividade média inicial da cultura do milho para a região seja $\approx 2,5 \text{ t} \times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$, verifica-se que 1 tonelada de milho custa $4,8 \text{ t}$ de solo $\times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$ ou $0,5 \text{ mm}$ de solo perdido por ano (considerando a densidade do solo igual a $1,00 \text{ g/cm}^3$ ($\approx 1 \text{ t/m}^3$)). Com o passar do tempo, em função da diminuição da profundidade do solo, a produtividade também tenderá a cair, sendo este um dos reflexos do processo erosivo na economia de uma localidade.

O grande desafio da produção mundial de grãos é passar dos atuais 2 bilhões para 4 bilhões de toneladas no ano 2.025, o que irá requerer elevar a produtividade média mundial de 2,5 toneladas por hectare em 1.990 para 4,5 toneladas por hectare no mesmo período; isto para uma população que deverá atingir 8,3 bilhões de habitantes (hoje aproximadamente 5,6 bilhões) no ano 2.025, segundo dados da FAO (LOPES, 1994).

Para o caso brasileiro, a expectativa é da necessidade da produção de grãos atingir 140 milhões de toneladas no ano 2000, o dobro da “super-safra” de 70 milhões de toneladas, para uma população de 200 milhões de habitantes (hoje 150 milhões). Neste contexto, é extremamente oportuno discutir aspectos de manejo visando a reabilitação e a conservação de solos altamente suscetíveis à erosão, pois estes aspectos são extremamente importantes para que o agricultor possa aumentar a produtividade das suas terras, obter mais lucros e, conseqüentemente,

adotar práticas que levem à maior sustentabilidade de sua exploração agropecuária (LOPES, 1994).

O que deve ser defendido, como critério de sustentabilidade, não é chegar, evidentemente, ao “super-consumo” de fertilizantes como acontece em alguns países europeus (os agricultores holandeses, por exemplo, consumiram em média 604 kg/ha de fertilizantes entre 1991 e 1992 contra a média de 53 kg/ha de consumo por parte dos agricultores brasileiros). Contudo, a defesa deve se concentrar no uso racional de doses adequadas de fertilizantes como um instrumento importante para o aumento da **produtividade** (aumento da produção por hectare) da agropecuária brasileira e, com isso, diminuir as pressões de desmatamento e exploração de áreas pouco vocacionadas à exploração intensiva, como grande parte da região amazônica (LOPES, 1994).

Esta sustentabilidade subentende-se não só o aumento da produtividade como principalmente a manutenção desta produtividade para uma determinada área durante sucessivos anos. Para podermos atingir tais metas almejadas, a adoção de práticas conservacionistas é uma necessidade geral e atual. Ainda, dentro da gama de tipos de práticas que podem ser adotadas, cada modalidade muitas vezes limita-se a resolver apenas um problema. Assim sendo, chama-se a atenção não só pela necessidade de adoção de práticas conservacionistas, mas principalmente de sistemas integrados de práticas conservacionistas (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

4.5.3 - Erosão em estradas:

Neste caso específico porém não raro de ocorrência de erosão, valem algumas palavras discorridas por RODRIGUES (1995):

Do ponto de vista técnico a ação progressiva da erosão, no caso específico de rodovias, pode provocar situações de interrupção de tráfego, acidentes de conseqüências imprevisíveis, assim como dificultar as soluções de caráter corretivo. A erosão tem ocasionado assoreamento dos leitos das rodovias, obstrução dos sistemas de drenagens e pode provocar instabilização de taludes, condicionando até mesmo movimentos de massa e contribuindo para a degradação maior da paisagem.

Sabemos, também, que é possível prever e assim evitar a erosão em qualquer região e em qualquer material pelos métodos conhecidos e desenvolvidos atualmente. O que mais chama a atenção é que as causas de erosão em estradas são conhecidas a longo tempo e de tão óbvias, sua observação chega a ser simplista, rotineira e até elementar. No entanto, a erosão intensa e contínua ainda é uma das características mais marcantes em rodovias.

O custo das soluções para regularização do processo erosivo por vezes se torna oneroso, pois quanto maior a amplitude do fenômeno,

mais sofisticada e cara será a tecnologia necessária, sem esquecer que a própria interrupção do tráfego de certas rodovias estrategicamente mais importantes ocasiona prejuízos sociais e econômicos por vezes incalculáveis.

Durante a construção da rodovia um dos problemas mais freqüentes é a falta de seqüência lógica das obras, quando a terraplanagem é feita deixando a implantação da drenagem e da proteção vegetal superficial para uma fase posterior. Áreas de empréstimo e depósitos de material excedente (bota-foras), ficam relegadas a um segundo plano, sem os devidos cuidados.

A deficiência na fase da execução é transmitida à conservação e manutenção da rodovia, que por vezes não dispõe de recursos, levando a execução de reparos somente em locais onde os problemas ameaçam a segurança do tráfego.

Deve-se lembrar ainda que durante as fases do projeto, construção e conservação da rodovia, a preocupação dominante é a reabilitação apenas do corpo estradal nos limites da faixa de domínio, desprezando inteiramente os efeitos que os processos de erosão desencadeados causam à região vizinha.

Não raramente se verifica, principalmente em rampas mais declivosas, que o tipo predominante de erosão nas estradas é do tipo linear, onde ocorre uma concentração do fluxo das águas em linhas paralelas próximo ao asfalto. Frequentemente há a ocorrência de ravinas e voçorocas, principalmente em localidades cujo solo confere pouca resistência à erosão e/ou pouca ou nenhuma cobertura vegetal, o que favorece tal fenômeno.

ANDERSON & MACDONALD (1998) mencionam que ruas sem asfalto ("unpaved roads") constituem, largamente, a maior fonte de sedimentos em certos locais nos EUA e mencionam que a quantidade de sedimento removido e transportado depende de fatores como: características físicas do local (declividade e aspecto da rampa, quantidade e intensidade das chuvas, tipo de solo e aspectos sobre a microtopografia (rugosidade) da estrada); quantidade, intervalo de uso e tipo de destino de uso da estrada; posição ao longo da vertente que está localizada; características do relevo, do solo e da drenagem da encosta imediatamente acima da estrada, sendo muito difícil quantificar isoladamente cada fator em campo e dar um enfoque integrado do processo abordando simultaneamente todos estes fatores.

4.6 - Estado da arte da pesquisa em erosão:

4.6.1 – Os métodos de pesquisa:

Os pesquisadores que atuam na linha de pesquisa sobre a erosão vêm sendo levados a estudá-la intensivamente sob vários pontos de vista em todas as partes do mundo, isto é, o tema erosão vem sendo pesquisado no sentido de produzir conhecimento técnico-científico dentro de áreas como hidrologia, geomorfologia, pedologia, agronomia, entre outras.

As pesquisas visando a compreensão deste fenômeno vêm crescendo em função também de ser um fenômeno decorrente de um mal manejo do solo e de drásticas alterações ambientais que vêm crescentemente ocorrendo e que vêm resultando em sérios prejuízos de diversas formas e em diversas escalas, tanto no meio rural como no meio urbano (SILVA, 1988).

O “design” de métodos de estudo e de abordagem da pesquisa em erosão varia basicamente com a natureza do fenômeno da erosão a ser estudada e com o objetivo central do estudo, juntamente com as limitações econômicas e de tempo necessário para a pesquisa bem como de espaço físico. Em função disto há grande número de técnicas e procedimentos diferentes (ZACHAR, 1982).

Existem possibilidades de realização de trabalhos no campo da pesquisa da erosão, ou “erodologia” (BARROS, 1956), a serem feitos em laboratório, com as condições controladas ao máximo; ou no campo, com algumas condições controladas, por exemplo o controle do tipo e quantidade de cobertura (LOPES *et al.*, (1987), SILVA (A. M., 1997)). Há ainda métodos que visam a quantificação do fenômeno da erosão sob os aspectos reais e atuais numa determinada área de estudo (geralmente uma encosta ou mesmo uma bacia hidrográfica) (CARVALHO, N. O., 1994).

A intensidade da erosão é avaliada pela intensidade de remoção ou depósito numa superfície de terra, a atenuação da cobertura do solo ou a representação do tamanho, densidade e superfície de erosão criadas pela erosão dentro de um período de tempo. Pode ser estimada por medidas quantitativas (peso, volume, profundidade) de solo carreado, isto é, efeitos quantitativos da erosão no solo - variações e perdas em termos de quantidades (ZACHAR, 1982).

O efeito em grau qualitativo da erosão refere-se sobre as propriedades do solo erodido, especialmente com respeito a sua fertilidade. Estas variações podem ser estimadas comparando-se as propriedades do solo antes e após a erosão; ou ainda comparando-se o solo inicial, o erodido e o sedimento depositado, possibilitando a comparação do material transportado e depositado (ZACHAR, 1982).

A eficácia de medidas de controle da erosão é determinada investigando que diferentes medidas de prevenção e controle da erosão sejam capazes de melhorar ou recuperar a permeabilidade do solo, rugosidade superficial, proteção mecânica da superfície do solo - amenização da energia cinética das gotas de chuva, manutenção ou melhora da resistência de agregados, redução e regularização do escoamento superficial, redução da velocidade do vento, interceptação de partículas transportadas, entre outros. É também importante a avaliação dos efeitos de medidas de controle da erosão na melhoria da qualidade ambiental e no aumento da produtividade agrícola (ZACHAR, 1982).

Como o fenômeno da erosão está intimamente ligado com a queda da produtividade agrícola das terras, muitos trabalhos concentram-se na compreensão do fenômeno ou ainda no desenvolvimento de técnicas de recuperação do potencial produtivo, em função do controle do processo erosivo. Dentro desta linha de pesquisa, também há experimentos em ambientes fechados, com condições controladas e em condições de campo.

A título de ilustração, cita-se que SPAROVEK *et al*, (1991), realizando um experimento de erosão simulada com remoção gradual e artificial da camada superficial do solo (0-45 cm) em três parcelas experimentais, quantificaram a queda de produtividade em função do impacto sofrido no solo e as respectivas velocidades de recuperação da produtividade para cada tratamento (tratamento T1: calagem - 4,5 t/ha + NPKZn - adubação de plantio + esterco - 10,03 t/ha de matéria seca; tratamento T2: calagem - idem a T1 + adubação NPKZn - idem a T1 com cobertura de N e tratamento T3 - testemunha: sem calagem, sem adubação e sem esterco).

Estes autores observaram que a remoção de terra provocou uma elevada queda no rendimento de grãos de milho nos tratamentos estudados; também a adição de esterco (tratamento T1), associada à correção da acidez do solo e à adubação mineral, foi responsável pela boa recuperação da produtividade da cultura do milho, mesmo com intensa remoção de terra e perda total do horizonte superficial do solo. A correção do solo e a adubação mineral tiveram menor êxito na recuperação da produtividade da cultura do milho, quando comparada com o tratamento T1. Neste trabalho foi concluído também que embora mantendo-se as práticas rotineiras como adubação das culturas e correção do solo em condições ótimas, as elevadas perdas de solo causadas pela erosão podem, com o passar do tempo, levar a uma redução na produtividade das culturas, reforçando o conceito de que o processo erosivo se auto-alimenta, isto é, erosão resulta menor produtividade e menor cobertura do solo, levando a maior erosão (MASSEE & WAGGONER, 1985 *in* SPAROVEK *et al*, 1991).

A distribuição do fenômeno da erosão e medidas de controle de erosão sobre grandes áreas é também objeto de intensos estudos. Neste caso busca-se a síntese de todas as informações visando determinar relações entre erosão e condições naturais e econômicas e como estas relações variam no tempo e no espaço. O objetivo final destes tipos de estudo é classificar áreas erodidas e desenvolver programas de medidas de controle de erosão que reduziriam o processo a níveis aceitáveis e levaria a contínuo aumento na fertilidade do solo e a uma melhoria no “ambiente humano” (ZACHAR, 1982).

Os principais objetivos da pesquisa em erosão podem ser alcançados através de vários métodos, os quais são mencionados em ZACHAR (1982) e alguns deles descritos a seguir:

a) Nivelamento: Compreende a detecção de alterações na superfície do solo - perdas das camadas de solo por unidade de tempo ou para cada tempestade de chuva ou vento, medindo-se verticalmente.

b) Crescimento de vegetação: aumento da superfície coberta por unidade de área de superfície de solo e sua relação entre: 1) poder de interceptação da água da chuva e 2) atuação como barreira física para atenuar a capacidade erosiva do escoamento superficial. Também enquadra-se nesta modalidade estudar a taxa de influência do processo erosivo sobre o crescimento de alguma(s) cultura(s), sendo esta um indicador da perda da fertilidade do solo e visando a recuperação do potencial produtivo de um determinado solo.

c) Climatológicos: São analisados fatores como a erosividade da chuva e/ou do vento de uma região e o efeito de condições climáticas do solo - principalmente temperatura, umidade, tendência a déficit hídrico; denominando este conjunto de fatores como “agressividade climatológica”. Para o caso da avaliação da erosividade das precipitações naturais, muitas são as equações desenvolvidas utilizando-se diferentes tipos de dados coletados em pluviômetros e/ou pluviógrafos, principalmente dados sobre intensidade, duração e distribuição sazonal das chuvas. Algumas equações almejam ainda atribuir um valor ao fator “R” da Equação Universal de Perda de Solo (comentada a seguir) para as chuvas de uma dada região, que pode ter valores unitários (para cada evento chuvoso), valores mensais e/ou anuais. Para o caso das variáveis da água no solo, geralmente é feito uma estimativa do balanço hídrico anual, a fim de ter o conhecimento de qual época do ano ocorrerá déficit hídrico e em que época ocorrerá precipitações cujo volume é superior ao que o solo consegue reter, ocorrendo excedente hídrico e formação de escoamento superficial.

d) Pluviosimulação: onde são utilizados simuladores de chuva sob os mais diferentes aspectos e onde é possível verificar a relação entre intensidade de erosão sob diferentes características da chuva, tendo condições controladas e não necessitando da “boa vontade” do tempo para realizar o experimento.

e) Deluométrico: compreende a determinação da qualidade e da quantidade de produtos de diluição, ou “solutos”. Envolve a interceptação do escoamento superficial encerrando substâncias e pesando esta quantidade. Para relacionar a substância interceptada com a superfície, é necessário conhecer a área de origem dos solutos (por exemplo, área da parcela experimental que origina o material erodido transportado pela água do escoamento superficial). Portanto, a informação mais precisa possível é obtida de áreas pré-demarcadas (barreiras de parcelas experimentais). A análise granulométrica do material carregado é um exemplo de determinação qualitativa do material erodido e transportado pela enxurrada.

f) Pedológico: Estudos sobre a erodibilidade do solo, variável que também consta na Equação Universal de Perda de Solo, são realizados com o intuito de investigar a resistência de um determinado solo à desintegração, salpicamento, abrasão, capacidade de ser transportado por rajadas de vento, entre outras intempéries. Pode também ser estabelecido analisando outros fatores e condições responsáveis pelo processo erosivo atuantes nele. Não se deve confundir resistência de um solo à erosão (que é o conceito de erodibilidade) com risco que um solo está em sofrer erosão, que é determinado conjuntamente por sua suscetibilidade natural de erosão e pelo modo de uso e ocupação.

g) Monolítico: Uma vez que é extremamente difícil encontrar, sob condições naturais, mesmo tipo de solo em diferentes inclinações, comumente realiza-se a coleta de amostras de solo, tomando-se o cuidado para não alterar suas características físicas em função da coleta e do transporte da amostra para o laboratório, sendo realizadas diversas modalidades de experimentos sob condições de rigoroso controle dos fatores envolvidos no processo. O método compreende essencialmente em submeter um mesmo tipo de solo a processos erosivos em diferentes graus de inclinação, bem como à chuvas de diferentes características, além de possibilitar estudos com ocorrência de escoamento superficial, podendo também haver variações no tamanho da parcela, bem como diversos tipos e diferentes quantidades de cobertura sobre a superfície do solo e realizar comparações.

h) Morfométrico: também denominado geomorfológico. Compreende a investigação do processo erosivo por meio de fatores morfométricos como inclinação, comprimento, aspecto e forma da encosta; a forma do relevo; a profundidade da base do solo erodido; a forma, comprimento, atividade e densidade de voçorocas; a proporção de terras aradas, entre outros. É um método útil para quando o objetivo do estudo é o mapeamento da ocorrência do processo erosivo e qual(is) tipo(s) ocorre(m), com o que se torna possível preparar mapas de ocorrência de diferentes tipos de erosão ocorrendo conforme as características físicas da área estudada.

i) Hidrológico: Útil para quando se deseja determinar a intensidade da erosão numa região definida (bacia hidrográfica, por exemplo), sendo similar ao método deluométrico. Os produtos oriundos do processo erosivo não são observados com detalhe qualitativo mas sim é analisado de uma forma conjunta o efeito da erosão e da deposição de sedimento de uma área. Como exemplo deste método cita-se a quantificação do carreamento de material em suspensão num determinado ponto de um corpo-d'água ou ainda a quantificação da taxa de deposição de sedimento num rio ou numa barragem, através de coletas periódicas e regulares.

j) Fotogramétrico: É um método que geralmente dá suporte de informações a outros métodos que forem utilizados. Qualquer tipo de fotografia é útil no estudo de processos erosivos, principalmente no que diz respeito a variações temporais do processo num determinado local. No caso de produção de fotografias aéreas e posterior estudo utilizando-as, muitas vezes não há necessidade de ir a campo, em função disto há também a possibilidade e a vantagem de realizar documentações fotográficas até mesmo em locais pouco acessíveis por terra e que vem sofrendo danos provocados pela erosão.

l) Matemático: O avanço da tecnologia, especialmente daquela ligada à informatização de dados, cenários e processos naturais, permitiu novas abordagens do processo erosivo nos últimos anos. Estas novas abordagens permitem verificar a dinâmica do processo erosivo, simulação do processo dentro de um cenário real ou também simulado, tudo com certa rapidez e eficácia, principalmente para auxílio no planejamento de execução de uma obra (urbana ou rural), gerenciamento de uma propriedade (gleba) ou uso e ocupação de uma dada localidade (bacia hidrográfica).

Modelos matemáticos são largamente empregados na predição do processo erosivo, tanto para planejamento conservacionista (preventivo) como no seu controle. A principal vantagem da aplicação de modelos reside

na possibilidade do estudo de vários cenários diferentes, tais como o pior cenário possível e diferentes tipos de manejos e práticas conservacionistas, com baixo custo e de forma rápida. Contudo, para que tenha sucesso, a aplicação de modelos de predição de erosão, no planejamento de uso do solo ou controle do processo erosivo, deve levar em conta critérios importantes que dizem respeito à sua aplicabilidade (erosão em vertentes, em voçorocas, aporte de sedimentos em bacias, entre outros), a estrutura do modelo, aos dados disponíveis e ao custo de sua obtenção, a precisão, entre outros fatores (JAMES & BURGESS *in* CHAVES, 1995). Ou seja, todo modelo tem limites de aplicação.

4.6.1.1 – Equação Universal de Perda de Solo:

Dentre as muitas equações que buscam exprimir a ação dos principais fatores que sabidamente exercem influência nas perdas de solo pela erosão hídrica, a que trata o assunto de modo mais dinâmico, devido ao fato de superar parcialmente restrições climáticas e geográficas e ter uma aplicação generalizada é a chamada “Equação Universal de Perda de Solo” - E.U.P.S. - (no inglês: Universal Soil Loss Equation - U.S.L.E.) (WISCHMEYER & SMITH, 1978).

A EUPS foi inicialmente desenvolvida nos Estados Unidos nos anos 50 por pesquisadores do Departamento de Agricultura, Serviço de Pesquisas Agrícolas, Serviço de Conservação do Solo e Universidade de Purdue, estado de Indiana, todos dos Estados Unidos (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990; HOLÝ, 1980). É baseada em dados obtidos em experimentos, derivados de uma grande quantidade de dados obtidos em experimentos de campo e aborda os quatro maiores fatores responsáveis pelo processo erosivo, quer seja linear ou superficial: clima, solo, topografia e uso e manejo do solo (RENARD *et al*, 1991).

O plano básico da EUPS é de ter previsão de médio a longo prazo de erosão do solo baseado em séries de longos períodos de coletas de dados e daí então promover o planejamento de práticas conservacionistas para minimizar as perdas de solo a níveis aceitáveis (LARSON *et al*, 1997).

A criação desta equação teve por objetivo inicial fornecer subsídios para auxiliar os técnicos atuantes no serviço de conservação do solo no planejamento de uso do solo de áreas rurais, dando suporte para avaliar também se uma determinada área cultivada apresentava perdas de solo dentro ou além dos limites considerados toleráveis para as condições da área e permitir também a avaliação da eficácia de práticas conservacionistas.

A EUPS é um instrumento valioso para os trabalhos de conservação do solo. Pode ser usada como guia para o planejamento do uso do solo para determinar as práticas de conservação mais apropriadas para o terreno (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Originalmente, a EUPS foi desenvolvida para uso em terras cultivadas. Porém, ainda precocemente, foi aplicada em áreas de pastagem e áreas florestais impactadas, havendo opiniões divergentes sobre suas novas aplicações. Atualmente, a EUPS vem sendo aplicada em outros tipos de uso e ocupação de terras incluindo áreas de construção urbana, locais de recreação, aterros para construção de estradas, entre outros (RENARD *et al*, 1991). A expressão matemática compreende basicamente os mesmos fatores citados e descritos sucintamente no item 4.1:

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (4.1)$$

onde:

A - perda de solo calculada por unidade de área, em t/ha.

R - fator erosividade da chuva: índice de erosão pela chuva, em $\text{tm} \times \text{mm} \times \text{ha}^{-1} \times \text{h}^{-1}$. É um índice numérico que expressa a capacidade da chuva esperada em dada localidade de causar erosão em uma área sem proteção.

Como já comentado, as gotas de chuva que golpeiam o solo são um agente que contribui para o processo erosivo em pelo menos três formas:

- a) desprendem partículas de solo no local que sofre o impacto;
- b) transportam, por salpicamento, as partículas desprendidas;
- c) imprimem energia, em forma de turbulência, à água superficial.

Dados de chuva totais ou médias mensais e anuais pouco significam em relação à erosão. A apresentação dos dados de chuvas totais diários, limitados pelas observações realizadas a cada 24 horas, também não têm grande significado em relação à erosão, uma vez que nunca a chuva se distribui uniformemente no período de um dia.

A intensidade (mm/h) é o fator mais importante e, juntamente com a duração, determinam a chuva total. Estes dados são obtidos essencialmente com o uso de pluviógrafos, os quais registram na forma gráfica o comportamento da chuva, fornecendo então informações sobre a altura, a intensidade e a duração do evento.

Contudo, devido a serem os registros pluviográficos escassos ou inexistentes em alguns países e as análises dos diagramas dos pluviógrafos para determinação da energia cinética serem extremamente morosas e trabalhosas, diversos autores tentaram correlacionar o índice de erosão com fatores climáticos, fatores esses de fácil medida e que não requerem registros de intensidade de chuva.

O coeficiente proposto por Fournier (ZACHAR, 1982) o qual determina a relação entre o quadrado da altura de chuva (mm) mensal e altura de chuva (mm) anual constitui-se num dos métodos mais utilizados. A equação original é:

$$EI = \frac{p^2}{P} \quad (4.2)$$

onde:

EI – média mensal do índice de erosão.

p – precipitação média mensal, em milímetros.

P – precipitação média anual, em milímetros.

Contudo, sempre há a necessidade de fazer-se algum ajuste na equação para adequação às condições climatológicas locais. BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) apresentaram a equação ajustada para a região de Campinas (SP):

$$EI = 67,355 * \left(\frac{p^2}{P} \right)^{0,85} \quad (4.3)$$

Sendo que os parâmetros desta equação são os mesmos da equação 4.2, porém a unidade é MJ x mm x ha⁻¹ x h⁻¹ (Megajoule x milímetro de chuva por unidade de área (hactare) por hora de chuva).

Para um longo período de tempo, vinte anos ou mais, esta equação estima com relativa precisão os valores médios de EI de um local, usando somente totais de chuva, os quais são disponíveis para muitos locais.

A fim de apresentar os valores de erosividade de algumas regiões do Brasil, menciona-se que LOPES & BRITO (1993), estimando a erosividade da chuva para região do médio São Francisco, encontraram valores anuais de 210 tm x mm x ha⁻¹ x ano⁻¹ para a região de Petrolina (PE) e 233 tm x mm x ha⁻¹ x ano⁻¹ para a região de Juazeiro (BA). Verificaram que a época de maior agressividade das chuvas para estas regiões também ocorre entre os meses de outubro e abril. Para a região de Manaus (AM) OLIVEIRA JR. & MEDINA (1990) verificaram valor médio anual de 815 tm x mm x ha⁻¹ x ano⁻¹ e verificaram que a época de maior agressividade das chuvas para a região ocorre está entre os meses novembro e maio, destacando-se o mês de março. Na região da bacia hidrográfica do alto Paraguai (estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) foram

encontrados valores que variaram entre 600 e 950 $\text{tm} \times \text{mm} \times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$, conforme a localidade (M.M.A., 1997).

K - fator erodibilidade do solo: É a relação entre a intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25 m. no sistema métrico é expresso em $\text{t} \times \text{ha} \times \text{ano} \times \text{tm}^{-1} \times \text{ha}^{-1} \times \text{mm}^{-1}$.

A erosão não é a mesma em todos os solos. As propriedades físicas principalmente a estrutura, que é o modo como se arranjam as partículas; a textura, que compreende o agrupamento das partículas em classes em função do tamanho; a taxa de infiltração, a permeabilidade, a densidade e a porosidade, assim como as características químicas, sendo o conteúdo de matéria orgânica e propriedades biológicas do solo as mais importantes, exercem diferentes influências na resistência do solo à erosão.

A metodologia proposta para a quantificação deste índice resulta em altos custos e demanda muito tempo para obter dados definitivos sobre unidades específicas de solo. Apesar desta limitação, vários pesquisadores vem se dedicando exclusivamente nesta linha de pesquisa, buscando atribuir valores do fator K para as mais diversas classes de solo existentes no mundo, inclusive nos solos brasileiros. Dentro deste contexto, cita-se que para os solos do nordeste brasileiro há os trabalhos realizados por MARGOLIS *et al* (1985) e TÁVORA *et al* (1985), na região sul tem-se os trabalhos de ANGULO *et al* (1984) e BISCAIA *et al* (1981), BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) fizeram estimativas do fator K para diversas classes de solo existentes no estado de São Paulo, entre muitos outros trabalhos.

A fim de utilizar a EUPS porém de forma mais rápida e barateada, vários métodos vêm sendo desenvolvidos para determinação indireta da erodibilidade e são elaborados baseando-se nas características físicas e químicas de cada solo, tais como o nomógrafo ou métodos ainda mais simples como o proposto por MITCHELL & BUBENZER (1980), o qual é uma tabela que requer dados somente de classe textural e de teor de matéria orgânica do solo, a combinação destas informações resulta no valor do fator K para ser aplicado na EUPS. Em M.M.A. (1997) são citados valores do fator K para as classes de solos ocorrentes na bacia do alto rio Paraguai, estimados através de método indireto.

L - fator comprimento do declive: relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25 m para o mesmo solo, mesma chuva, mesmo grau de declive e sob mesmas condições de cobertura e manejo.

S - fator grau de declive: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para a mesma situação acima.

* Vale salientar que para a equação de perda de solo as variáveis "L" e "S" são representadas separadamente. Contudo, para aplicação prática da equação são considerados conjuntamente como um fator topográfico.

Em casos onde não são respeitados estes valores experimentais (25m de comprimento de rampa e 9% de declividade) há uma equação para adequação do valor conforme as características locais:

$$LS = \left(\frac{\sqrt{X}}{100} \right) * (1,36 + 0,97S + 0,1385S^2) \quad (4.4)$$

onde:

X – comprimento da vertente (em metros).

S – declividade (%).

O fator topográfico, mais especificamente o fator comprimento de rampa (fator - L) é de difícil obtenção de valores quando se trata de trabalhar em grandes áreas (bacia hidrográfica, por exemplo) utilizando-se a EUPS. Buscando minimizar esta dificuldade, vem-se desenvolvendo pacotes (softwares) que efetua o cálculo do fator LS para toda uma região, sendo que podem ser contemplados ou não fatores implícitos do procedimento de cálculo deste valor (acúmulo de água e formação de enxurrada, conforme a localização na vertente, por exemplo). Exemplo disto é visto em M.M.A. (1997), a qual foi realizada uma análise da estimativa de perdas de solo para a região da bacia do alto rio Paraguai e o procedimento de cálculo do fator L para toda a área de estudo foi realizado utilizando-se um software. Também, cita-se que na Bélgica DESMET & GOVERS (1996) elaboraram o software "USLE-2D" para utilização em software de sistema de informação geográfica, possibilitando a geração do mapa do fator LS para a área desejada e posterior aplicação deste mapa nas etapas seguintes do trabalho.

C - fator uso e manejo: relação entre perdas de solo de um terreno com certo tipo de cobertura e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado.

P - fator prática conservacionista: é a relação entre intensidade esperada entre as perdas de solo de um terreno que foi cultivado adotando-se determinada prática conservacionista e as perdas quando se planta no sentido do declive (morro abaixo).

Esta mesma equação pode ser combinada com Sistemas de Informação Geográfica para estimar a erosão laminar e em sulcos em bacias hidrográficas e em nível regional e com bons resultados (CHAVES *et al in* CHAVES (1995)); uma vez que o desenvolvimento de sistemas computacionais para aplicações gráficas e de imagem torna possível a automatização de tarefas anteriormente realizadas manualmente e ainda facilita a realização de análises complexas (ENGESPAÇO, 1990 *in* VALÉRIO FILHO, 1994).

A EUPS prevê apenas a erosão média da vertente, não levando em consideração a forma da vertente, e ainda não permite quantificar a deposição. Além disso, como é um modelo empírico, pelo menos alguns de seus fatores, como K, C e P têm que ser obtidos experimentalmente, em condições semelhantes àquelas onde será utilizado (WISCHMEIER *in* CHAVES (1995)).

Uma importante limitação científica da EUPS como uma equação baseada empiricamente é que não apresenta explicitamente os processos fundamentais hidrológicos e da erosão. Por exemplo, o efeito do escoamento superficial, que é um componente importante de modelos hidrológicos, não é diretamente representado nesta equação. Por outro lado, se fosse incluído tal variável dentro da equação, esta ganharia extrema complexidade (RENARD *et al*, 1991).

Esta equação limita-se também a dar estimativas somente de médias de perdas anuais de solo e não estima nem o processo de deposição em vertentes côncavas, nem o carreamento de sedimentos para fora de uma determinada área; ou seja, é uma equação empírica que representa apropriadamente efeitos de primeira ordem de fatores que influenciam o processo erosivo (RENARD *et al*, 1991).

Contudo, é em função desta relativa simplicidade que esta equação vem sendo largamente utilizada. Para o caso do Brasil, por exemplo, onde a base de dados e de informações cartográficas é normalmente escassa, a aplicação de outros modelos para a previsão de perda de solo seria praticamente inviável, com raras exceções.

Além da EUPS, outros modelos vêm sendo desenvolvidos a fim de aprimorar a predição da perda de solo e também do aporte de sedimentos. Um deles é a chamada Equação Universal de Perda de Solo Modificada ((EUPS-m) (do inglês: Modified Universal Soil Loss Equation – MUSLE)) (WILLIAMS *in* CHAVES, 1991 e 1995). A EUPS-m foi criada a partir da EUPS e possui o objetivo de prever o aporte de sedimentos da bacia hidrográfica, sendo os fatores do modelo os mesmos da EUPS, com exceção do fator R (erosividade das chuvas), o qual foi substituído por fatores que contemplam os processos hidrológicos da bacia. A equação é:

$$Y = 89,6 * (Q * q_p)^{0,56} * K * LS * C * P \quad (4.5)$$

onde:

Y – é o aporte de sedimentos em um determinado exutório da bacia (em t) após um evento chuvoso.

Q – volume de escoamento superficial (m^3).

q_p – a vazão – pico (m^3).

K, LS, C e P – fatores da EUPS.

A diferença entre a EUPS e a EUPS-m é que, se for feita a predição do aporte de sedimentos utilizando-se a primeira equação, é necessário conhecer o coeficiente de remoção de sedimentos da área e multiplicar pelo valor de perdas de solo para chegar a estimativa final, enquanto que a segunda equação dispensa este coeficiente.

Contudo, para se trabalhar com a EUPS-m, os fatores hidrológicos necessários à estimativa do aporte de sedimentos nem sempre são de simples obtenção, uma vez que para se chegar aos valores finais de cada um destes fatores, é necessário ter-se em mãos informações de outros fatores necessários para aplicação no cálculo de Q e q_p , tais como informações sobre manejo, permeabilidade e umidade do solo, tempo de pico do hidrograma, entre outros, além daquelas necessárias que são de uso comum na EUPS e na EUPS-m (CHAVES, 1991).

No Brasil, vários modelos vêm sendo gerados com o intuito de estimar as perdas de solo, alguns adequando equações desenvolvidas no exterior para as características do local de uso da equação, outros através de geração de softwares de sistemas de informação geográfica aplicados na predição de perda de solo e planejamento para fins de uso conservacionista.

Convém salientar que nenhum método de pesquisa em erosão possui abrangência o bastante para ser utilizado exclusivamente e fornecer resultados sólidos e amplos para tomada de decisões em atividades conservacionistas e/ou de reabilitação de áreas degradadas pelo processo erosivo. Ou seja, são métodos de abrangência limitada e alguns deles quantifica apenas parte do processo erosivo, o qual é formado por uma complexa interação de vários fatores climáticos, pedológicos, antrópicos e de outras naturezas, sendo o ideal o uso de métodos que se complementam e juntos possibilitam uma compreensão global mais próxima da realidade local e natural.

O apoio à decisão sobre problemas não pode basear-se apenas em informações sobre ocorrências territoriais; esta é a dimensão espacial do fenômeno ambiental. É preciso obter informações sobre a evolução, ou seja, sobre a variação, no tempo, de fenômenos territorialmente expressos. Registros sucessivos de fenômenos ambientais, utilizando taxonomias correspondentes (classificações iguais ou correlacionáveis), podem ser usados para o acompanhamento da evolução territorial de processos e ocorrências de interesse. É o caso do acompanhamento da devastação de



florestas, da expansão de áreas de favelas, entre outros fenômenos, de óbvia importância para a gestão ambiental (SILVA & CARVALHO FILHO, 1995).

4.6.2 - Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG):

A exigência de uma visão globalizada das questões ambientais tem contribuído para uma crescente demanda por informações cartográficas, obtidas em ritmo cada vez mais intenso graças ao desenvolvimento de técnicas apoiadas no uso de computadores e às imagens obtidas por sensores instalados a bordo de satélites espaciais que, com suas características de repetitividade e periodicidade, tornaram-se também ferramentas indispensáveis na análise e monitoramento multitemáticos e multitemporais de fenômenos naturais ou decorrentes de ações antrópicas em nosso planeta (CALIJURI, 1996).

Em suma, o geoprocessamento, que nada mais é do que o resultado de uma forte interação dessas tecnologias, constitui-se no grande fator de universalização e compartilhamento destas informações que, por sua vez, são a matéria prima responsável pela qualidade das decisões tomadas pelos administradores (CALIJURI, 1996).

Contudo, um Sistema de Informação Geográfica integra, além de informações oriundas de imagens de satélites, também informações espaciais oriundas de mapas, dados de censos, cadastros urbano e rural, modelos numéricos de terreno. Enfim, um SIG destina-se a atuar como uma ferramenta eficiente de planejamento em todas as aplicações que fazem uso de mapas. Assim, todas as atividades que envolvem a coleta de dados sobre a superfície terrestre podem ser beneficiadas por um sistema desta natureza (VALÉRIO FILHO, 1994).

Trata-se de uma tecnologia gerada no início da década de 60 por pesquisadores da América do Norte, onde foi desenvolvido o primeiro pacote de mapeamento largamente distribuído para manipulação de dados geográficos. Desde então vêm sendo gerados novos pacotes e com suas respectivas reformulações em toda parte do mundo. A princípio, os pacotes foram desenvolvidos por iniciativas individuais de alguns profissionais, passando posteriormente a serem utilizados por agências governamentais e após esta fase ocorreu o predomínio comercial, chegando as possibilidades de domínio ao usuário e de forma facilitada e barateada, dada a concorrência entre os vendedores (CALIJURI, 1996).

Estudos dos riscos de erosão a que uma área pode estar submetida vêm sendo realizados com a utilização de Sistemas de Informação Geográfica. RANIERI *et al* (1996) utilizaram SIG para elaborar mapas de riscos de erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins (Piracicaba - SP) e associaram o uso da Equação Universal de Perda de

Solo (EUPS) para estimar a perda de solo para a área, salientando em suas conclusões as vantagens: rapidez de retorno e ainda possibilidade de manipulação e simulação de cenários que o SIG traz nestes tipos de pesquisa.

VALÉRIO FILHO (1994) também associou o uso da EUPS com o uso de SIG na avaliação da suscetibilidade natural e de riscos de erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão Bonito (Santa Maria da Serra - SP) e ainda estudou a evolução da ocupação dos solos da região utilizando-se de mapeamentos e fotografias aéreas para o ano de 1972 e de imagens de satélite TM/Landsat de 1988. Detectou um significativo aumento de áreas com ocorrência de taxas de perdas de solo acima do tolerável em consequência de alterações do uso do solo.

LIMA *et al* (1992) verificaram em área teste no estado da Paraíba a suscetibilidade natural e o risco de erosão através do uso de software de SIG desenvolvido especificamente para a área de sensoriamento remoto.

SILVA (L. P., 1997) realizou diagnóstico da suscetibilidade à erosão dos solos da área de proteção ambiental (A.P.A.) da Serra dos Parecis (RO) através de técnicas de geoprocessamento e, apesar de utilizar fontes cartográficas de pequena escala (carta topográfica e imagem Landsat em 1:100.000 e mapa de solos em 1:500.000), julgou os resultados importantes sob o ponto de vista de auxílio ao planejamento de uso e ocupação do espaço, evidenciando áreas de pouca intensidade de uso devido à baixa fertilidade natural do solo e concluindo que a área não se adapta às atividades agropecuárias. Identificou também áreas com forte suscetibilidade à erosão e que requerem maiores cuidados do ponto de vista da conservação dos solos.

Imagens de satélite são utilizadas na maior parte dos casos para análise dos processos de uso ocupação do solo de uma determinada área e sua conseqüente influência na cobertura do solo. Segundo NOVO (1992) e VALÉRIO FILHO (1994), desde a etapa de captação de informações realizada pelo satélite até o uso final pelo técnico, o material passa por diversas fases de processamento, as quais podem ser divididas nos conjuntos:

1) *Etapa de pré-processamento*: refere-se ao conjunto de programas que permitem a transformação de dados digitais brutos em dados corrigidos radiométrica e geometricamente, além da correção de imperfeições ocasionadas por efeitos atmosféricos.

2) *Etapa de melhoramento visual da imagem*: Compreende aplicação de algoritmos que atuam reduzindo os ruídos e o volume de dados, realçando os alvos, favorecendo sua detecção e discriminação.

3) *Etapa de classificação*: consiste em identificar nas imagens os diferentes alvos, fenômenos ou feições que apresentem padrões espectrais similares e atribuí-los a uma determinada classe. Dentre as técnicas de classificação cita-se: a) classificação digital não supervisionada: realizada quando não se tem nenhum tipo de conhecimento sobre a área de estudo; esta abordagem de classificação corresponde a uma técnica de segmentação de imagens onde elas são divididas em classes não conhecidas, isto é, o classificador define as classes com base em regras estatísticas. b) classificação digital supervisionada: é o mais comumente utilizado e nela o usuário seleciona áreas de treinamento pertencentes às classes desejadas. O usuário treina o analisador de imagens, deixando à ele a tarefa de localizar todos os demais "pixels" pertencentes às classes anteriormente definidas (VALÉRIO FILHO, 1994).

Segundo VALÉRIO FILHO (1994), a função primordial do processamento digital de imagens é a de facilitar a identificação e a extração de informações contidas nas imagens, para posterior interpretação. Nesse sentido, sistemas de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas.

4.7 - O processo erosivo enquanto fonte de poluição:

Quando noticiados os impactos ocasionados por processos erosivos, são postos em relevo os prejuízos materiais e desassossegos sentidos pelos moradores das cercanias, além do perigo potencial para as áreas limítrofes, ainda não assoladas, em que outros bens possam estar em jogo (BARROS, 1956). Dentro do ciclo completo do processo erosivo-sedimentológico, menciona-se que as conseqüências da erosão sob o ponto de vista da perda de solo é assunto largamente discutido e de suma importância em termos de degradação ambiental. Entretanto, a perda de solo é apenas o primeiro dos impactos, vindo, logo em seguida, outros impactos ocorrentes em outros locais, mais notadamente nos cursos d'água, os quais geralmente constituem o local de destino das partículas de solo removido (sedimento), degradando o canal de drenagem não só do ponto de vista da alteração física dos canais de drenagem mas também da alteração das características físicas e químicas da água do rio.

4.7.1 – Erosão do solo e quantidade/qualidade da água:

TUCCI (1997) frisa que a qualidade de água de mananciais que compõem uma bacia hidrográfica está relacionada com o uso do solo na bacia e com o grau de controle sobre as fontes de poluição. Tal afirmação é ratificada a partir da afirmação feita por AZEVEDO NETTO (1991): “a

água transporta substâncias e organismos, fruto de onde passou". Neste contexto WARD & ELLIOT (1995) citam que o sedimento é, provavelmente, o mais significativo de todos os poluentes em termos de sua concentração na água, seus impactos no uso da água e seus efeitos no transporte de outros poluentes.

INBAR *et al* (1998), em pesquisa feita em áreas que sofreram queimadas em Israel, verificaram que após a ocorrência de queimadas, há um forte aumento de taxa de escoamento superficial e também da taxa de carreamento de sedimentos. Após o primeiro ano de rebrota da vegetação, verificaram uma expressiva redução na taxa de carreamento de sedimento. Porém a taxa de escoamento superficial continuou ainda muito mais alta que nas regiões também estudadas e que não sofreram o processo de queimada.

FRITSCH (1986) *in* LEPRUN (1993) menciona que nas condições brasileiras, mais especificamente na Amazônia, após desmatamento, as taxas de escoamento superficial são multiplicadas por um número que vai de 1,5 a 3,3. Cita ainda que é preciso esperar 3 a 6 anos para que a capoeira ou o reflorestamento que substitui a floresta restabeleça a taxa de escoamento inicial, salvo sob as condições de pastagem, onde o aumento continua da ordem de 26%. Para o autor, 15 a 34% do aumento do escoamento superficial após o desmatamento ocorrem por conta da supressão da interceptação (aumento da chuva que chega ao solo), 9 a 18% são por conta da supressão da transpiração das plantas e 65 a 72% são diretamente por conta da degradação das características hidrodinâmicas da superfície dos solos após a passagem das máquinas pesadas com lâmina esquateladora e rolo-faca de 32 t, usada para desbravar certas áreas.

WILSON Jr. (1996) menciona: "a *suspensão natural*, embora seja formada tanto pela partículas do leito quanto pelas partículas provenientes da bacia hidrográfica, é constituída de sedimentos susceptíveis de existir no rio, na ausência de ação exterior. Portanto, *é possível estabelecer correlações entre a concentração de sedimentos da suspensão natural e o regime hidráulico do escoamento*. Ao contrário, as *suspensões poluentes*, não estando diretamente relacionadas com as condições hidráulicas, *podem surgir a qualquer momento, em qualquer lugar e provocar acumulações no trecho*". Ainda segundo WILSON Jr. (1996): "resulta que o *sedimento poluente não deve ser caracterizado por uma concentração de materiais em suspensão*, mas sim por sua *variação*, ou seja, pelo *acréscimo desta concentração no tempo e no espaço*. Ele só poderá ser quantificado, com precisão, se as características do transporte natural forem conhecidas".

Um dos parâmetros físicos da água mais afetados pelo aporte de sedimentos aos cursos d'água é a turbidez. Do ponto de vista sanitário AZEVEDO NETTO (1991) menciona que desinfetar águas com baixa turbidez mas com alto índice de coliformes é produzir uma água mais

turbidez

segura do que desinfetar águas com baixo índice de coliformes mas com alta turbidez. Águas com altas turbidez têm parte do cloro consumido no processo de oxidação da matéria orgânica, esta sem maior importância sanitária, pois os microrganismos podem sobreviver no interior de suas colônias. Águas de baixa turbidez não oferecem refúgio aos microrganismos eventualmente existentes e tóxicos, os quais são, então, eliminados com maior certeza.

Também, águas com alta turbidez afetam a entrada da luz na coluna d'água. Não havendo entrada de luz cai a produção primária do ecossistema, afetando toda a cadeia alimentar, inclusive com alterações nos padrões de produção e consumo de gases como oxigênio, gás carbônico, sulfatos, entre outros.

De todo o sedimento que chega até os canais de drenagem, uma parte é conduzida pela massa d'água em suspensão, especialmente o material particulado de granulometria mais fina, juntamente com os materiais oriundos do solo e já dissolvidos. Estas duas frações (sólidos particulados e sólidos dissolvidos) perfazem os sólidos totais em suspensão e compreendem tanto a fração mineral como a fração orgânica do sedimento.

O material particulado que é conduzido em suspensão pela massa d'água é constituído de partículas de várias granulometrias, a qual geralmente é função da competência de transporte do rio (CARVALHO (N. O., 1994), CHRISTOFOLETTI (1981)). Do volume total de sedimentos carreados uma fração, denominada sólidos sedimentáveis, é composta por particulados que decantam no momento que a água fica em estado de estagnação. Este parâmetro também é utilizado como indicador físico da qualidade da água e também é função do aporte de sedimentos aos cursos d'água. Baseando-se nestes parâmetros, juntamente com outros parâmetros físicos e ainda em alguns de natureza química, estabelece-se então a qualidade da água de um certo curso d'água (rio, represa, lago natural ou artificial). Estes parâmetros citados e descritos são de importância fundamental para o presente trabalho pois seus valores normalmente indicam com fidelidade o impacto do uso do solo sobre a qualidade d'água.

Objetivando-se caracterizar a qualidade da água conforme os valores dos parâmetros, estabelece-se faixas de valores para cada parâmetro. MOTA (1995) menciona uma série de faixas de valores para cada parâmetro, não só dos parâmetros descritos no presente trabalho mas para muitos outros físicos, químicos e/ou biológicos e estabelece classes de qualidade e seus usos mais recomendados, descritos resumidamente na TABELA 4.6.

sólidos
totais

TABELA 4.6 – Enquadramento de uso da água doce conforme sua classe:

Uso mais adequado	Classes				
	Esp	I	II	III	IV
Abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção.	X				
Abastecimento doméstico após tratamento simplificado.		X			
Abastecimento doméstico após tratamento convencional.			X	X	
Preservação do equilíbrio natural de comunidades aquáticas.	X	X	X		
Recreação de contato primário	X	X			
Irrigação de hortaliças que serão consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de películas (morango, por exemplo).	X	X			
Irrigação de hortaliças e plantas frutíferas	X	X	X		
Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras.	X	X	X	X	
Navegação			X	X	X

FONTE: MOTA (1995).

A seletividade na fase da remoção e transporte das partículas faz com que os sedimentos originados pela erosão, principalmente a laminar, sejam mais ricos em nutrientes, matéria orgânica e argila em relação ao solo que lhes deu origem, com taxas de enriquecimento bastante variáveis, porém sempre superior a dois (SPAROVEK, 1996).

Além do transporte de materiais sob o aspecto físico (partículas de solo), há também, simultaneamente, o arraste de elementos químicos pela água do escoamento superficial, ocorrendo então o empobrecimento químico do solo e contribuindo na aceleração do processo de eutrofização artificial dos corpos d'água atingidos pela água da enxurrada (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

A atividade agrícola vem sendo considerada como uma das principais fontes de fosfato e nitrogênio para os ecossistemas lacustres (BEASLEY, 1972; ESTEVES, 1988; HOLÝ, 1980; TIVY, 1990). Seu grau de interferência aumentou consideravelmente a partir de 1942, com a introdução de superfosfatos como meio de incrementar a produção agrícola. De acordo com dados europeus, perde-se, em áreas agrícolas adubadas, de 16 a 25% de nitrogênio e 0,7 a 1,4% de fosfato e a maior parte atinge os corpos d'água (VOLLENWEIDER, 1968 *in* ESTEVES, 1988).

ODUM (1988) mostra que para uma área que foi recentemente desmatada, o aporte de nitrogênio para os corpos d'água é cerca de 15 vezes mais do que quando era florestada, justamente devido a uma maior quantidade de água que flui para o riacho e que, na verdade, deveria ficar contida no solo se houvesse algum tipo de cobertura sobre a superfície.

McCAULL & CROSSLAND (1974), citam que vários estudos são realizados para determinar as fontes de nitrogênio e fósforo e a quantidade relativa de cada elemento que pode ser considerada de fontes naturais e comparadas com fontes ditas antrópicas. Para o lago Mendota em Madison - Wisconsin, verificou-se que 36% do fósforo originou-se de fontes de resíduos industriais e municipais, 17% de escoamento superficial urbano, que incluem produtos como fertilizantes de jardins, 42% de escoamento superficial de áreas cultivadas, reflorestadas, pastagens, adubos e drenagem de silos e estábulos, 2% de precipitação e 2% de água subsuperficial. Por outro lado 10% do nitrogênio que entrou no lago derivou de resíduos municipais e/ou industriais; 6% de escoamento superficial urbano, 11% de escoamento superficial de áreas rurais, 20% de precipitação; 52% originou-se de água subsuperficial; 0,4% de fixação de nitrogênio e algumas frações derivaram-se de várias fontes relacionadas com a contaminação de fertilizantes com nitrato. Diferentes estudos refletem algumas variações na proporção de nitrogênio e fósforo relacionadas a suas respectivas fontes. Variações são esperadas de acordo com o nível e tipo de agricultura e indústria, o tamanho da cidade, o tipo de tratamento de resíduos na área em questão, conteúdo de atividades predominantemente antrópicas.

Dentre as várias formas de nitrogênio encontradas na natureza, as que mais facilmente são transportadas pelas águas do escoamento superficial são o nitrato (NO^{-3}) e o amônio (NH^{+4}) (PRADO FILHO & SELBACH, 1988) e são justamente estas formas que representam as principais fontes de nitrogênio para os produtores primários dos ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 1988). Quanto ao fosfato, entre os componentes principais do solo estão os minerais secundários em diferentes graus de intemperização. Entre as várias frações constituintes dos minerais secundários estão as argilas, que apresentam grande capacidade de adsorção de fosfato, principalmente aqueles que têm na sua constituição ferro e alumínio, como a hematita e a gipsita. A adsorção de fosfato às argilas pode compreender dois processos: 1º) ligação química da carga negativa do fosfato com a positiva das bordas das argilas e 2º) Substituição do fosfato por silicatos de argila (STUMM & MORGAN *in* ESTEVES (1988)).

Além dos elementos acima citados, muitas vezes ocorre também o transporte de outros elementos juntamente com os sedimentos. FONSECA *et al* (1996) verificaram alteração da composição granulométrica dos sedimentos e dos teores de nitrogênio, fósforo e carbono em mineração de bauxita da Amazônia.

4.7.2 – Erosão e sedimentação sob a óptica do impacto ambiental:

A degradação dos recursos naturais, principalmente do solo e da água, vem crescendo de forma alarmante, atingindo hoje, níveis críticos que se refletem na deterioração do meio ambiente, no assoreamento e na poluição dos cursos e dos espelhos d'água, com prejuízos para a saúde humana e animal, na destruição de estradas, de pontes e bueiros, na geração de energia, na disponibilidade de água para irrigação e para abastecimento na redução da produtividade agrícola, na diminuição da renda líquida e conseqüentemente, no empobrecimento da sociedade local, com reflexos danosos para a economia nacional (BARROS, 1956; BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Não obstante esses graves problemas sociais e econômicos terem a primazia no noticiário e nas providências a tomar, freqüentemente é ignorado o impacto dos deslocamentos de grandes volumes de sedimentos para os fundos de vale, onde, dentre os problemas que ocasionam, destacam-se os assoreamentos de várzeas, tornando inviável seu uso agrícola; alterações dos traçados dos álveos dos rios, obstrução de vãos de pontes e de bueiros, ocasionando extravazamentos nas enchentes (CRUZ *et al*, 1995).

Sedimentação em corpos d'água é uma das principais e mais sérias conseqüências do processo da erosão (MERTEN, 1995). Em reservatórios d'água de usinas hidrelétricas, uma parte deste reservatório é destinado ao acúmulo de sedimentos, porém na maioria dos reservatórios a taxa de sedimentação é tão elevada que o reservatório chega a perder 5% de sua capacidade de armazenamento de água por ano. No "design" de grandes reservatórios a parte destinada ao acúmulo de sedimento (volume extra do reservatório) gera um custo adicional para a construção do reservatório (BEASLEY, 1972).

BEASLEY (1972) menciona um exemplo de planejamento de um grande reservatório que foi feito no noroeste do estado de Missouri (EUA) e cita que, em função da necessidade da construção do reservatório incluindo o compartimento extra para estoque de sedimento, aumentou cerca de 22% o custo do projeto. Se práticas conservacionistas fossem efetivamente adotadas visando principalmente o controle do transporte de sedimento na bacia hidrográfica, tais custos de construção poderiam ser significativamente reduzidos.

Como exemplo brasileiro tem-se o caso da represa de Itaipu, onde para o ano 1982, estima-se que foram carregadas cerca de 12.500.000 toneladas de sedimento (SORRENSON & MONTOYA, 1989 *in* MERTEN, 1995).

A poluição e eutrofização de corpos d'água causados pela erosão e a formação de áreas pantanosas é um dos principais obstáculos para um efetivo controle da malária, encefalites e outras doenças transmitidas por vetores que requerem a ocorrência de água parada ou de pouca movimentação para desenvolver ao menos uma parte de seu ciclo biológico. O movimento de poluentes para açudes ou tanques, rios, lagos e reservatórios pela erosão e/ou escoamento superficial gera problemas na saúde pública se estas águas forem usadas para consumo ou recreação (BEASLEY, 1972).

4.8 - Bacia hidrográfica como objeto de investigação técnico-científica e como unidade de gestão ambiental:

Os trabalhos de manejo do solo e da água de maneira geral até hoje, têm sido decorrentes de ações isoladas em nível de propriedade agrícola, ressentindo-se, todos eles, de uma visão ampla do todo, isto é, do aproveitamento integrado dos recursos naturais: solo, água, flora e fauna (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Bacia hidrográfica ou bacia de drenagem é uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial. O limite de uma bacia hidrográfica é conhecido como divisor de drenagem ou divisor de águas. A bacia de drenagem pode desenvolver-se em diferentes tamanhos, que variam desde a bacia do Amazonas, até bacias com poucos metros quadrados que drenam para a cabeça de um pequeno canal erosivo ou, simplesmente, para o eixo de um fundo de vale não canalizado. Bacias de diferentes tamanhos articulam-se a partir de divisores de drenagens principais e drenam em direção a um canal, tronco ou coletor principal, constituindo um sistema de drenagem hierarquicamente organizado (COELHO NETO, 1994).

As bacias de drenagem podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias de drenagem, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor (COELHO NETO, 1994).

O gerenciamento de bacias hidrográficas vem se tornando um importante instrumento de conservação dos recursos naturais, principalmente nas situações atuais de grande pressão sobre o ambiente em função do crescimento populacional e do desenvolvimento.

No passado, alguns países em desenvolvimento promoviam estudos, classificações e atribuição de prioridades de atividades em bacias hidrográficas promovendo investigações de campo e manipulações manual de mapas, sempre com muita demora e muito custo (ASSIS, 1995). A utilização de sistemas de informação geográfica e recursos informatizados podem reduzir significativamente o tempo e o custo de tais atividades

(CALIJURI, 1996), além de fornecer resultados mais precisos e ainda permitir manipulações teóricas da paisagem, isto é, simulações de alteração de um ou mais fatores que compõem a paisagem que está sendo estudada e prever o acontecimento ou não de algum tipo de impacto ambiental.

Em termos de unidade de estudo e operação, a microbacia hidrográfica é a unidade espacial de planejamento mais apropriada por permitir um controle mais objetivo dos recursos humanos e financeiros, favorecendo a integração de práticas de uso e manejo do solo e da água e a organização comunitária. O trabalho em microbacias hidrográficas cria condições que tornam compatíveis as atividades produtivas com a preservação ambiental, permitindo um desenvolvimento sustentável (PEREIRA & MOLINARI, 1995).

O trabalho em microbacias hidrográficas é uma maneira eficiente de se gerar tecnologia regionalizada, difundir as práticas de manejo de solo, culturas, conservar os recursos naturais e contribuir para o desenvolvimento municipal e regional. Ainda, permite propor soluções para melhorar os sistemas de produção adotados pelo agricultor, bem como introduzir alternativas tecnológicas edafoclimáticas e sócio-economicamente viáveis ou que tenham potencial para a região. Contudo, a implantação das ações preconizadas a campo pode ser distorcida, gerando dificuldades que podem até invalidar uma tecnologia comprovadamente eficiente (CASTRO FILHO, 1994).

Cada vez mais observa-se a especialização dos estudos segundo a tipologia dos processos erosivos e locais de ocorrência, o que conduz à proposição de métodos diagnósticos específicos. Para áreas rurais, o diagnósticos tendem a ser realizados através de métodos que visam estabelecer a capacidade de uso das terras e indicar usos e manejos adequados, além de orientações pertinentes à estrutura fundiária, malha viária e outras formas de intervenção humana. Nas áreas urbanas, principalmente em suas zonas de crescimento, a tendência é realizar estudos de casos, partindo-se do cadastramento dos processos para o entendimento de seus condicionantes, objetivando soluções de contenção de erosões, reabilitação das áreas afetadas e definição de vetores críticos ou favoráveis à expansão urbana (STEIN, 1995).

NASCIMENTO (1995), tecendo alguns comentários sobre experiências obtidas com planos de manejo realizados em microbacias no estado do Mato Grosso do Sul, relata que houve aspectos negativos na gestão dos projetos, como: 1) descontinuidade de liberação de recursos financeiros, 2) pouco envolvimento de outras instituições, 3) lançamento do projeto gerou expectativa/frustração por parte dos executores e dos ocupantes da bacia, entre outros. Aspectos estes que merecem ser levados em consideração pelo corpo técnico/científico/político no momento do planejamento de sua execução, visando minimizá-los ou eliminá-los. Relatou também aspectos positivos obtidos tais como: 1) treinamento

técnico de produtores, 2) desaceleração do processo erosivo, 3) aumento da consciência conservacionista, 4) interesse de instituições financeiras internacionais. Ressaltou então que pontos como: dar continuidade ao projeto, promover investimentos em conscientização conservacionista e em educação ambiental; são aspectos fundamentais para que projetos desta espécie resultem em conclusões de caráter positivo e que sejam realmente efetivos.

4.8.1 – Estudos morfométricos de bacias hidrográficas:

No contexto de estudos de compreensão de fenômenos meteorológicos e hidrológicos que afetam os processos erosivos e sedimentológicos, CHRISTOFOLETI (1969) tece alguns comentários sobre análise morfométrica de bacias hidrográficas, ressaltando que a análise de aspectos relacionados à drenagem, relevo e geologia podem levar à elucidação e compreensão de diversas questões relacionadas à dinâmica ambiental local. Neste sentido cita-se que CHRISTOFOLETI (1970), GANDOLFI (1971), PIÃO (1995) e BELTRAME (1994) realizaram análise morfométrica das bacias hidrográficas que estudaram visando utilizar as informações obtidas como suporte para elucidar questões envolvidas em seus respectivos trabalhos.

Tais análises são realizadas geralmente baseando-se em informações extraídas de mapas, fotografias aéreas, imagens de satélite e, quando necessário, informações obtidas em campo. Basicamente são áreas, comprimentos, declividades e coberturas do solo medidos diretamente ou expressos por índices (TUCCI, 1997). A seguir estão descritos alguns dos principais parâmetros morfométricos de maior interesse para o presente trabalho, extraídos de CHRISTOFOLETI (1969), CHRISTOFOLETI *et al* (1981) e TUCCI (1997).

① *Área da bacia* - expressa geralmente em quilômetros quadrados (km²).

Perímetro da bacia - expresso em quilômetros (km).

Ordenamento dos canais (sistema de Strahler) - sistema de hierarquização de canais (rios). Para canais que não possuem tributários será adotada a ordem "1" ou primeira. Canais denominados de segunda ordem serão aqueles que recebem somente tributários de primeira ordem, independentemente do número de tributários. De terceira ordem serão aqueles que receberão dois ou mais tributários de segunda ordem, podendo também receber tributários de primeira ordem, e assim sucessivamente.

Segundo CHRISTOFOLETTI (1969), conforme a fonte de informação (e sua respectiva escala) utilizada para determinação deste

parâmetro há possibilidade de haver informações, tais como canais de drenagem não registrados pela documentação cartográfica, especialmente em escalas de 1:100.000 ou menores. O autor sugere até, por convenção, elevar em um grau a ordem hierárquica final das hidrografias cujo ordenamento foi realizado nesta modalidade de escala.

Número de canais – é o número total de rios.

Densidade hidrográfica - É a relação existente entre o número de rios ou cursos d'água e a área da bacia hidrográfica, sendo expresso pela fórmula:

$$Dh = \frac{N}{A} \quad (4.6)$$

Onde:

Dh: densidade hidrográfica (canais/ km²).

N: número total de rios.

A: área da bacia considerada (km²).

② *Densidade de drenagem* - Correlaciona o comprimento total dos canais com a área da bacia hidrográfica. Sendo considerados neste cálculo tanto os rios perenes quanto os rios intermitentes. A expressão é:

$$Dd = \frac{L}{A} \quad (4.7)$$

onde:

Dd: densidade de drenagem (km/km²).

L: comprimento total dos rios ou canais (km).

A: área da bacia considerada (km²).

Extensão do percurso superficial - Representa a distância média (metros) percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente, sendo que o resultado obtido é útil também para caracterizar a textura topográfica, que expressa um maior ou menor espaçamento entre os cursos d'água, considerando "grosseira" quando haver um amplo espaçamento entre os cursos d'água e "fina" quando haver um espaçamento estreito entre os cursos d'água. A expressão matemática é:

$$Eps = \frac{1}{2 * Dd} * 1000 \quad (4.8)$$

onde:

Eps: extensão do percurso superficial (m).

Dd: densidade da drenagem (km/km²).

Relação de bifurcação – É a relação entre o número de canais de determinada ordem e o número de canais de ordem imediatamente superior.

$$Rb = \frac{Nw}{Nw + 1} \quad (4.9)$$

onde:

Rb – relação de bifurcação.

Nw – número de canais de determinada ordem.

Nw + 1 - número de canais de ordem imediatamente superior.

CHRISTOFOLETTI (1969) menciona afirmação feita pelo autor do modelo de cálculo da relação de bifurcação (HORTON, 1945 *in* CHRISTOFOLETTI (1969)), o qual diz que o valor deste parâmetro é maior para áreas amorreçadas, com bacias de drenagem muito dissecadas, do que para bacias com áreas colinosas, sendo 3 a 4 para as primeiras e somente dois para as últimas. Entretanto, CHRISTOFOLETTI (1969) menciona ainda que STRAHLER ((1952), *in* CHRISTOFOLETTI (1969)) observa a não validade desta regra de relação, sugerindo ser mais consistente a regra de relação substrato geológico - relação de bifurcação.

Textura da topografia: Representa o grau de entalhamento e dissecação da superfície terrestre. É um indicador do estágio erosivo (geológico) da região, uma vez que as formas e o processo de evolução da textura da topografia varia conforme alguns fatores que atuam na drenagem. Para a textura da topografia a expressão é:

$$\log Tt = 0,219649 + 1,115 \log Dd \quad (4.10)$$

onde:

Tt: textura da topografia.

Dd: densidade da drenagem.

Coefficiente de manutenção - Tem como objetivo revelar a área mínima necessária (m^2) para a manutenção de um metro de canal com escoamento permanente.

$$Cm = \frac{1}{Dd} * 1000 \quad (4.11)$$

onde:

Cm - coeficiente de manutenção (m^2).

Dd - densidade de drenagem.

Altimetria - Caracterizada pela altitude mínima e máxima (em metros acima do nível do mar) ocorrentes na bacia e qual a faixa de altitude que predomina na área.

Rugosidade topográfica - Representa um índice utilizado na análise dimensional da topografia, combinando informações pertinentes à amplitude topográfica e à densidade de drenagem, sendo expressa pela equação:

$$R_t = H * Dd \quad (4.12)$$

onde:

R_t - Rugosidade topográfica.

H - amplitude altimétrica.

Dd - Densidade de drenagem.

Informações sobre morfometria de bacias hidrográficas localizadas no estado do Tocantins não foram encontradas junto a bibliografia pesquisada, especialmente sobre a bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria (área do presente estudo), sendo portanto um estudo pioneiro na região. Contudo, CHRISTOFOLETTI *et al* (1981) apresentam alguns dados obtidos em bacias hidrográficas localizadas no sul do estado Bahia e expressam as seguintes considerações sobre o valor interpretativo do parâmetro rugosidade do relevo:

- se a densidade hidrográfica aumenta enquanto o valor da amplitude topográfica permanece constante, a distância média entre o interflúvio e o canal será reduzida, acompanhada de aumento na declividade da vertente. Se o valor da amplitude topográfica aumenta enquanto a densidade de drenagem permanece constante, também aumentarão as

diferenças altimétricas entre o interflúvio e os canais e, em consequência, aumentará o valor da declividade das vertentes.

- os valores extremamente altos do índice de rugosidade ocorrem quando ambos os valores (da amplitude topográfica e da distância média dos interflúvios) são extremamente elevados, isto é, quando as vertentes são íngremes e longas.

Declividade predominante - Que faixa de declividade (em %) predomina na área. Juntamente com a análise altimétrica da área, serve para caracterizar a movimentação topográfica ocorrente na área drenada, pois o comportamento e a evolução da área drenada é função da gliptogênese exercida sobre determinada parcela territorial.

Índice de forma (K) - Representa a relação existente entre o perímetro da bacia e a área que ela possui. O número calculado independe da área considerada, dependendo apenas da forma da bacia. O menor valor possível a ser encontrado é 1,000, o que corresponderia a uma bacia circular (GANDOLFI, 1971). Tal parâmetro influencia a determinação do débito (vazão) e a intensidade de escoamento (MORISAWA (1962) in CHRISTOFOLETTI, (1970)). A expressão é:

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (4.13)$$

onde:

K - índice de forma.

P - perímetro da bacia.

A - área da bacia.

CHRISTOFOLETTI (1974) cita um outro modelo de cálculo do índice de forma:

$$I_f = 1 - \frac{(\text{área}K \cap L)}{(\text{área}K \cup L)} \quad (4.14)$$

onde:

K - área da bacia

L - área da figura considerada (círculo, triângulo, retângulo).

Para este método, quanto menor for o índice, mais próxima da figura geométrica respectiva estará a forma da bacia.

Atualmente os parâmetros área, perímetro, altimetria e declividade são possíveis de serem calculados e expressos em mapas ou tabelas a partir de modelos de elevação digital de terrenos, elaborados em softwares de sistemas de informação geográfica.

4.9 - Sedimentologia em bacias hidrográficas:

Os problemas derivados dos sedimentos se avolumam à medida que há maior desenvolvimento e ocupação do espaço geográfico. No entanto, estudos e pesquisas em sedimentologia são realizados com lentidão. Isto se deve ao fato de que a maioria das consequências não é imediata, aparecendo a descrença ou o descaso (BEASLEY, 1972; CARVALHO, N. O., 1994). É importante frisar também que campanhas de trabalhos sedimentológicos, compreendendo coletas regulares de dados e amostras, trabalhos de laboratório, processamento de dados e estimativas de parâmetros são custosos do ponto de vista de tempo, recursos e também trabalhosos.

Estudos sedimentológicos são particularmente importantes para o Brasil, em razão de que os sistemas elétricos do país são de base predominantemente hidráulica. Atualmente mais de 95% da energia elétrica por nós consumida provêm de fontes hidráulicas, cujo papel de destaque deverá se manter ao longo das próximas três ou quatro décadas (ALMEIDA e CARVALHO, 1993 *in* CARVALHO, 1998).

4.9.1 – Dinâmica hidrossedimentológica:

Os sedimentos que chegam ao curso d'água têm diversas granulometrias e sofrem um processo de transporte variado de acordo com as condições locais e do escoamento. As forças que atuarão sobre a partícula podem mantê-la em suspensão ou no fundo do rio, saltando do leito para o escoamento, deslizando ou rolando ao longo do leito (CARVALHO, N. O., 1994). Essa situação é função do tamanho da partícula, do peso e forma; é também função da forma de escoamento, se laminar ou turbulento, da velocidade da corrente, dos obstáculos no leito e de diversas outras funções que estão inter-relacionadas, como declividade do leito, temperatura da água, entre outras (CHRISTOFOLETTI, 1981).

CHRISTOFOLETTI (1981) e CARVALHO (N. O., 1994) citam que, em geral, a carga em suspensão é a fração mais fina do material do leito (silte e argila) e é mantida suspensa pela ação de turbulência do fluido, enquanto que a fração areia, conforme varia sua faixa granulométrica, possui gradientes de distribuição ao longo da coluna d'água, geralmente havendo maior concentração na região próxima do leito.

CHRISTOFOLETTI (1981) apresenta um gráfico (FIGURA 4.5) que mostra a velocidade deposicional em relação ao diâmetro das partículas, em situações que favoreçam a deposição.

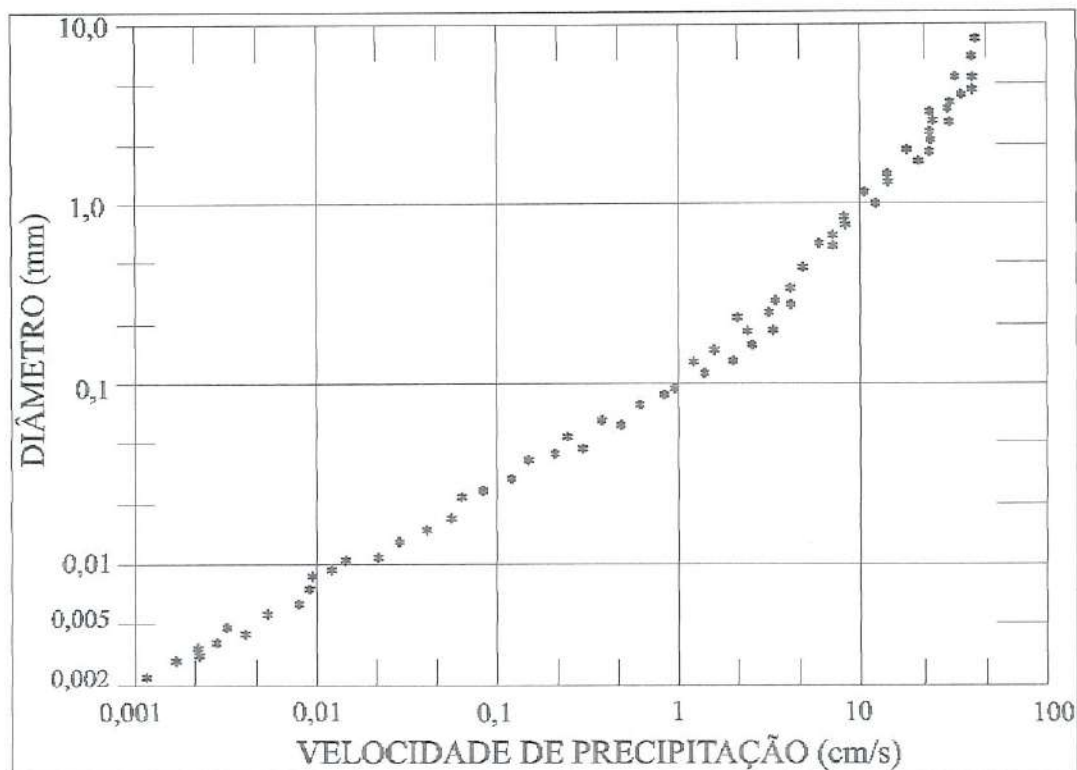


FIGURA 4.5 – Relações entre a velocidade de precipitação e o diâmetro da partícula, para sedimentos arenosos. (FONTE: LANE, 1938 in CHRISTOFOLETTI, 1981).

Segundo CHRISTOFOLETTI (1981), a composição química das águas fluviais varia conforme a litologia, vegetação e utilização da bacia hidrográfica.

A proporção existente entre sólidos dissolvidos e sólidos particulados possui variação entre os cursos d'água pelo mundo. CHRISTOFOLETTI (1981) cita que para os rios brasileiros a carga particulada geralmente é bem maior que a carga dissolvida.

No conjunto global da superfície terrestre, considera-se o cálcio como o elemento transportado em solução que, sob a forma de bicarbonato, é quimicamente estável durante o tempo envolvido no transporte fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1981). Entretanto, LEINZ & AMARAL (1989), citam uma tabela (TABELA 4.7) que mostra a relação dos principais constituintes das substâncias dissolvidas nas águas de rios e lagos de toda a Terra.

TABELA 4.7 – Quantidade média das substâncias dissolvidas nas águas dos lagos e rios de toda a Terra:

Substância	Concentração (mg/l)
CO ₂	51,2
Ca ⁺⁺	29,8
SO ₄ ⁻	17,7
SiO ₂	17,1
Cl ⁻	8,3
Na ⁺	8,4
Mg ²⁺⁺	5,0
(Al,Fe) ₂ O ₃	4,0
K ⁺	3,1
NO ₃ ⁻	1,3
TOTAL	145,9

FONTE: POLDERVAART (1955) in LEINZ & AMARAL (1989).

Tratando-se da relação entre carreamento de sedimentos e clima, CHRISTOFOLETTI (1981) menciona que nas épocas chuvosas, quando há abastecimento acentuado do escoamento superficial, ocorre diminuição da concentração de sais dissolvidos por unidade de volume; nas épocas secas, quando o abastecimento fluvial é mantido pela contribuição subterrânea, representando o fluxo de base ou de vazante, a concentração de sais dissolvidos torna-se mais elevada.

Quanto a fração particulada a maior quantidade carreada ocorre na época chuvosa. Foi verificado que 70 a 90% de todo o sedimento transportado pelos cursos d'água ocorre no período de chuvas, principalmente durante as fortes precipitações (CARVALHO, N. O., 1994).

De maneira geral, as formas de transporte sólido são divididas em três grupos:

1) *Carga sólida do leito ou de arrasto*: São as partículas de sedimento que rolam ou escorregam longitudinalmente no curso d'água. As partículas estão em contato com o leito praticamente todo o tempo.

2) *Carga sólida saltitante*: São as partículas que pulam ao longo do curso d'água por efeito da correnteza ou devido ao impacto de outras partículas. O impulso inicial que arremessa uma partícula na correnteza pode ser devido ao impacto de uma na outra, o rolamento de uma por cima da outra ou o fluxo de água sobre a superfície curva de uma partícula, criando assim uma pressão negativa.

3) *Carga sólida em suspensão*: São as partículas que estão suportadas pelas componentes verticais das velocidades do fluxo turbulento, enquanto estão sendo transportadas pelas componentes horizontais dessas velocidades, sendo pequenas suficientemente para permanecerem em suspensão, subindo e descendo na corrente acima do leito. Geralmente este grupo de sedimento representa a maior quantidade da carga sólida do curso d'água, podendo corresponder a 99% de toda a carga sólida (CHRISTOFOLETI, 1981).

Os três grupos de sedimentos quantificados simultaneamente perfazem a *descarga sólida total ou vazão sólida*.

CARVALHO (N. O., 1994) menciona também que valores como descarga sólida em suspensão, de arrasto, total e outros parâmetros derivados dos estudos, como produção de sedimentos e altura de degradação dos solos, gradação de leitos de rios ou a degradação desses leitos são de aplicação em muitas áreas de estudo, como por exemplo:

- O conhecimento da descarga sólida em suspensão e da concentração é muito importante nos estudos de tratamento d'água para abastecimento e em estudos ambientais ligados à flora e fauna fluvial.

- A concentração e descarga em suspensão são importantes em estudos de irrigação.

- Descarga em suspensão, total, concentração e parâmetros derivados de estudos são importantes na preparação do diagnóstico sedimentológico de uma bacia hidrográfica.

✂✂ 4.9.2 - Erosão e sedimentação sob a óptica do ciclo sedimentológico:

A quantidade total de material removido numa bacia hidrográfica é conhecida como erosão bruta ou erosão total, que inclui material particulado e dissolvido. Contudo, nem todo o material que é destacado de seu local de origem é transportado para fora da bacia, dado o grau de seletividade de grãos que cada modalidade de erosão possui no processo de remoção e transporte e também dada a dinâmica hidrológica dos canais de drenagem da área em questão.

A erosão referente somente ao sedimento carregado para fora da área de drenagem é denominada erosão efetiva. Contudo, alguns autores denominam "erosão efetiva" como contribuição ou produção de sedimento ou ainda rendimento sólido. Essa produção de sedimento, quando considerada para jusante do ponto de medição e comparada com a

quantidade de material removido na área, é denominada de taxa de transferência ou coeficiente de remoção de sedimento (CARVALHO, N. O., 1994; HAAN *et al.*, 1994).

* Com relação ao gradiente granulométrico existente nos cursos d'água de uma bacia hidrográfica, é possível observar que as cabeceiras dos rios são compostas por sedimentos de tamanhos maiores, como pedras, pedregulhos e seixos. À medida que são transportados, esses materiais vão se fracionando, transformando-se em sedimentos de granulometria menor, passando a areia grossa, média e fina gradativamente para jusante, para o baixo curso (CARVALHO, N. O., 1994).

O comportamento de uma bacia em relação ao sedimento é muito variável desde as partes altas até as planícies. Isso depende das rochas e solos, da cobertura vegetal, das declividades do regime de chuvas, bem como de diversos outros fatores (CARVALHO, N. O., (1994); ZACHAR, (1982)). De uma forma geral, na alta bacia há maior erosão e transporte de sedimentos. A erosão vai diminuindo da alta para a média bacia à medida que as declividades decrescem e as chuvas se tornam menos intensas, fora das regiões montanhosas. Na parte baixa da bacia há muita formação de colúvios, isto é, a maior parte dos sedimentos erodidos se distribuindo nos terrenos. Vê-se, então, que a degradação dos solos predomina na alta bacia, enquanto que a agradação predomina na parte baixa. (CARVALHO, N. O., 1994).

Em relação ao transporte de sedimentos do rio principal, a carga em suspensão é predominantemente maior que a do fundo (90 a 95%) no alto curso, a carga de fundo vai crescendo à medida que a erosão da bacia vai diminuindo e a declividade do curso d'água também (65 a 90% de sedimento em suspensão). A porcentagem de sedimento em suspensão e do leito é muito dependente da granulometria do sedimento transportado. Assim, quando há uma grande quantidade de areia, a porcentagem de sedimento transportado no leito pode até mesmo ser maior que o sedimento em suspensão (CARVALHO, N. O., 1994).

4.9.3 – Métodos de estimativas de descarga sólida e de estimativas de coeficientes sedimentológicos:

Existem vários métodos de efetuar a medição da descarga sólida em rio, quer seja de algum grupo específico de sedimento (faixa granulométrica específica) ou mesmo a descarga sólida total. Os métodos são divididos em dois grandes grupos:

1) *Métodos diretos*: são as determinações realizadas no campo (*in situ*) com equipamentos que obtém a concentração como valor imediato ou através da medição da turbidez ou ainda através da instalação de equipamentos que acumulam sedimentos no próprio local.

Apesar do índice de turbidez da água ser, muitas vezes, utilizado para estimar a concentração de sólidos na água e posteriormente realizar a estimativa do transporte de sedimentos de uma região (CARVALHO, N. O., 1994), RILEY (1998) menciona que índices de turbidez raramente possuem relação satisfatória com a concentração da fração fina de sedimentos e quase nunca com a fração grosseira (areia, principalmente). Discorre ainda que não é recomendável o uso do índice de turbidez da água para relacionar: turbidez - concentração de sedimentos - estimativa de erosão, uma vez que a relação entre turbidez e concentração de sedimentos geralmente é muito pobre e isto comprometeria a qualidade da estimativa de taxas de erosão para determinados locais.

2) *Métodos indiretos*: São métodos onde a análise é feita coletando-se amostras e realizando as determinações em laboratórios.

O cálculo da descarga sólida pode ser realizado utilizando-se vários métodos, conforme o objetivo do estudo, porte do corpo-d'água, concentração de sedimento na água, entre outros fatores.

Um dos principais métodos já desenvolvidos é o chamado "método simplificado de Colby" (CARVALHO, N. O., 1994). Trata-se de um método simples que requer relativamente poucos dados de campo (descarga líquida, velocidade média de escoamento, profundidade média do rio, largura da secção e concentração medida de sedimento em suspensão) (CARVALHO, N. O., 1994). A descarga sólida total é calculada pelas seguintes equações:

$$Q_{st} = Q_{sm} + Q_{nm} \quad (4.15)$$

$$Q_{sm} = 0,0864 * Q * C'_s \quad (4.16)$$

$$Q_{nm} = q'_{nm} * K * L \quad (4.17)$$

sendo:

Q_{st} - descarga sólida total, em t/dia.

Q_{sm} - descarga sólida medida, em t/dia.

Q_{nm} - descarga sólida não medida, em t/dia.

Q - descarga líquida, em m³/s.

C'_s - concentração medida, em ppm.

L - largura do rio, em m.

q'_{nm} - descarga sólida não medida aproximada por metro de largura.

K - fator de correção.

Os componentes " q'_{nm} " e " K " são determinados utilizando-se três ábacos os quais requerem informações sobre velocidade, profundidade média e concentração de sedimento. Estes ábacos foram obtidos pelo autor do método por um desenvolvimento semi-empírico, baseado em experiências sobre diversos processos de cálculos de descarga sólida, principalmente no método modificado de Einstein e medições em diversos rios (CARVALHO, N. O., 1994).

Uma vez tendo a quantidade de sedimento estimado por unidade de área e por unidade tempo, pode-se enquadrar o local de medição (bacia hidrográfica), conforme suas características da carga anual em suspensão por unidade de área, débito fluvial anual (vazão) e concentração de sedimentos por volume de água, conforme é visto na FIGURA 4.6.

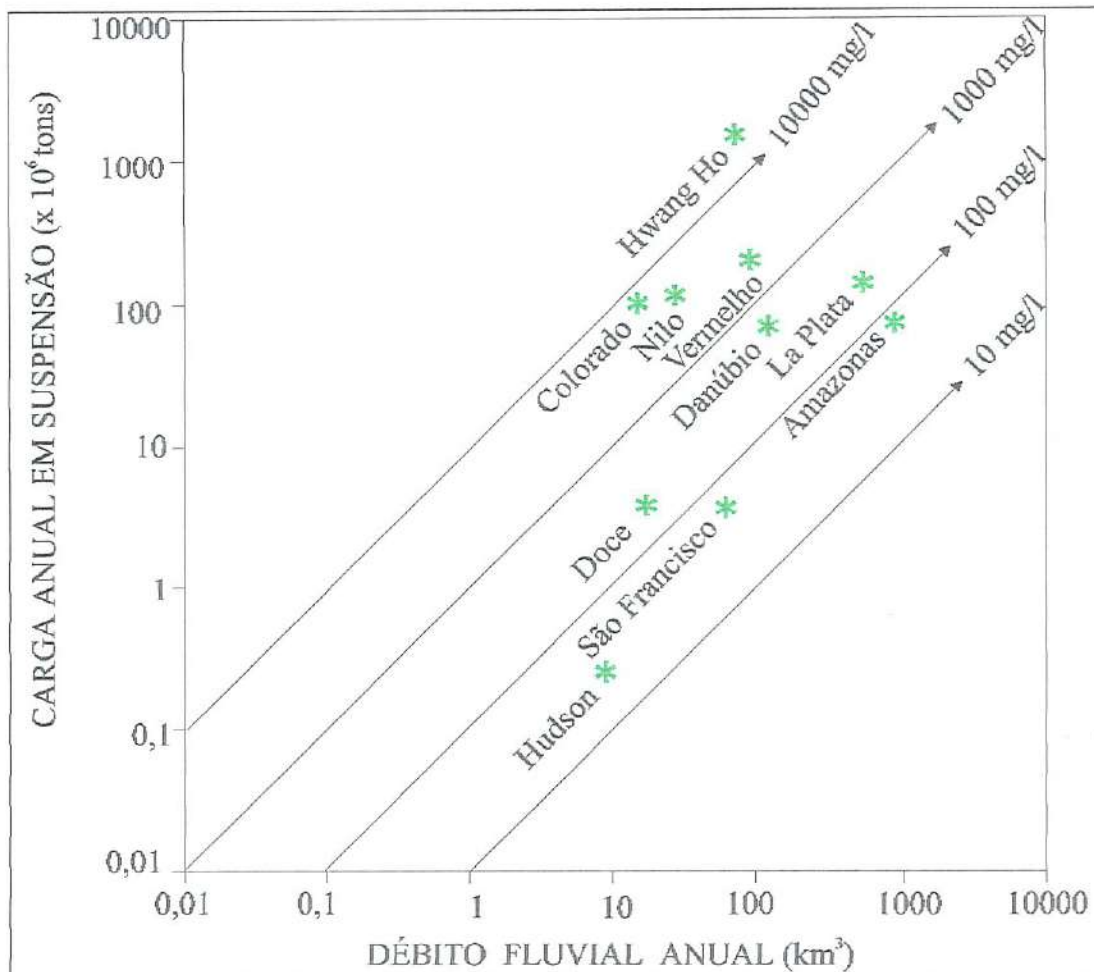


FIGURA 4.6 – Comparação entre o escoamento, a carga em suspensão e a concentração de sólidos na água para alguns rios do mundo (FONTE: CHRISTOFOLETTI (1981)).

4.9.3.1 – Produção específica líquida de sedimento:

Segundo CARVALHO (N. O., 1994), com as informações sobre o deflúvio sólido anual e conhecendo-se o valor da área de drenagem da bacia contribuinte, é possível estimar-se o coeficiente chamado *produção específica líquida de sedimentos* (ou simplesmente produção de sedimentos) dentro de um intervalo de tempo, podendo ser referida a um ano ou a valores médios de produção específica de vários anos. A FIGURA 4.7 mostra a relação encontrada para a produção específica líquida com a área de drenagem. A expressão matemática é:

$$Ps = \frac{Ds}{A} \quad (4.18)$$

onde:

Ps - produção específica de sedimentos ($t \cdot (km^2)^{-1} \cdot ano^{-1}$).
 Ds - deflúvio sólido anual ($t \cdot ano^{-1}$).
 A - área de drenagem da bacia contribuinte (km^2).

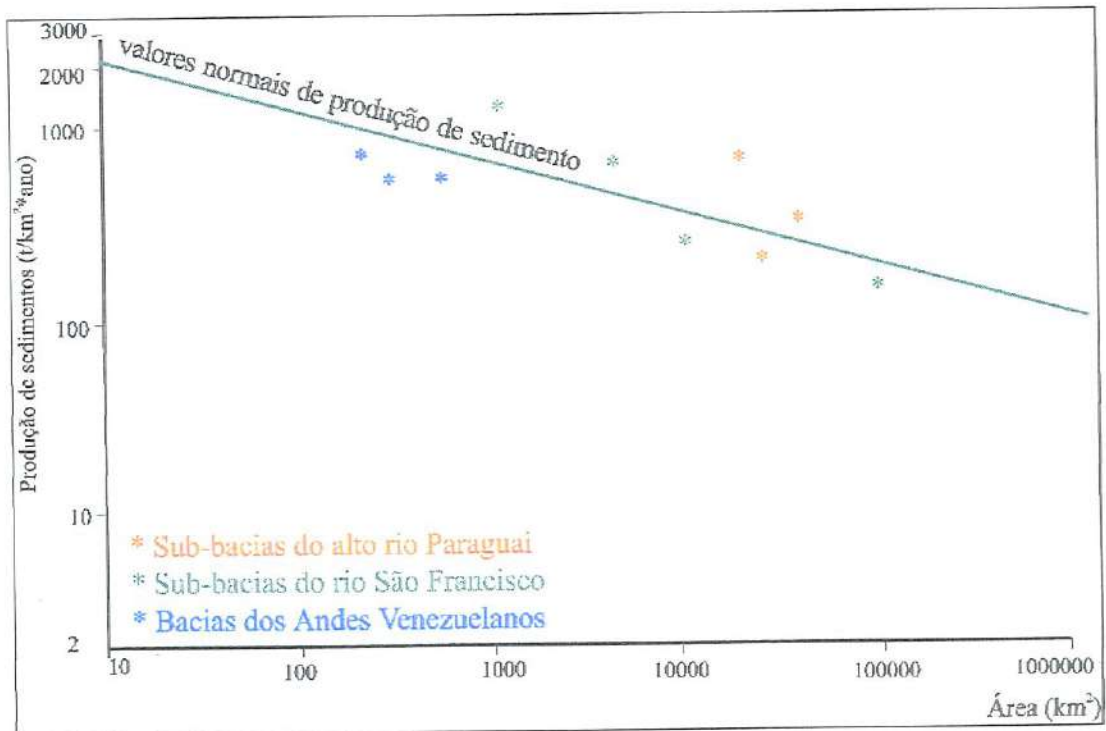


FIGURA 4.7 – Relação entre a área de drenagem e a produção específica de sedimento (reta) e alguns exemplos de estimativas. (FONTE: CARVALHO, N. O., 1994).

4.9.3.2 – Coeficiente de remoção de sedimento:

Outro parâmetro de informação sedimentométrica é o “coeficiente de remoção de sedimentos” ou “razão de transferência”, ou seja, é a relação entre a quantidade de carga sólida medida na seção transversal do curso d’água e a quantidade total de erosão da bacia contribuinte. É expressa, segundo CARVALHO (N. O., 1994) em fração ou em porcentagem.

A equação 4.19 compreende um método de estimativa deste coeficiente:

$$CR = \left(\frac{P.S.}{Er} \right) * 100 \quad (4.19)$$

onde:

CR – coeficiente de remoção de sedimento (%).
 P.S. – produção sólida total ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$).
 Er – quantidade total de material que foi removido pela erosão
 ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$).

O mesmo autor apresenta ainda uma outra expressão matemática para obtenção deste parâmetro, baseado em ajuste de área:

$$DR = \frac{a}{A^b} \quad (4.20)$$

onde:

DR - coeficiente de remoção de sedimentos.
 a - constante.
 A - área da bacia.
 b - expoente.

A equação 4.20 resulta um gráfico o qual foi gerado a partir de várias estimativas realizadas a partir da equação 4.19, sendo que na obtenção da linha de tendência geral (elaborada por BOYCE (1975) e apresentada por HAAN *et al*, 1994), o modelo usado para estimativa da perda de solo foi a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). Relacionou-se o coeficiente de remoção com a área da bacia, gerando o gráfico da FIGURA 4.8.

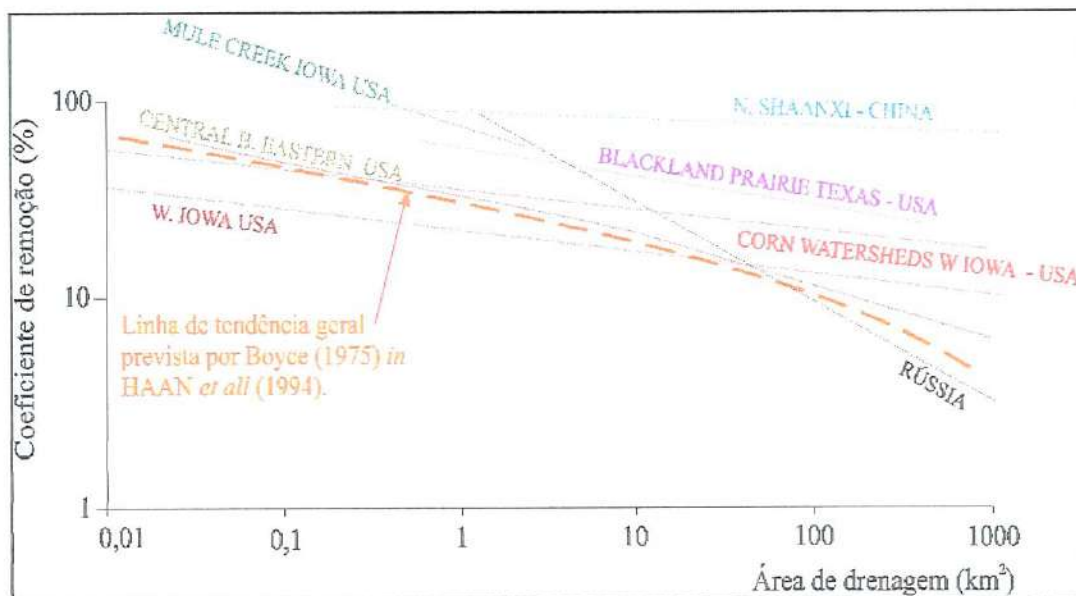


FIGURA 4.8 – Coeficiente de remoção de sedimento *versus* área de drenagem para uso com a EUPS. (FONTES: gráfico: CARVALHO (N. O., 1994), linha de tendência geral: HAAN *et al* (1994)).

Ainda segundo CARVALHO (N. O., 1994), para pequenas bacias (até 1000 km²), o valor de CR tem sido investigado, enquanto que para grandes bacias este valor é de difícil previsão. Segundo diversos autores, em bacia de tamanho médio a quantidade de sedimentos que chega ao oceano pode ser 25% da erosão contribuinte, enquanto que para grandes bacias essa quantidade diminui para cerca de 10%. Conforme o exposto, verifica-se que o valor varia de 1, ou 100%, para bacias muito pequenas (até 0,002 km²), diminuindo até 0,25, ou 25%, para bacia de tamanho médio (como 100.000 km²) e chegando a 0,1 ou 10%, em grandes bacias. Constatou-se, ainda, que em qualquer bacia o valor de DR vai diminuindo de montante para jusante.

Descrevendo um outro método, CARVALHO (N. O., 1994) menciona que os fatores que mais afetam o coeficiente de remoção são: relevo, área de drenagem, disposição e extensão do curso d'água, razão de bifurcação, razão relevo-comprimento e densidade de drenagem. O autor cita uma equação desenvolvida para a região sudeste de Piedmont (EUA):

$$\log DR = 4,50047 - 0,23043 * \log 10A - 0,51022 * \log R - 2,78594 * \log B \quad (4.21)$$

onde:

DR – coeficiente de remoção, em %.

A – área de drenagem, em km².

R – razão relevo-comprimento.

B – média ponderada da razão de bifurcação.

HAAN *et al* (1994) discorrem sobre a trajetória da partícula de sedimento e mencionam que entre o ponto onde a partícula de solo (ou sedimento) é destacada até o ponto onde ocorre sua deposição, normalmente ocorrem vários pontos onde poderia haver a deposição, reduzindo então a quantidade de sedimento que passa numa seção transversal de um canal em relação a quantidade de solo que é removido desde seu local de origem, daí então surgindo o conceito do termo “coeficiente de remoção de sedimentos”. Comentam que trata-se do parâmetro de menor grau de conhecimento dentre todas as áreas da sedimentologia. Os autores citam outras metodologias para estimativa deste coeficiente, algumas descritas a seguir:

Relação relevo-comprimento: O grau de canalização mostra com que eficiência o sedimento erodido pode ser transportado sobre o sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica. Uma bacia com rico sistema de drenagem transportará maiores quantidades de sedimento para fora da bacia, enquanto que uma bacia constituída de um pobre sistema de drenagem transportará o sedimento mais lentamente, ocorrendo muitas

opções para deposição (RENFRO, 1975 *in* HAAN *et al*, 1994). Uma medida do grau de canalização é conhecida como razão relevo-comprimento, calculado pela fórmula:

$$RC = \frac{D.A}{C} \quad (4.22)$$

onde:

RC – razão relevo – comprimento.

D.A. – diferença de altitude entre cota altimétrica do divisor de água do ponto mais próximo a nascente do principal curso d'água e cota altimétrica do principal curso d'água na desembocadura para rio da bacia subsequente.

C – comprimento do principal curso d'água ao longo de todo seu percurso.

O valor obtido neste cálculo é plotado no eixo das abcissas da FIGURA 4.9 e com o auxílio da curva previamente elaborada obtém-se o valor estimado do coeficiente de remoção de sedimento. Esta curva terá variação entre localidades, sugerindo a elaboração de curvas para cada caso específico.

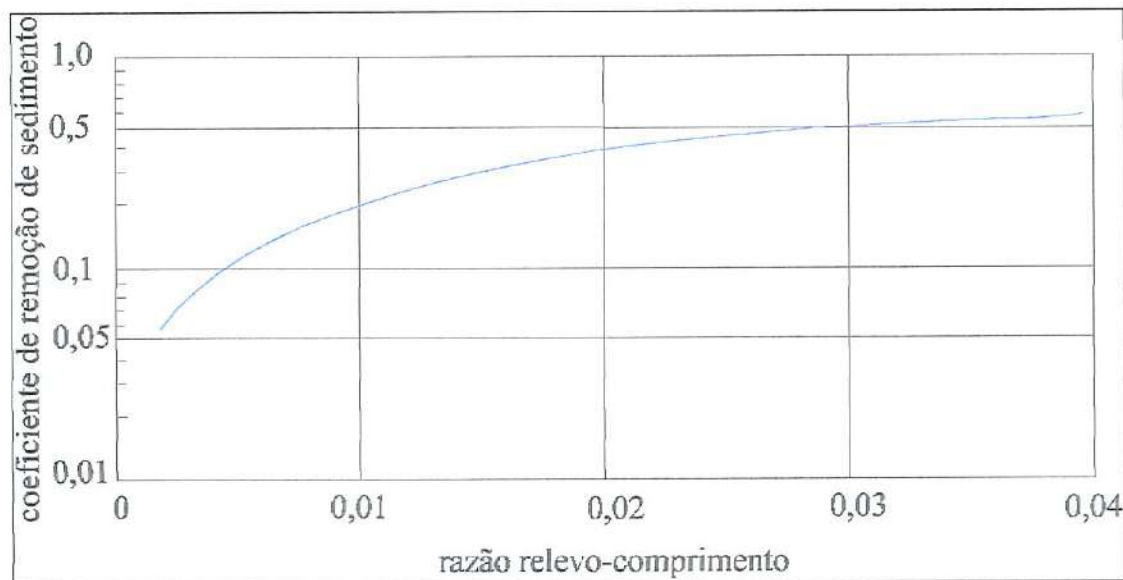


FIGURA 4.9 – Efeito da razão relevo-comprimento no coeficiente de remoção de sedimento (fração) para uso em estimativas com a EUPS. (FONTE: HAAN *et al* (1994)).

Modelo do índice DR desenvolvido pelo Serviço Americano Florestal em 1980: O Serviço Florestal dos Estados Unidos desenvolveu uma metodologia para estimativa da razão de remoção de sedimento que pode ser usada para um simples evento chuvoso. O método utiliza um diagrama para estimar o coeficiente, sendo esta função dos seguintes parâmetros, todos expressos em unidades inglesas de medidas:

- **Distância de transporte de uma encosta para um canal:** distância (em pés (ft)) que a partícula de solo (sedimento) tem de percorrer entre o ponto de origem até o rio (canal).

- **Forma da encosta:** É um fator que considera a influência da forma – côncava, convexa ou retilínea – no coeficiente de remoção de sedimento. Esta forma é a forma adquirida pela encosta entre o local de origem do sedimento e o canal. Um valor igual a zero é atribuído aos casos onde a encosta tem a forma convexa e quatro para uma encosta plenamente côncava.

* **Porcentagem de cobertura do solo:** Refere-se a porcentagem de cobertura da superfície considerada entre o local de origem do sedimento e o canal. É considerado principalmente coberturas como a serapilheira disposta no assoalho florestal ou situações semelhantes. Atribuir-se-á valor zero para casos onde a superfície do solo estiver plenamente descoberta e 100 para casos com cobertura plena (florestas não impactadas, por exemplo).

- **Granulometria do material erodido e transportado:** É um parâmetro que reflete o tamanho das partículas de sedimento e sua influência no transporte. O valor é a porcentagem de partículas de diâmetro menor que 0,05mm (silte e menores). Valor igual a 100% indica que todas as partículas são silte ou menores.

- **Fator escoamento superficial:** É dado pelo pico de descarga (cfs/ft) e define a quantidade de água de uma chuva que é necessária para transportar sedimento. No caso de não constar dados sobre este parâmetro, este pode ser estimado pela expressão:

$$F = 2,31 * 10^{-5} * \sigma * L \quad (4.23)$$

onde:

VER
HAAN

F- taxa de escoamento superficial pela largura da encosta (cfs/ft).

σ - é o excedente hídrico (in/h).

L - comprimento da área de drenagem abrangida pela chuva (ft).

* Para valores maiores que 0,1 será assumido valor igual a 0,1.

- **Declividade da encosta:** É a declividade média (%) da rampa considerada entre o local de origem do sedimento e o canal.

- **Fator rugosidade da encosta:** É um índice subjetivo que expressa a influência da rugosidade da encosta no valor final do coeficiente. Valor nulo (zero) indica superfície lisa enquanto valor 4 indica superfície extremamente rugosa.

Uma vez obtido o valor para cada fator, estes são plotados no diagrama mostrado na FIGURA 4.10. Após a plotagem do valor de cada parâmetro no seu respectivo eixo, é feita a interpolação com linha reta entre cada ponto, gerando um polígono. Calcula-se a área deste polígono e também a porcentagem que o polígono ocupa em relação a área total (contorno do quadrado).

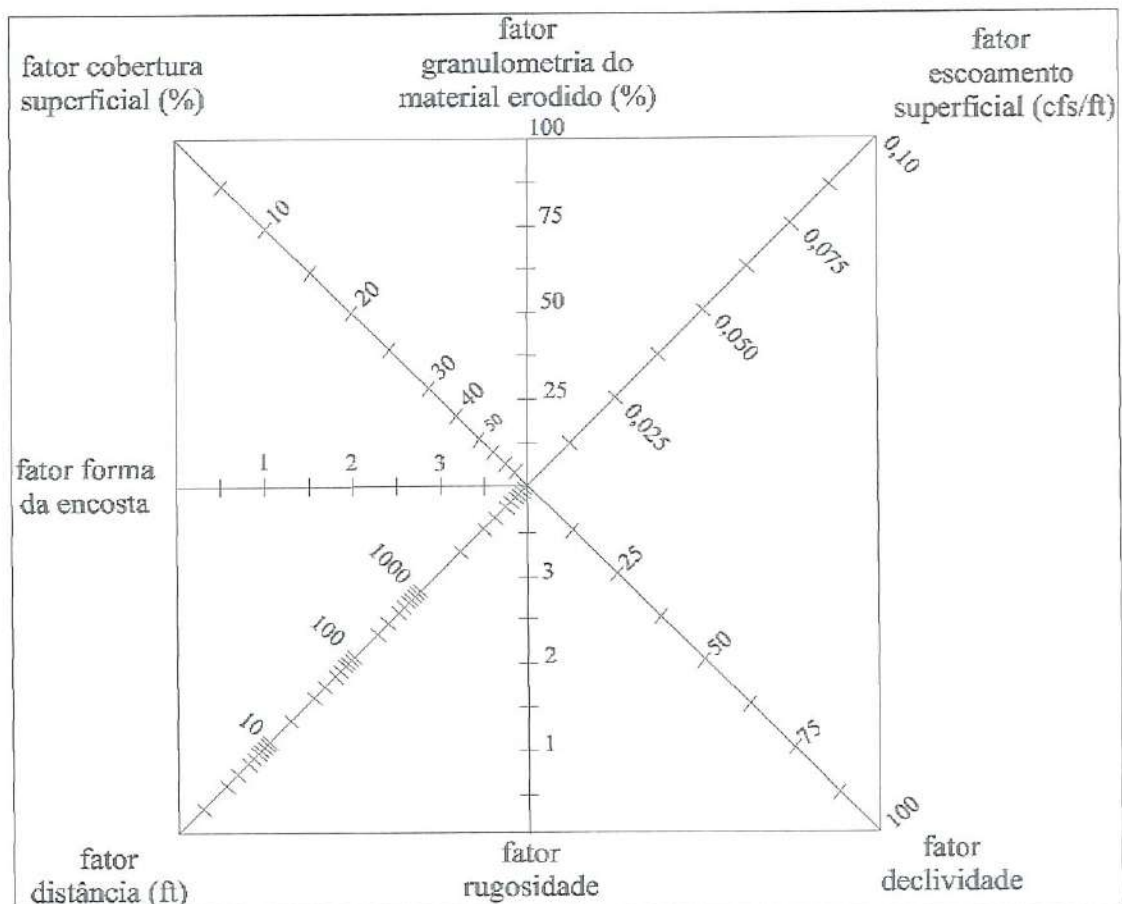


FIGURA 4.10 – Diagrama para estimativa do coeficiente de remoção para posterior aplicação na EUPS. (FONTE: HAAN *et al* (1994)).

O valor desta porcentagem é plotado no eixo das abscissas da FIGURA 4.11 e através da curva previamente elaborada é observado o valor do coeficiente de remoção de sedimento.

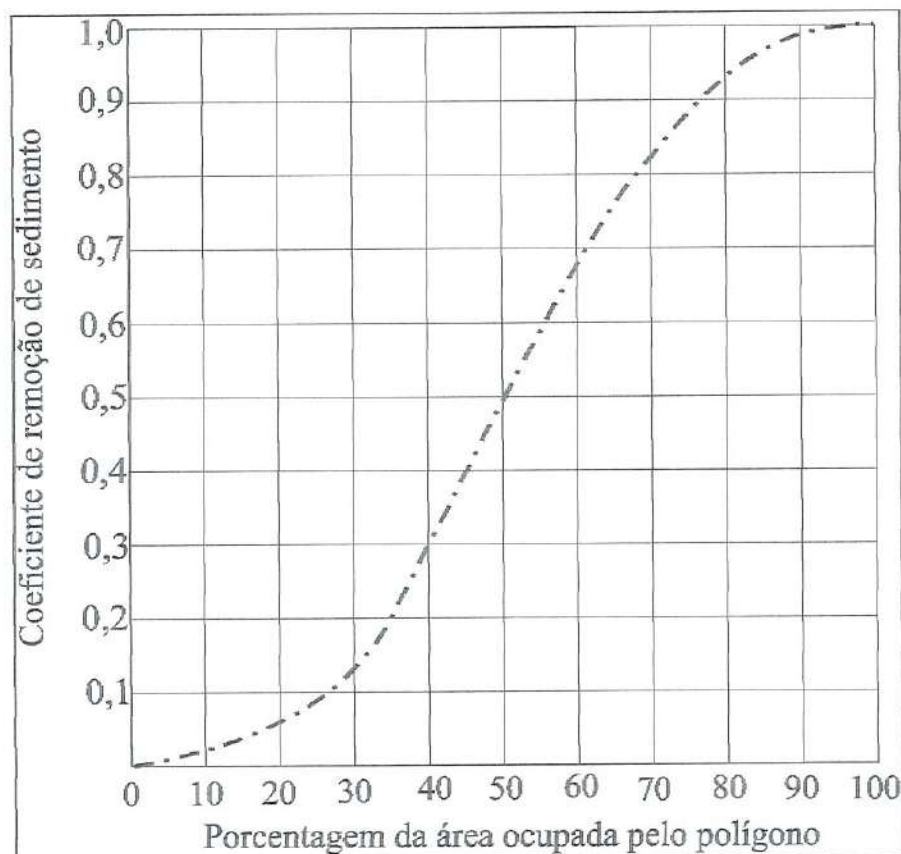


FIGURA 4.11 – Diagrama de conversão da porcentagem da área do polígono da figura anterior para o valor do coeficiente de remoção de sedimentos. (FONTE: HAAN *et al* (1994)).

Ilustrando um dos modos de aplicação deste coeficiente, menciona-se que WISHMEIER & SMITH (1978) apresentaram, resumidamente, um método de predição da quantidade de sedimentos transportados de uma bacia hidrográfica baseado na estimativa da erosão e no coeficiente de remoção. O método foi desenvolvido pelo Serviço Nacional de Conservação do Solo dos Estados Unidos e a equação é:

$$Y = \frac{E(DR)}{W_s} \quad (4.24)$$

onde:

Y = quantidade de sedimento transferido por unidade de área.
 E = erosão total (incluindo todas as formas de erosão
 ocorrentes na bacia).

DR = razão de transferência de sedimento.

Ws = área da bacia acima do ponto em que o fluxo de
 sedimento é computado.

Para o termo "DR" os autores citam que os valores desta taxa são: 0,33 para 0,50 mi² (1,71 km²), 0,18 para 10 mi² (34,29 km²) e 0,10 para 100 mi² (342,99 km²). Apesar de citar estes valores, há um comentário no sentido de que estes valores podem variar substancialmente para bacia de áreas semelhantes e situadas em diferentes localidades.

4.10 - Atividades conservacionistas e de reabilitação de ambientes degradados pela erosão e conseqüentemente pelo transporte e deposição de sedimentos:

Pelo conteúdo de informações já exposto sobre a problemática da erosão, julgou-se oportuno adicionar este item a fim de reforçar alguns pontos já mencionados ao longo do texto e também de apresentar, de forma sucinta, alguns procedimentos utilizados no sentido de minimizar o impacto da erosão.

Antes de iniciar o texto propriamente dito, convém mencionar duas importantes frases citadas em FIGUEIREDO (1994):

1) Na maioria dos casos, a atitude de conservar acaba sendo muito mais barata, a médio-longo prazo, do que a atitude de não conservar e ainda, às vezes, ter que recuperar.

2) Muitas vezes, ao contrário do que muitos julgam, a tomada de decisão de não realizar uma obra num determinado local é um resultado altamente técnico de engenharia.

De uma forma geral, o desmatamento exige relativamente pouco esforço, processando-se mais aceleradamente que o reflorestamento. Quanto mais tempo o solo de uma floresta permanece improdutivo e quanto maior for a ameaça de que a camada de húmus seja arrastada pelas águas, tanto mais difícil será reiniciar seu plantio. Foi uma sadia divisão de superfícies, compreendendo florestas, campos e lavouras, que originariamente serviu de proteção ao homem contra possíveis catástrofes. Já no caso do reflorestamento, a situação é inversa: cabe ao homem oferecer proteção às árvores ainda jovens, a fim de que, por causa de uma atitude irracional, não venham a ser derrubadas para sua utilização como mera lenha de fogão (LIEBMANN, 1979).

Apesar da erosão ser um dos maiores problemas para a agricultura em qualquer parte do mundo, há formas de controlá-la e, principalmente, evitá-la. Segundo GALETI (1972), tudo o que se faça no sentido de diminuir a desagregação das partículas do solo e o seu arraste, constitui prática de controle da erosão. Segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (1990), GALETI (1972) e LEPSCH (1993), as principais práticas baseiam-se em:

a) *Proteger o solo contra o impacto da água que cai*: “vestir” o solo para que a queda das gotas das chuvas sejam amortecidas. Com essas práticas procura-se diminuir o “desprendimento” das partículas minerais e orgânicas do solo.

b) *Diminuir a velocidade das águas*: Como se sabe, quanto maior a velocidade que a enxurrada adquire, maiores prejuízos causa.

c) *Diminuir o volume das águas na enxurrada*: Quanto maior a quantidade de água na enxurrada, maior erosão ela provoca. Existem práticas que não deixam as águas se unirem e se avolumarem. As águas são divididas e “presas”, ou desviadas da gleba.

BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) dividem as práticas conservacionistas em dois grupos, aplicáveis principalmente para a área rural, mas que podem ser aplicáveis em solos urbanos desprotegidos (desprovidos de qualquer tipo de cobertura), segundo LAZARO (1990):

a) *Práticas de caráter mecânico*: Consiste no deslocamento de massas de solo para obter barreiras físicas e diminuir a velocidade da enxurrada. Constituem práticas de caráter mecânico: terraceamento, enleiramentos permanentes, trincheiras anti-erosivas, entre outras.

b) *Práticas de caráter vegetativo*: Consiste na instalação de material vegetal visando obter não só barreira física para diminuir a velocidade da enxurrada como também proteger o solo contra o impacto das gotas da água da chuva e evitar o desprendimento e salpicamento das partículas além do selamento superficial. Constituem práticas de caráter vegetativo: Lançamento de herbicida seletivo, ceifar o mato e deixar os resíduos no próprio local, adição de resíduos fibrosos oriundos de outros locais na sua devida quantidade, plantio de espécies leguminosas denominado “adubação verde”.

MARQUES *et al* (1951), realizando trabalho sobre determinação de perdas por erosão no estado de São Paulo apresentaram resultados parciais mas que já permitiram obter conclusões gerais de que as

práticas de caráter vegetativo, principalmente a cobertura com palha, mato selecionado e ceifa do mato, nesta ordem, conferem melhor controle da erosão quando comparado com práticas de caráter mecânico.

Os custos destas várias medidas são substancialmente baixos em comparação ao dano ambiental que pode ocorrer se elas não forem tomadas (LAZARO, 1990).

O aumento da cobertura do solo leva a uma proteção maior contra a desagregação das partículas, reduzindo o processo erosivo e contribuindo para aumentar a infiltração da água no solo (PRIMAVESI, 1987). As práticas de reabilitação das qualidades físicas do solo, tais como a descompactação da camada adensada, o preparo do solo, a adubação verde e orgânica, associadas as estruturas de infiltração forçada de água no solo, tais como os terraços e caixas de retenção, levam a uma maior infiltração de água no solo e menor escoamento superficial, o que também contribui para a regularização das vazões médias dos mananciais (BRAGAGNOLO, 1994).

A adequação de estradas e a sua integração ao sistema de conservação de solos fazem com que, praticamente, se elimine o escoamento d'água nelas, o que, além de diminuir a contaminação e assoreamento de mananciais, também se reduza a um mínimo a necessidade de manutenção dessas estradas, com evidentes benefícios sociais e econômicos, associados aos depósitos de lixo tóxico e ao manejo integrado e biológico de pragas e invasores, reduzindo as formas e as possibilidades de contaminação dos mananciais por agroquímicos (BRAGAGNOLO, 1994).

Além da contribuição conferida no sentido de atuar como uma barreira física entre as gotas de chuva e a superfície do solo, o fato de colocar-se cobertura vegetal morta sobre o solo significa também uma "entrada" de matéria orgânica neste sistema pois, com a decomposição destes restos vegetais, os elementos minerais que estavam contidos em seus tecidos ficam à disposição para retenção das raízes das plantas vivas (PRIMAVESI, 1987; SILVA (A. M., 1997)).

A entrada de matéria orgânica estimula também o crescimento de colônias de microrganismos telúricos, que por sua vez são os responsáveis pela produção de substâncias que agregam partículas de solo, formando agregados ou torrõezinhos, que conferem maior resistência à ação erosiva da água da chuva (PRIMAVESI, 1987), melhorando também o nível de absorção de água do solo, o que para o ponto de vista agrícola representa grande benefício (GALETI, 1972).

Para o caso de solos ainda não profundamente desgastados, JORGE (1969) cita que a característica física do solo mais influenciada pela presença de matéria orgânica é a capacidade de retenção de água. Os solos de mata retêm mais água que os solos idênticos utilizados para fins agrícolas. As camadas superficiais dos solos de mata, compreendidas pelas

profundidades entre 0 a 30 cm, têm maior capacidade de retenção de água, em virtude do maior teor de matéria orgânica. Não se verificam, também, mudanças bruscas na temperatura dos solos, quando com proteção de cobertura morta.

Embora a massa vegetativa, no seu conjunto, sirva generalizadamente para defesa do solo, distinguem-se algumas espécies como boas conservadoras e outras como excelentes aceleradoras da erosão, ou desgastadoras em maior grau (BARROS, 1956).

Plantas conservadoras do solo são as que pouco o desgastam, protegem-no mais graças a área foliar, ao sistema de raízes, ou ao método de cultivo que reclamam. A este grupo pertencem, genericamente, as gramíneas, muitas leguminosas e vegetais vários de diversas famílias botânicas. Por outro lado, a mandioca, o algodão e o milho, dentre outras plantas, por exemplo, pela exposição a que submetem o terreno ao impacto das chuvas e ao efeito destrutivo da enxurrada são consideradas desgastadoras.

Segundo MORGAN (1986), uma vez que a base para o sucesso ou frustração da conservação do solo é o modo com que este solo está sendo usado, torna-se importante a distinção entre áreas onde taxas de erosão são naturalmente altas e áreas onde as taxas de erosão são altas em função de um inadequado manejo do solo. Apenas no caso do manejo inadequado do solo as medidas de conservação do solo poderão ser aplicadas com expectativas de sucesso. Em locais onde está acontecendo o uso incorreto da terra, é muito pouco provável que tecnologias para conter a erosão mostrem-se realmente eficazes. Assim, por exemplo, incentivos que encorajem pessoas a instalarem-se em encostas excessivamente íngremes e ainda produzir alimentos (plantar) é uma receita certa para o acontecimento de desastres sociais e ambientais. Mesmo com a aplicação de altas e/ou pesadas tecnologias para controle da erosão, ocasionará uma atividade excessivamente onerosa e muitas vezes não compensatória do ponto de vista econômico.

BEASLEY (1972) menciona que mesmo em áreas onde está havendo construção urbana, onde o solo ficará descoberto por certo tempo, vale a pena, quando necessário, investir algum esforço em aplicar algum material (vegetal ou não) sobre a superfície do solo, a fim de proteger o solo e minimizar a ação erosiva das chuvas, o que poderá causar transtornos futuros caso não seja feito nada no sentido de se prevenir contra o problema.

Em áreas onde o processo erosivo já se encontra avançado e possui como consequência o acúmulo de sedimento nos vales dos rios ou no fundo dos reservatórios, a única saída possível é a sua reabilitação. Segundo CESAR NETO (1988), a dragagem do material depositado é a única forma possível de manutenção das profundidades de canais e reservatórios. A dragagem pode ser realizada por dragas de sucção com recalque

(recomendada para sedimento arenoso) ou dragas de caçamba ou alcatruzes (recomendada para sedimento argiloso). É um método caro (cerca de U\$ 1,00 por metro cúbico de sedimento retirado) além de requerer áreas extras para servirem de “bota-foras” para disposição do material retirado.

O ponto central de todo o assunto da conservação do solo ou mesmo combate à erosão é a proteção da superfície do solo, independentemente do tipo de solo, tipo de uso e ocupação, inclinação, entre outras características. Conforme discorrido nas páginas anteriores, para uma determinada área, independentemente das características físicas do solo, haverá menores taxas de perdas de solo e conseqüentemente menores taxas de sedimentação nos corpos d’água se a superfície estiver protegida, quer seja naturalmente ou artificialmente, do que uma área com solo de características idênticas porém com sua superfície desprotegida.

Finalmente, observa-se que a presente revisão se ocupa com o fenômeno erosão-sedimentação e procura envolver tanto os aspectos básicos como os aspectos aplicativos mais modernos. Isto decorre do caráter exploratório e aplicativo dos diversos conceitos e métodos no presente trabalho. O perfil de integração dos múltiplos pontos de vista é aqui valorizado e o produto final mostra sua viabilidade.

5 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS E UM BREVE HISTÓRICO SOBRE SUA OCUPAÇÃO:

5.1. - Localização:

A bacia hidrográfica na qual se efetuou o presente estudo é a Bacia do Ribeirão Água Fria. Ela está localizada no município de Palmas, capital do estado de Tocantins, região norte do país, entre os meridianos $48^{\circ} 16'$ e $48^{\circ} 23'$ de longitude oeste e $10^{\circ} 03'$ e $10^{\circ} 20'$ de latitude sul (BEZERRA & SOUZA, 1997) (FIGURA 5.1) ou ainda entre as coordenadas UTM (Universal Transversa Mercator): 8868000m e 8882000m Sul e 784000 e 804000m oeste de Greenwich. Possui altitude média de 250 m na área do Plano Diretor e uma área de 167,641 km². A bacia está totalmente inserida no território pertencente ao município de Palmas e ocupa cerca de 9% de toda a área do município.

O município de Palmas foi fundado no dia 20 de maio de 1989 e instalado em 1^o de janeiro de 1990. Localizado na porção centro-sul do estado, está inserido no Planalto Central Brasileiro e também dentro da Bacia Hidrográfica do Tocantins.

Partindo na direção sul→norte do país (Goiânia→Palmas, por exemplo), seu principal acesso se dá pela rodovia BR-153 (rodovia “Belém – Brasília”) até o município de Fátima. Posteriormente, pela rodovia TO-255, chega-se a Porto Nacional e pela TO-050 chega-se a Palmas. Outro acesso importante se dá pela BR-153 até Paraíso do Tocantins e posteriormente, pela TO-080, chega-se a Palmas.

Segundo dados do IBGE, o município de Palmas apresentou um crescimento médio anual da população de 28,7% entre os dois últimos censos realizados (1992 e 1996), sendo que para o censo de 1996 a população ficou em 86.116 habitantes.

Distante 968 km ao norte de Brasília, Palmas faz limite ao norte com o município de Lajeado, ao sul com o município de Porto Nacional, a leste com os municípios Aparecida do Rio Negro e Santa Tereza do Tocantins e a oeste com os municípios de Paraíso do Tocantins e Miracema do Tocantins (CAVALCANTE, 1998).

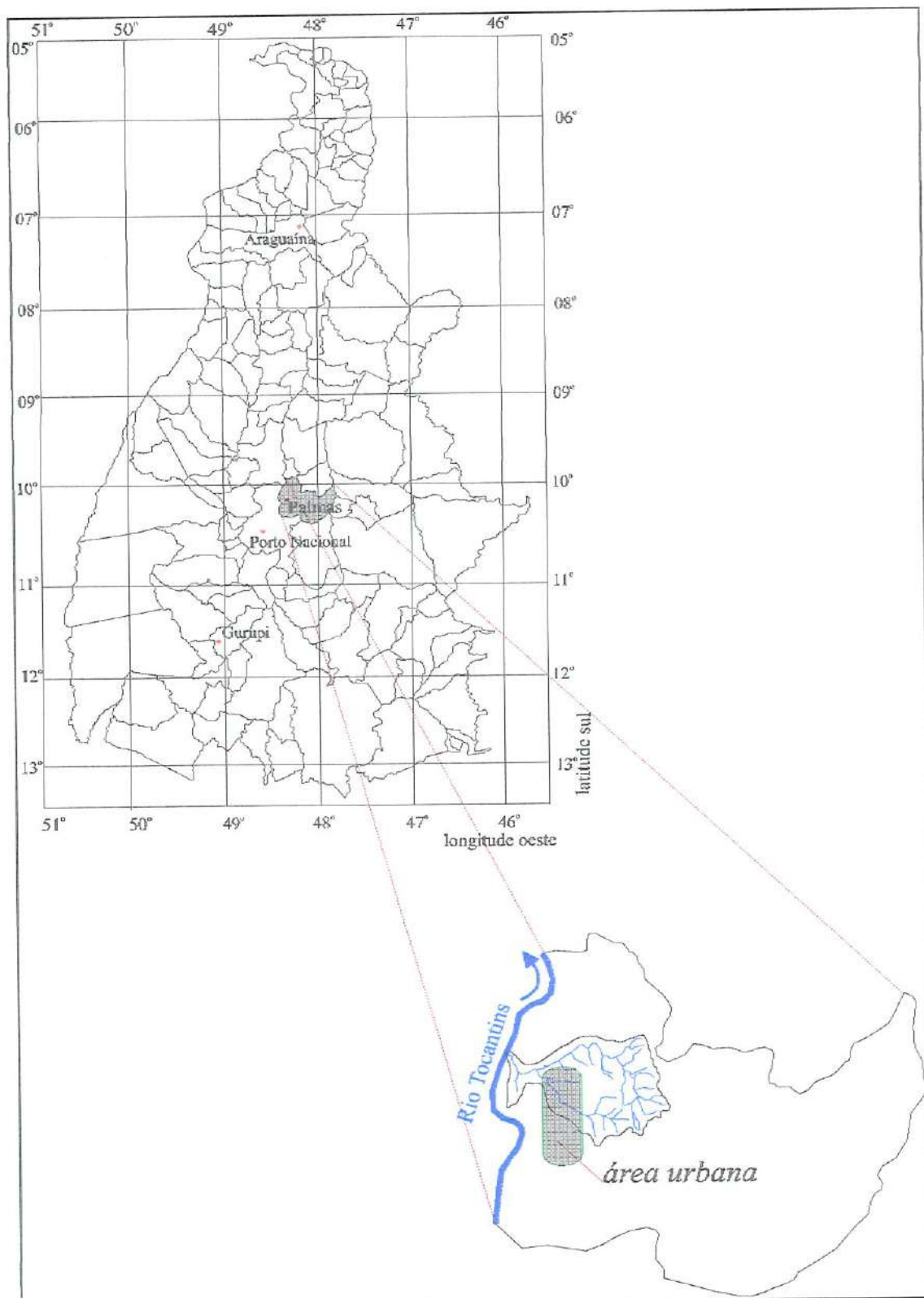


FIGURA 5.1 - Mapa localizando o município de Palmas e a bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria no estado do Tocantins (sem escala).

5.2 - Clima:

Segundo NIMER (1979), a temperatura média anual para a região é de cerca de 24°C. A temperatura média para o mês mais quente (setembro ou outubro) é 26°C, porém em casos extremos a temperatura máxima absoluta do ano já chegou a alcançar os 42°C. O autor menciona que, quanto às temperaturas médias para o mês mais frio da região (junho ou julho), o valor médio é 22°C e que é raro que hajam dias que alcancem temperaturas inferiores a 20°C.

A altura média de chuva alcançada é de cerca de 1300 mm/ano com pouca variação de ano para ano (< 15%), geralmente alcançando cerca de 50% do total da precipitação anual em três meses consecutivos (dezembro, janeiro e fevereiro) e mais de 90% entre outubro e março. Por outro lado, a estação do inverno é excessivamente seca, tornando-se raras as chuvas nesta época, talvez com 4 a 5 dias de ocorrências de chuva por mês e raramente ultrapassa-se os 20 mm em um mês. Tal situação é reportada entre os meses maio e setembro (NIMER, 1979). O mês mais seco é geralmente o mês de julho e o mais chuvoso é março. A FIGURA 5.2 mostra as médias mensais de precipitação e temperatura para a região.

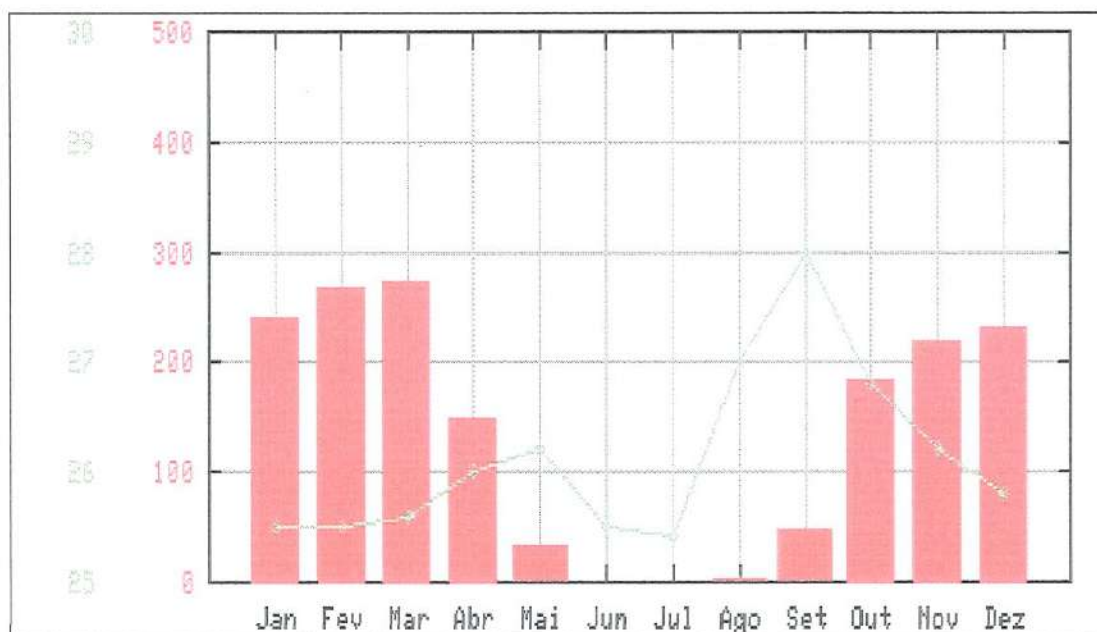


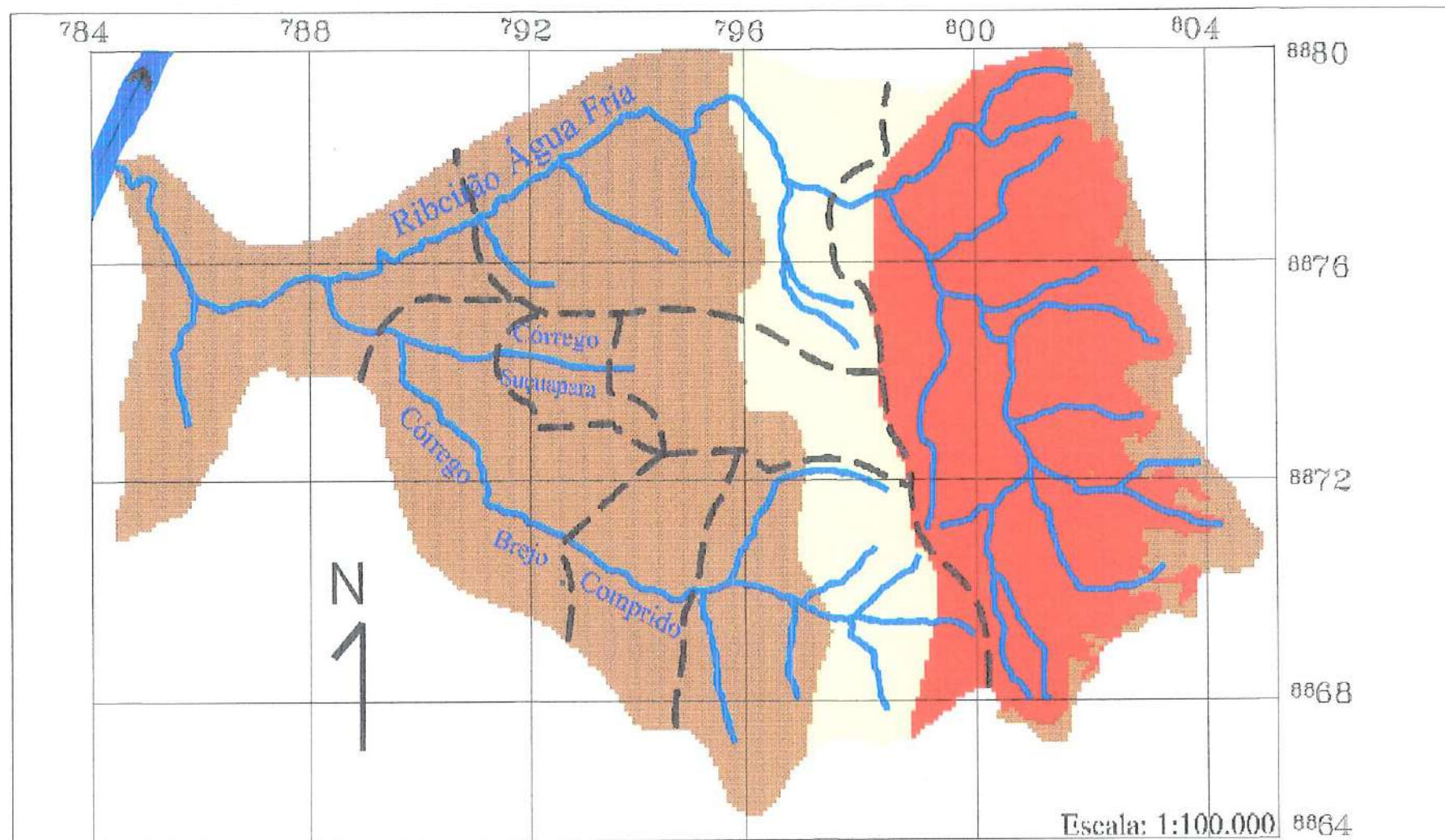
FIGURA 5.2 - Médias mensais de precipitação (barras) (em mm) e de temperatura (linha) (em °C) para a cidade de Porto Nacional (TO) entre os anos de 1961 e 1990. FONTE: INMET ("home-page" consultada em 15/jan/2000).

5.3 - Geologia:

Parte da região de estudo, onde predomina principalmente a área mais escarpada, está situada sobre o Complexo Goiano, da era Pré-Cambriana período Inferior (aproximadamente 4 bilhões de anos), sendo este o complexo mais antigo da região, ao lado dos complexos Xingu e Colméia. Neste complexo há a ocorrência de gnaisses e migmatitos (rochas predominantemente de cor rósea, de diversas granulometrias. Ocorrem também anfibólitos (de cor cinza esbranquiçado a escuro, com granulometria variada) e quartzitos (de cor castanho-avermelhada, fortemente recristalizada) (RADAMBRASIL, 1981) (FIGURA 5.3). Segundo RADAMBRASIL (1981) “o Pré-Cambriano Indiferenciado ou Complexo Basal Goiano representa um conjunto de rochas formado em diversos ciclos tectono-orogênicos. Durante esses ciclos as rochas foram intensamente dobradas, migmatizadas e granitizadas, sofrendo intrusões graníticas, sieníticas e básicas”.

Na região onde predomina topografia suave ondulada a ondulada, compreende a formação Serra Grande. Esta formação, do período Devoniano/Siluriano (\pm 440 milhões de anos – era Paleozóica), é de origem marinha e é composta por arenitos parcialmente arcozeano predominantemente grosseiros, mal selecionados, com níveis subordinados de conglomerados, siltitos e argilitos e com escassez de fósseis, levando a sua datação a ser fundamentada em alguns trabalhos palinológicos e poucos trabalhos paleontológicos. Trata-se, segundo RADAM (1981), de um embasamento geológico formado por rochas friáveis. Segundo RADAM (1981) o contato Serra Grande – Pimenteiras, é concordante e predominantemente, transicional, havendo uma gradação de clásticos grosseiros da Formação Serra Grande para clásticos finos da Formação Pimenteiras.

Parte da região, onde a topografia é plana ou suavemente ondulada, situa-se sobre a Formação Pimenteiras, do período Devoniano (\pm 400 milhões de anos – era Paleozóica). Nesta formação há a ocorrência de arenitos finos a grosseiros (comumente friáveis), siltitos foliáceos ferruginosos ou não, argilitos, níveis conglomeráticos e microconglomeráticos, sendo os siltitos a rocha de maior expressividade areal. Registra-se ainda estruturas com microestratificação cruzada e estratos cruzados de pequeno porte, estruturas concrecionadas e estratificação plano-paralela, com formas e dimensões variadas.



Formação Pimenteiras
 Formação Serra Grande
 Complexo Goiano

FIGURA 5.3 - Mapa geológico da área de estudo elaborado a partir de informações extraídas do mapa geológico do projeto RADAMBRASIL (1981) na escala 1:1.000.000, com coordenadas UTM e com a divisão das sub-bacias.

5.4 - Geomorfologia:

A cidade de Palmas tem a oeste o rio Tocantins e é circundada pelo outro lado pelas Serras do Carmo e do Lajeado (CAVALCANTE, 1998). A área correspondente ao município é formada por planície e terraços fluviais, sujeitos a inundações periódicas, esta área é localizada às margens do rio Tocantins, contendo superfícies planas com fraca dissecção (RADAMBRASIL, 1981).

Há também áreas onde se presenciam relevos de topo aplainado, com diferentes ordens de grandeza e aprofundamento de drenagem, separados por vales de fundo plano, além de áreas de superfície pediplanada, elaboradas por processo de pediplanação, cortando litologias Pré-cambrianas, entre outras formações.

Já na serra do Lajeado, ou próximo a ela, ocorre área de superfície estrutural tabular, aplanada, de topo coincidente com a estrutura geológica, limitada por escarpas e retrabalhada por processos de pediplanação (RADAMBRASIL, 1981).

5.5 – Hidrografia, uso d'água e produção de sedimentos:

A área de estudo é drenada por três principais canais: o Córrego Suçuapara, o Córrego Brejo Comprido e o Ribeirão Água Fria, este último de maior porte e que dá o nome à bacia (FIGURA 5.4). O Ribeirão Água Fria possui a nascente e seus primeiros tributários na Serra do Lajeado, assim como o Córrego Brejo Comprido. Por sua vez o Córrego Suçuapara nasce numa região onde a declividade já é menos íngreme e já dentro do Plano Diretor da cidade (área urbana).

Já na região de planície há o encontro das águas dos córregos Suçuapara com Brejo Comprido e mais adiante destas com as águas do Ribeirão Água Fria, desembocando finalmente no rio Tocantins. A bacia do ribeirão Água Fria situa-se num trecho do rio Tocantins que é denominado, segundo CLÜSENER & SACHS (1995), região do médio Tocantins.

No Ribeirão Água Fria há uma estação de captação e tratamento de água, a qual serve parte da população de Palmas. Ao longo do percurso dos três córregos, existem vários pontos onde há o uso da água para lavagem de roupa e recreação pela população geralmente de baixa renda e residente na periferia da cidade e próximo aos córregos, além de eventualmente encontrar-se pessoas lavando carros. Na época da estiagem há, continuamente, a captação de água por caminhões-pipa para usos diversos na cidade.

Dentre os trabalhos sobre a qualidade das águas já realizados na área de estudo, cita-se que CONSTANTIN (1998) analisou as águas do Ribeirão Água Fria (no trecho localizado aproximadamente na região do ponto de coleta AF2) sob o ponto de vista bacteriológico (coliformes fecais)

e classificou as águas como sendo de boa qualidade, em função da baixa concentração destes organismos verificada nas mesmas.

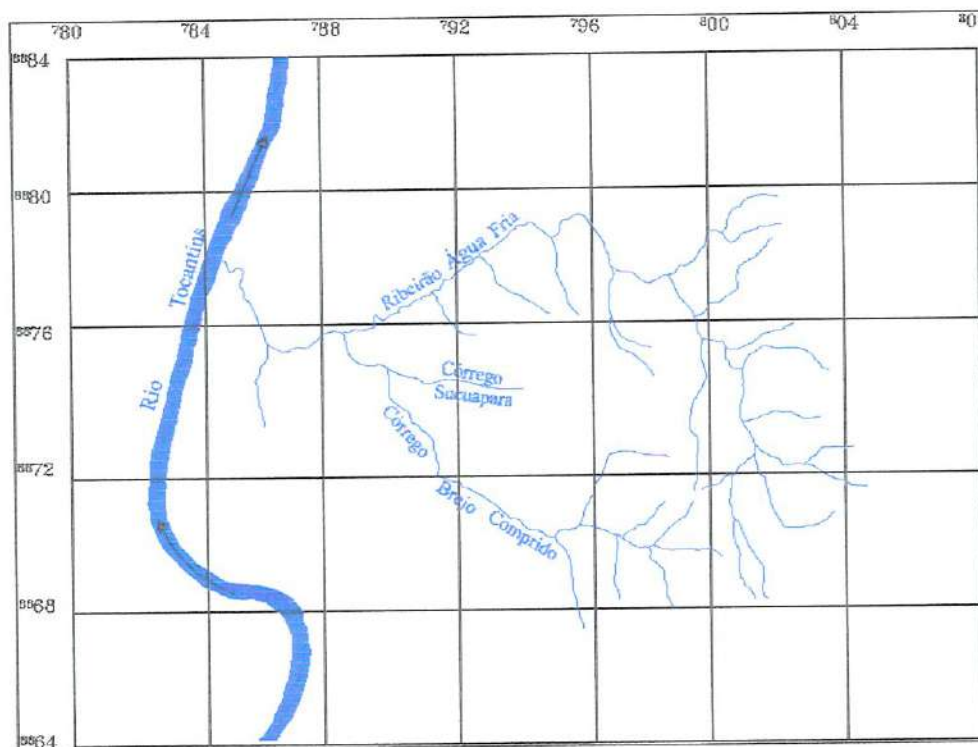


FIGURA 5.4 – Mapa mostrando os nomes dos principais rios com a localização em coordenadas UTM.

Com relação à entrada-saída d'água, LEPRUN (1993) menciona que para a bacia do rio Tocantins a taxa de perdas de água por escoamento fluvial é de cerca de 23% do total que entra (precipitação pluviométrica).

Quanto à taxa de produção de sedimentos, ENGER & SMITH (1995), apresentando um mapa mundial com taxas médias de produção de sedimento apontam, para a região amazônica e entornos, uma taxa média de $612 \text{ t/km}^2 \times \text{ano}$. A região de estudo situa-se numa área que, segundo os autores, possui potencial médio a forte de contribuição de sedimentos ao Oceano Atlântico.

5.6 - Solos:

Conforme a carta de solos do município de Palmas elaborada por RANZANNI (1998), na área de estudo ocorrem oito tipos de solo (FIGURA 5.5), que são:

- Cambissolo indiscriminado (C).
- Concrecionário Laterítico (SCL).
- Hidromórfico indiscriminado (HGPH).
- Latossolo Vermelho Escuro - A moderado - textura média (LEm).
- Latossolo Vermelho Escuro - A moderado - textura argilosa (LEa).
- Latossolo Vermelho Amarelo - A moderado - textura média (LVm).
- Latossolo Vermelho Amarelo - A moderado - textura argilosa (LVa).
- Solo litólico indiscriminado (R).

5.6.1 – Características gerais dos tipos de solos ocorrentes na área de estudo, conforme a literatura:

LATOSSOLOS – Segundo MACEDO (1994), os latossolos ocorrem em 49% da região de cerrados e trata-se de solos com boas condições de drenagem, profundos (a profundidade do manto de intemperismo pode chegar a 14 m), com teores de argila entre 15 e 90% e, segundo VIEIRA (1988), o teor de argila se dilui lentamente com a profundidade.

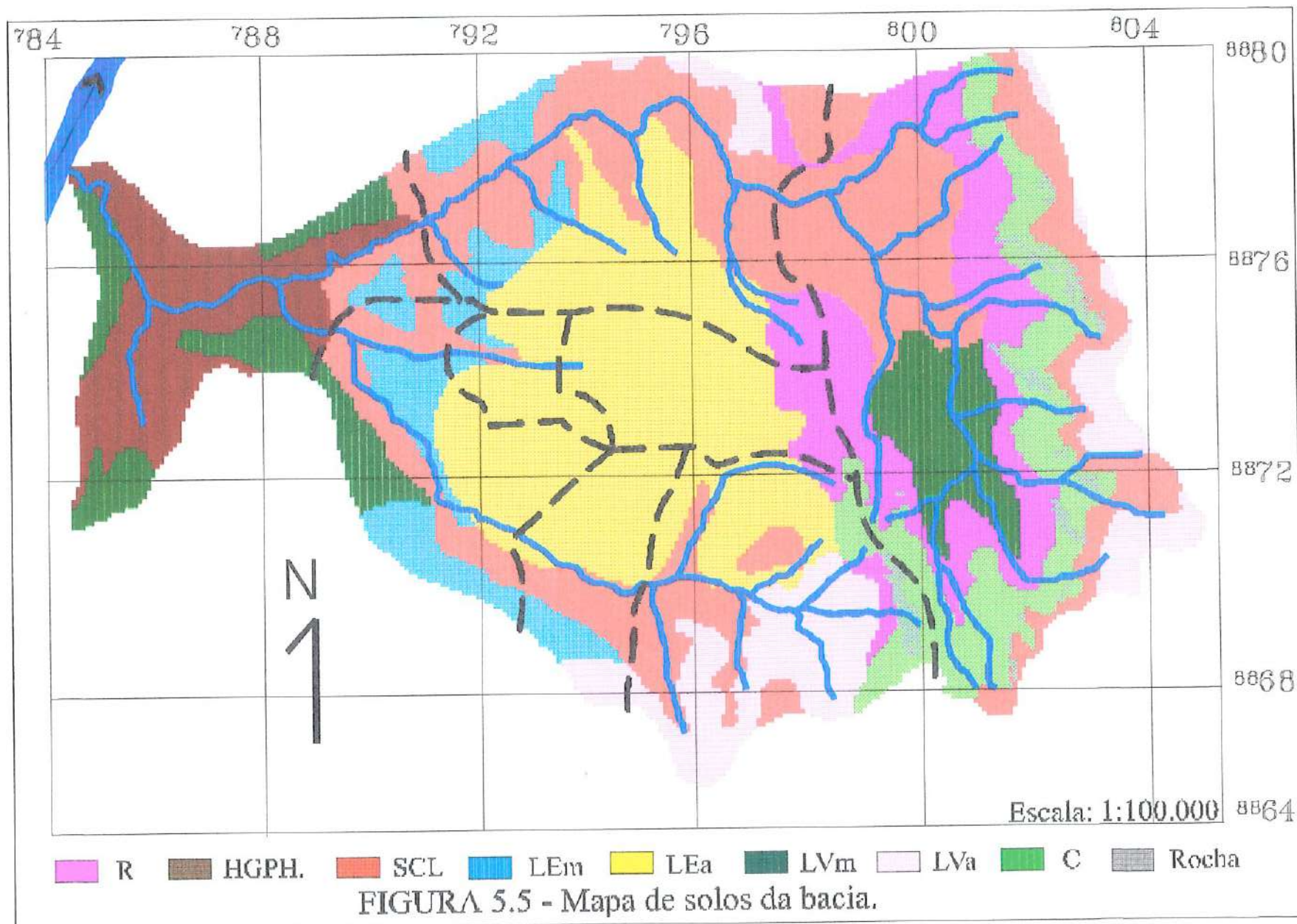
VIEIRA (1988) aponta ainda como características importantes destes solos: a transição gradual entre os horizontes; ausência ou quase ausência de desenvolvimento estrutural, sendo que quando aparece, a estrutura é pouco ou muito pouco desenvolvida, sendo na grande maioria maciça e apresenta-se com baixa capacidade de troca catiônica entre as argilas. Conforme a composição granulométrica (proporções de argila, silte e areia) são também classificados como: latossolo vermelho escuro textura média, por exemplo.

Segundo ACIESP (1987) os latossolos vermelho - amarelos são caracterizados por apresentarem cor vermelho - amarelada, teores de Fe_2O_3 variando entre 7 e 11%, quando argilosos. Os latossolos vermelho - escuros apresentam-se com coloração vermelho escura no horizonte B, teor de Fe_2O_3 igual ou ligeiramente superior a 18%. VIEIRA (1988) apresenta uma tabela (TABELA 5.1) a qual é uma subdivisão para caracterizar os subtipos de latossolos:

TABELA 5.1 – Caracterização dos latossolos:

Classe de solos	$\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$	Fe_2O_3 (%)
Latossolo amarelo	> 7,0	2 – 4 < 6
Latossolo vermelho – amarelo	3,6 – 7,0	6 – 9
Latossolo vermelho – escuro	1,7 – 2,5 ou <5,0	13 – 18
Latossolo roxo	< 1,6	± 23

Fonte: VIEIRA (1988).



Os latossolos são solos que, devido às suas características de estrutura, porosidade, permeabilidade e consistência, decorrentes da constituição dos seus minerais e o relevo geralmente pouco acidentado, possuem elevada resistência à erosão. No entanto, tem-se observado que um manejo inadequado pode acarretar a formação de camadas compactadas que diminuem significativamente a infiltração de água, aumentando os riscos de erosão (MACEDO, 1994).

LITÓLICO – Ocorre normalmente em regiões com relevo movimentado. Caracteriza-se como solo raso, pedregoso, com horizonte A assentado diretamente sobre o horizonte C ou sobre a rocha. Possui textura bastante variada, geralmente predominando a fração areia e com fertilidade variável (distróficos ou eutróficos) (MACEDO, 1994; VIEIRA, 1988).

Este solo possui, segundo BELLINAZZI Jr. *et al* (1991), limitada capacidade de uso por possuir alto risco à erosão, além das características anteriormente mencionadas.

CAMBISSOLO – Caracterizado, segundo VIEIRA (1988), por possuir horizonte B incipiente ou câmbico. Assim como o litólico, o cambissolo normalmente ocorre em áreas com relevo movimentado. Possui profundidade mediana, com o horizonte A fraco ou moderado e drenagem moderada a boa. É também cascalhento e sua textura varia de média a argilosa, possuindo elevados teores de silte. A fertilidade é variável dependendo da natureza dos minerais constituintes (MACEDO, 1994).

HIDROMÓRFICO – Devido a sua posição geográfica (ocorrência em áreas abaciadas e em várzeas) e dificuldade de individualização dos solos, este tipo de solo corresponde muitas vezes a um complexo de classes de solos, entre elas cita-se: Glei Pouco Húmico, Glei Húmico, Plintossolo, Solos Aluviais, Laterita Hidromórfica, mas que são genericamente denominados de Hidromórfico Indiscriminado (MACEDO, 1994; VIEIRA, 1988).

Este solo possui como característica básica ocorrer em área de relevo plano, ser normalmente pouco profundo, com má drenagem (permeabilidade lenta) e daí resultar na acumulação de matéria orgânica na porção superficial e ocorrer o fenômeno de oxidação e redução na parte sub-superficial.

A vegetação natural é constituída de matas ciliares ou campos de várzeas, sendo que suas principais limitações são referentes à baixa fertilidade e deficiência de oxigênio. Podem ser utilizados apenas para atividades agrícolas em manejo avançado incluindo, necessariamente, um sistema de drenagem (MACEDO, 1994).

CONCRECIONÁRIO – Tem como principal característica possuir concreções (nódulos de arenitos) ferruginosas no perfil (ACIESP (1987), VIEIRA (1988)). Sua textura é geralmente argilosa e normalmente é ácido ou fortemente ácido, com baixa soma de saturação de bases. Ocorre geralmente em área com relevo movimentado e pode estar sob vegetação de floresta ou campo cerrado (VIEIRA, 1988). O horizonte B pode apresentar-se latossólico ou textural.

5.6.2 – Informações adicionais sobre os solos da área de estudo:

Quanto à aptidão agrícola, os solos, na maior parte da área, foram classificados de uma potencialidade média de exploração para fins agrícolas e/ou criação de gado em pasto plantado (RADAMBRASIL, 1981).

No mapa de “Subsídios ao planejamento regional” (RADAMBRASIL, 1981) a área apresenta-se como “área que necessita de estudo de maior detalhe para separação, basicamente, de manchas com características de áreas propícias à implantação de empresas de médio a grande porte, ou ainda empresas de pequeno porte desde que apoiadas por sistemas integrados e cooperativistas”.

5.7 - Vegetação:

Segundo o mapa de vegetação elaborado pelo projeto RADAM (RADAMBRASIL, 1981) a vegetação natural predominante na região é, em áreas onde não sofreram alteração por uso do solo, o Cerrado, havendo áreas com uma vegetação de caráter arbórea aberta (campo cerrado ou campo sujo) e arbórea densa (cerradão), com floresta de galeria.

Na parte de cerradão (savana arbórea densa), sua composição florística é heterogênea, contudo se repete de norte a sul numa paisagem caracterizada por dominantes arbóreos típicos: *Curatella americana* (lixeira), *Qualea grandiflora* e *Q. parviflora* (paus-terra), *Dimorphandra mollis* (faveiro), *Stryphnodendron barbadetiman* (barbatimão), *Piptadenia macrocarpa* (angico-preto), *Bowdichia virgilioides* (sucupira) e outras.

Na área ocorre ainda a mata de encosta, ocorrente no sopé da Serra do Lajeado, formada na sua maior parte por vegetação arbórea densa e que visivelmente sofre a influência da seca ocorrente nos meses de outono/inverno.

Segundo RADAM (1981), os fatores geomorfológicos, aliados aos antrópicos, proporcionam esta variação, que vai desde uma vegetação lenhosa a herbácea, serpenteada por floresta de galeria, até o clímax no tipo arbóreo, constituída de árvores relativamente baixas e com troncos e galhos retorcidos.

5.8 - Breve histórico sobre o surgimento e o processo de ocupação do estado do Tocantins e da capital Palmas, resgatado de SILVA (O. B., 1997):

Este item é aqui apresentado como uma ilustração do processo de criação da capital do estado do Tocantins (e do próprio estado). Paralelamente ao desenrolar histórico, observa-se ao final do item, a surpreendente juventude do município atual e pode-se compreender, talvez, a cadeia de impactos que representa este município na região a partir de seu estabelecimento legal.

O local de realização do presente estudo, a bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria, localiza-se no município de Palmas, que é a mais nova capital do Brasil e que por sua vez é sede administrativa do mais novo estado do território brasileiro, o estado do Tocantins. Muitas pessoas podem achar que o processo de divisão do antigo estado de Goiás aconteceu repentinamente em função da Constituição Federal de 1988, o que não é verdade. Sendo assim, com o intuito de fornecer informações sobre os aspectos gerais do processo de surgimento do novo estado e de sua capital, foi colocado uma síntese da história da ocupação e divisão política da região, principalmente para mostrar que o processo de ocupação da região acelerou após a fundação do estado e principalmente da capital.

O primeiro descobrimento do atual território do estado do Tocantins (palavra que significa “nariz de tucano” e era o nome de uma tribo indígena com nariz comprido que habitava esta região), deve-se, provavelmente, a expedicionários franceses, os quais eram muito estimados pelos índios, que os ajudavam a desbravar este rio água acima até passarem por sua confluência com o Araguaia. Porém quase ao mesmo tempo, também ocorria a entrada de paulistas pelas nascentes do Tocantins, o que coincidiu com a descoberta de metais preciosos e, quando faltava o ouro em algumas missões, a preia do “objeto” índio já era de grande valia, pois eram usados nas lavouras de cana-de-açúcar antes da entrada de mão-de-obra africana.

Em função deste descobrimento de ouro na região, houve a instalação de vários vilarejos (alguns permanecem até hoje como os municípios de Natividade, Almas e Arraias) mas o ouro rapidamente se esgotou na região, fazendo com que o povo mudasse sua atividade econômica para a cultura da cana e principalmente a pecuária, ou ainda abandonasse a região.

Quando foi criada a comarca de São João das Duas Barras, em 1809, (depois sendo renomeada comarca da Palma) praticamente passaram a existir dois Goiás: 1) o Rio Araguaia e o que corresponderia ao atual estado de Goiás e 2) o Rio Tocantins, sendo plantada então a semente da sonhada província do Tocantins, hoje estado do Tocantins. O ouvidor da comarca, Joaquim Teotônio Segurado, representante da coroa na comarca,

demonstrava interesse em assistir à prosperidade das ribeiras do Tocantins, que por anos e anos estiveram distantes das decisões da comarca de Vilas Boas de Goiás. Foi o único homem, na época, de maior expressão no sentido de tentar promover algum tipo de desenvolvimento para a região, uma vez que, em função do ciclo do ouro no local, havia basicamente aventureiros dispostos exclusivamente a explorarem o ouro da região.

Reconhecida a secessão da Palma de Vila Boa de Goiás, assentou-se que o melhor arbítrio era ir ao Norte buscar a reintegração entre as duas comarcas, embora a região não apresentasse maiores riscos de competição de compra e venda de mercadorias vindas do sul com a Comarca de Goiás. Então o enviado para tal missão foi o padre Gonzaga Fleury.

Este conseguiu, sob ameaças e prisões, fazer um pacto com os tocantinenses para que a Junta Provisória do Governo da Palma fosse extinta, com a região Norte sendo reunificada à Junta Provisória do Governo de Vilas Boas de Goiás. Contudo, ainda houve uma série de desentendimentos entre as duas Comarcas entre si e entre as duas Comarcas e o Império no Rio de Janeiro e seus ministros, onde ora admitia-se a existência da Comarca da Palma, ora afirmava-se que esta Comarca já havia sido incorporada junto à Comarca de Vila Boa de Goiás.

Em 1824 deixava de existir oficialmente e definitivamente a Comarca da Palma. A não consolidação desta Comarca foi explicada por desentendimentos da população local (constantes divergências de opiniões) e pela falta de um líder representante da Comarca na sede do Império no Rio de Janeiro.

Cinquenta anos após houve apresentação de novos projetos separatistas junto à Câmara Imperial, os quais foram arquivados sem maiores delongas e sucessos.

Após a Revolução de 1930, intensificou-se nos jornais uma campanha nacionalista em prol da formulação do problema espacial brasileiro, mas é na Constituição de 1937, que nossa carta estipula que: “a União poderá criar, no interesse da defesa nacional, como partes desmembradas dos Estados, territórios federais e cuja administração será regulada em lei especial”. Com os rebuliços das guerras na Europa, são criados os territórios federais de Fernando de Noronha (1942) e, no ano seguinte, os de Guaporé, Rio Branco, Amapá, Ponta Porã e Iguazu. Lysias Rodrigues e Juarez Távora elaboram as Cartas Políticas do Brasil, sendo Lysias ardoroso defensor da criação do Território Federal do Tocantins.

Houveram vários outros projetos de reformulação da geopolítica do Brasil durante o século XX, não para especificamente criar o Território Federal do Tocantins, porém em todos os projetos havia a inclusão desta mudança, sempre havendo opiniões favoráveis e contrárias à esta criação, não só pelo país inteiro mas também no próprio antigo norte

goiano e não só da parte de políticos envolvidos no caso como também pela imprensa e pela população local e geral do país.

Na década de 50 inicia-se, por atitudes do juiz de direito Feliciano Machado Braga o movimento separatista do Norte de Goiás que viria vencer e consolidar o agora Estado do Tocantins, ocorrendo vários movimentos cívicos pacifistas em prol da separação e, em alguns casos, antevendo-se a constitucionalidade do movimento separatista, como no caso da criação da Comissão de Estruturação Jurídica do Estado do Tocantins. O movimento procurava ser pacifista, porém em algumas ocasiões houve um aquecimento nas relações, principalmente pela posição contrária ao movimento por parte dos políticos do sul de Goiás, os quais sempre procuravam formar alianças junto aos principais "coronéis" do norte goiano.

Nas décadas de 70 e 80 o cearense José Wilson Siqueira Campos deu continuidade política ao processo separatista e, em 1970, no cargo de deputado federal apresenta o trabalho "Sugestão para Redivisão Territorial da Amazônia", propondo a criação de doze novos territórios, especialmente o Território Federal do Tocantins, proposta esta que é acolhida pela Câmara Federal no ano seguinte e esta aprova uma Comissão específica para estudo do caso. Em 1978 Siqueira Campos apresenta aos parlamentares o projeto de lei complementar para criar o Estado do Tocantins.

Em 1982 Siqueira Campos não consegue ganhar a reeleição, ficando apenas como deputado suplente do empresário Jaime Câmara, o qual acabara de instalar um complexo de comunicações no norte goiano e é eleito deputado federal da região. Nesta ocasião Siqueira Campos quase abandona a causa. Contudo, em 1984, Siqueira assume a cadeira na câmara dos deputados e apresenta o projeto de lei complementar para criação do estado, o qual é vetado pelo então presidente em exercício José Sarney. No ano seguinte o senador Benedito Ferreira reapresenta o projeto de Siqueira no Senado. Câmara e senado aprovam o projeto e mais uma vez Sarney posiciona-se contra e novamente veta o projeto.

Houve protesto por parte do autor e também de simpatizantes, protesto este que mobilizou a mídia e a opinião pública em favor da causa defendida pelo político local. Em 1986 o senador Amaral Peixoto apresenta novamente o projeto. Nos anos de 1987 e 1988 o assunto permanente na Câmara é a nova Constituição Federal e Siqueira Campos, reeleito deputado federal em 1986, dirige a fusão de emendas que criou o Estado do Tocantins, nas disposições transitórias da Carta Magna, agora com o apoio do governador goiano e de seus deputados.

Em cada época, nas antigas tentativas de divisão e surgimento ora do Estado ora do Território, falava-se de nomear um município para sedear a capital da nova região. Para o caso ocorrente optou-se que até dezembro de 1989, a capital provisória seria o município de Miracema do



Tocantins, passando então para o município de Palmas; esta construída especialmente para sediar o centro dos negócios políticos do estado.

Segundo CAVALCANTE (1998), para que Palmas fosse legalmente estabelecida, foi preciso que o recém emancipado município de Taquarussu, desmembrado do município de Porto Nacional, transferisse sua sede para a nova capital, voltando assim à condição de distrito e elevando, desta forma, Palmas à categoria de município.

6 - MATERIAL E MÉTODOS:

O presente trabalho envolveu diversas atividades de campo, laboratório e procedimentos cartográficos e computacionais, as quais são descritas de forma sintetizada a seguir. Ainda que procurou-se abordar o assunto de maneira holística, a descrição foi feita para cada parâmetro de forma separada a fim de tornar a leitura e compreensão do texto e do trabalho mais simples e clara.

6.1 - Documentação fotográfica preliminar:

Visando realizar um reconhecimento geral sobre a área de estudo e detectar visualmente e de forma abrangente a possível ocorrência e a intensidade das diferentes modalidades de erosão, realizou-se um sobrevôo sobre a bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria no dia 22 de janeiro de 1998, onde foi realizada também uma documentação fotográfica, gerando fotografias aéreas panorâmicas. Este trabalho foi útil também no sentido de detectar mais claramente o caminho de alguns dos principais canais de drenagem da área de estudo mostrados na carta topográfica (D.S.G., 1979) e contribuiu para uma compreensão mais dinâmica do local sobre o processo de uso, ocupação e formas de manejo ocorrentes na área.

6.2 - Digitalização, cálculo e análise dos parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica e dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo:

6.2.1 - Caracterização fisiográfica da bacia do ribeirão Água Fria:

A partir das informações extraídas da carta topográfica da região (D.S.G., 1979) e baseando-se nos procedimentos de trabalho descritos em CHRISTOFOLETTI (1969), PLÃO (1995) e TUCCI (1997), buscou-se levantar as informações para determinação dos parâmetros morfométricos da área de estudo, a fim de usá-los como informações complementares e auxiliares no estudo dos processos erosivos e sedimentológicos ocorrentes na bacia. A carta topográfica da região foi confeccionada pelo Serviço Geográfico do Exército (Departamento de Serviços Geográficos - D.S.G.) em 1979, na escala de 1:100.000 e nela estão contidas as informações sobre a hidrografia e curvas de nível em valores múltiplos de 40 metros. A partir desta base foi realizada também a delimitação da área de estudo (perímetro da bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria).

A área de interesse na carta topográfica, isto é, a área compreendida pela bacia hidrográfica do ribeirão Água Fria, foi

previamente *scaneada* para servir de base na tela do computador para uso nas demais etapas do trabalho. O arquivo gerado foi então transferido ao software IDRISI (EASTMAN, 1995), gerando então a imagem da carta topográfica no formato RASTER. Com a carta na tela, foram digitalizadas, em arquivos separados entre si: as curvas de nível, a hidrografia e os limites (perímetro) da bacia. A digitalização foi realizada com o software IDRISI (EASTMAN, 1995), utilizando-se o comando DIGITIZE.

Os parâmetros morfométricos determinados foram aqueles já previamente descritos. O procedimento de cálculo de alguns parâmetros (área e perímetro da bacia, hipsometria e declividade) foram efetuados com o software IDRISI (EASTMAN, 1995) e as etapas de trabalho estão descritas a seguir (sub-item 6.2.2.2). A determinação dos parâmetros: ordenamento hierárquico e número de canais, foi realizada por simples visualização da carta topográfica.

Para a obtenção da informação “comprimento dos canais”, necessário para determinação do parâmetro densidade de drenagem, utilizou-se o software AUTOCAD-R14 e através do comando “AREA” determinou-se o comprimento de cada canal de drenagem. O arquivo sobre a hidrografia da bacia utilizado nesta etapa foi aquele inicialmente digitalizado em tela com o software IDRISI e transferido ao software AUTOCAD.

A área de estudo foi dividida em oito sub-bacias, cujo procedimento de divisão está detalhadamente explicado a seguir (sub-item 6.5). Cada parâmetro morfométrico foi calculado para a área total da bacia e também para cada uma das oito sub-bacias nas quais a área foi dividida.

Os polígonos utilizados para determinação do índice de forma “ I_f ” (retângulo, círculo e triângulo) foram gerados com o software IDRISI (EASTMAN, 1995), sendo que para a verificação das relações “ $K \cap L$ ” e “ $K \cup L$ ” utilizou-se o comando “OVERLAY” com as opções (operações matemáticas entre as imagens) “multiplicação” e “adição”, respectivamente.

6.2.2 – Aquisição de informações e procedimentos de cálculo para determinação dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo:

Para a elaboração dos mapas de “potencial natural de erosão” e “expectativa de perdas de solo”, utilizou-se o método proposto por WISCHMEYER & SMITH (1978) que é a Equação Universal de Perda de Solo – EUPS. Estes mapas derivados originaram-se através da integração de informações obtidas de diferentes fontes (carta topográfica, imagem de satélite, banco de dados de outros trabalhos). Para criar estes mapas derivados trabalhou-se em cada fator da EUPS separadamente. Cada fator da EUPS foi calculado e analisado conforme explicado no texto que segue.

6.2.2.1. - Fator R - erosividade das chuvas:

Em função da cidade de Palmas possuir pouco tempo desde sua fundação, ainda não há pluviógrafo instalado na região. Já existe série de dados sobre totais pluviométricos mensais e anuais para a região mas em quantidade insuficiente (cerca de cinco anos de coleta), o que impede o cálculo direto dos valores mensais e anuais de erosividade das chuvas.

O valor da erosividade da chuva para a área de estudo foi adquirido junto ao trabalho realizado por NEGREIROS NETO (1997), o qual realizou estudo sobre a erosividade das chuvas do estado de Tocantins utilizando dados de alturas pluviométricas mensais e anuais dos anos de 1960 a 1990, indicados na FIGURA 6.1. A figura mostra as linhas isoerodentes que foram geradas interpolando-se os pontos geográficos com os valores de erosividade enquadrados nas mesmas classes.

O valor da erosividade para a área de estudo foi determinado utilizando-se os valores da erosividade mensal e anual dos três municípios mais próximos de Palmas, que são Porto Nacional, Miracema do Tocantins e Fátima. O método adotado foi o método da média aritmética simples (GARCEZ, 1967), que compreende o cálculo da média aritmética entre os valores anuais da erosividade dos três municípios considerados. Este método é proposto para o cálculo da altura pluviométrica de uma região onde não há dados obtidos em campo. Entretanto, como a erosividade foi determinada em função da altura pluviométrica, optou-se por usar este método.

GARCEZ (1967) aponta que este método só é válido quando os dados considerados satisfazem a condição imposta pela equação abaixo:

$$\frac{H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n}}{H_{m\acute{e}dio}} < 0,25 \quad (6.1)$$

Onde:

$H_{m\acute{a}x}$ - maior valor entre os dados considerados.

$H_{m\acute{i}n}$ - menor valor entre os dados considerados.

$H_{m\acute{e}dio}$ - média aritmética obtida pelo cálculo.

Efetuada-se o cálculo com os dados do trabalho citado obteve-se valor igual a 0,1285, satisfazendo portanto as condições de validação de uso do método para este caso.

A fim de complementar as informações sobre as chuvas da região e relacionar a altura de precipitação com a erosividade e também com a dinâmica da vazão líquida da área de estudo, obteve-se junto ao Núcleo de Meteorologia (NEMET) em Palmas, os dados sobre altura de chuva para o período de estudo (fevereiro de 1998 a janeiro de 1999).

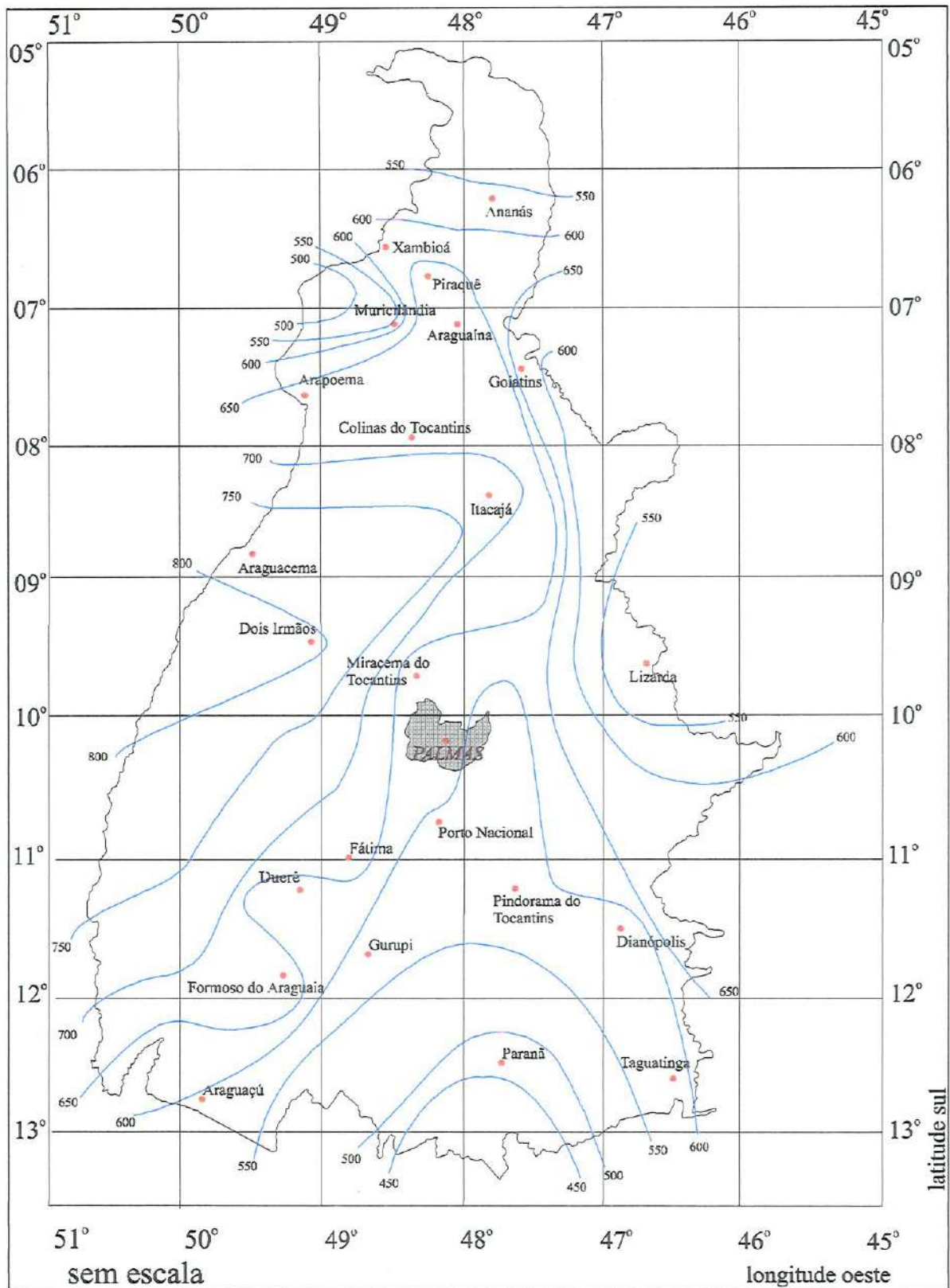


FIGURA 6.1 - Mapa das linhas isoerodentes do estado (em $\text{tmm} \times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$ (sem escala). FONTE: NEGREIROS NETO (1997).

6.2.2.2 – Hipsometria, declividade e fator LS:

6.2.2.2.1- Geração do “Modelo de Elevação Digital” da bacia hidrográfica:

O modelo de elevação digital do terreno da área de estudo foi gerado a partir das informações contidas no arquivo das curvas de nível da carta topográfica da região (D.S.G., 1979), digitalizadas em tela. Para obter-se um produto representando as condições mais próximas possíveis da realidade, houve necessidade da inclusão de informações complementares sobre a topografia local, as quais foram obtidas através de consulta ao Plano Diretor de Palmas (GRUPO QUATRO, 1991).

Após esta etapa procedeu-se a análise das curvas digitalizadas utilizando-se o software TOSCA, a fim de detectar possíveis erros de digitalização que pudessem influenciar na qualidade do Modelo de Elevação Digital.

Como este comando gera arquivos em formato VECTOR, houve a necessidade de transformá-lo para o formato RASTER, isto foi feito utilizando-se o comando RASTER/VECTOR CONVERSION com a opção LINERAS, realizadas com o IDRISI.

Procedeu-se em seguida com a geração do Modelo de Elevação Digital utilizando-se o comando SURFACE INTERPOLATION com a opção INTERCON. Em seguida aplicou-se o comando FILTER com a opção MEAN, por duas vezes consecutivas a fim de eliminar alguns “ruídos” gerados pelo software no momento da interpolação das curvas e conseguir obter uma imagem mais “macia” e mais próxima possível da realidade.

6.2.2.2.2 - Geração dos mapas de classes hipsométricas e classes de declividade da bacia hidrográfica:

Para gerar o mapa de classes hipsométricas da bacia (FIGURA 6.2), utilizou-se o arquivo do Modelo de Elevação Digital e aplicou-se o comando RECLASS, com as classes divididas conforme a legenda da FIGURA 6.2.

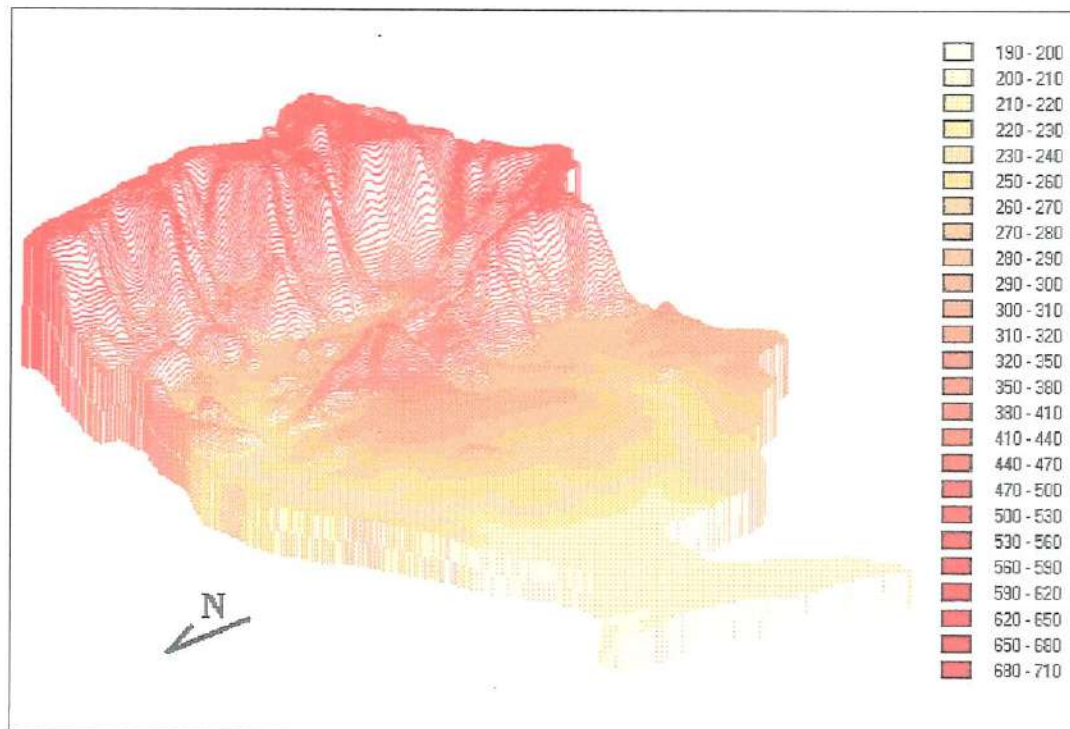
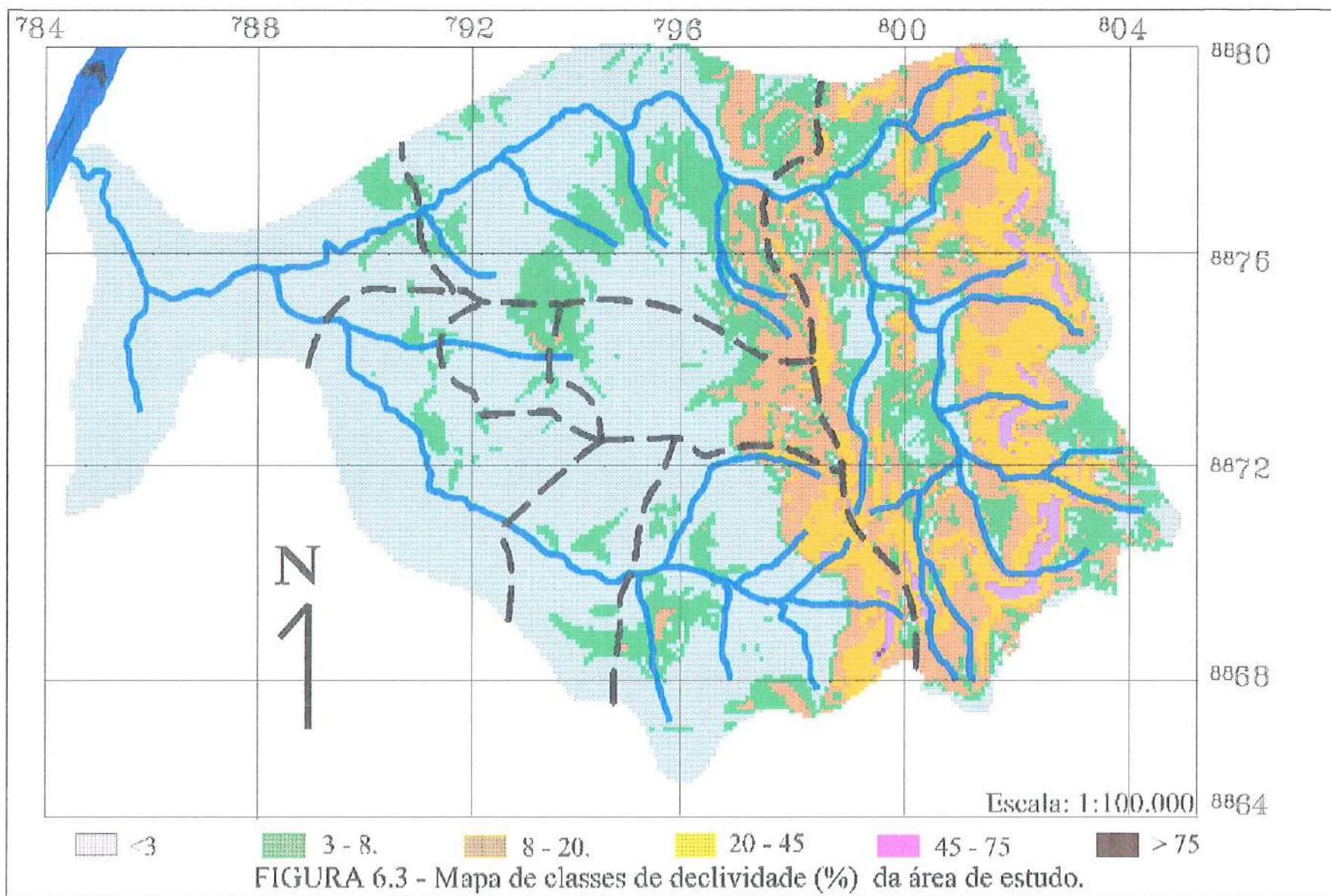


FIGURA 6.2 - Mapa da bacia, em perspectiva, mostrando as classes hipsométricas (em metros) da área.

Para gerar o mapa de declividade utilizou-se o arquivo do Modelo de Elevação Digital e aplicou-se o comando SURFACE, com a opção de cálculo em porcentagem. Este comando gerou uma nova imagem onde o valor contido em cada pixel era o valor de sua declividade, em porcentagem. Para reclassificar a imagem e dividi-la em classes de declividade desejadas pelo operador, aplicou-se o comando RECLASS, sendo que as classes de declividade e caracterização do relevo foram extraídas de LEMOS & SANTOS (1996) (TABELA 4.4), gerando a imagem mostrada na FIGURA 6.3.

A imagem da FIGURA 6.3 foi confeccionada a fim de mostrar de maneira mais clara os locais da bacia onde a declividade é mais acentuada, bem como a caracterização do relevo da área. Entretanto esta imagem não foi utilizada no procedimento de obtenção dos valores do fator topográfico da Equação Universal de Perda de Solo.



6.2.2.2.3 - Geração do mapa de classes de valores do fator LS da bacia hidrográfica:

Para gerar o mapa de classes de valores do fator LS utilizou-se o software "USLE - 2D", elaborado por DESMET & GOVERS (1996), em versão para ambiente Windows e compatível com o software IDRISI.

O software requisita o arquivo do Modelo de Elevação Digital da área de trabalho juntamente com um segundo arquivo da área específica da bacia hidrográfica, ambas geradas com o IDRISI. Dentro do software, utilizou-se as opções "Multiple Flow" para a rotina de algoritmos e o modelo algorítmico de "Wischmeier & Smith".

Após calcular o valor do fator LS para cada pixel da bacia e gerar o arquivo, retornou-se ao IDRISI e aplicou-se o comando RECLASS para agrupar os valores em classes e gerar o mapa, que está exposto no capítulo RESULTADOS. Contudo, para uso nas etapas seguintes de cálculos da EUPS, utilizou-se a imagem não reclassificada.

6.2.2.3 - Fator K - erodibilidade das classes de solos ocorrentes na bacia hidrográfica:

Para conhecimento de quais tipos de solo ocorrem na área de estudo utilizou-se como fonte de informação o mapa de solos do município de Palmas elaborado por RANZANI (1998). Neste mapeamento o autor não considerou os afloramentos rochosos existentes na região escarpada da área de estudo. Sendo assim, por meio de consulta à imagem de satélite e utilizando-se o software IDRISI, incluiu-se este tipo de superfície no mapa de solos.

A área de interesse do mapa de solos foi copiada numa folha de papel vegetal e sobreposta na carta topográfica (papel). Comparando-se os caminhos das linhas divisórias dos tipos de solos na carta topográfica, estas linhas foram digitalizadas em tela tendo como base na tela do computador o arquivo da carta topográfica já *scaneada*. As linhas foram digitalizadas utilizando-se o comando DIGITIZE com a opção de criação POLYGON, gerando-se o arquivo referente ao mapa de solos no IDRISI.

Como este comando gera arquivos em formato VECTOR, houve a necessidade de transformá-lo para o formato RASTER, isto foi feito utilizando-se o comando RASTER/VECTOR CONVERSION com a opção POLYRAS. Todas estas etapas foram realizadas com o IDRISI.

Para a determinação da erodibilidade de cada tipo de solo, considerando as afirmações anteriormente feitas sobre custo e demanda de tempo para conseguir valores absolutos deste fator para cada tipo de solo ocorrente na área de estudo dentro da metodologia proposta por WISCHMEIER & SMITH (1978), optou-se por estimar os valores de

erodibilidade conforme metodologia proposta por MITCHELL & BUBENZER (1980).

A classe textural a que pertence cada tipo de solo bem como o conteúdo de matéria orgânica foram extraídos de LEITE (1999). Após consulta na tabela exposta em MITCHELL & BUBENZER (1980), obteve-se os valores do fator K para cada tipo de solo.

Para a classe rocha exposta, não foi encontrado, junto a literatura consultada, valor do fator K para este tipo de material, uma vez que o conceito de erodibilidade é dado a solos. Pelo fato de não haver formação de solo sobre o material, considerou-se como erodibilidade do material a sua fragilidade aos processos intempéricos, uma vez que há o desgaste da rocha e o transporte do material morro abaixo. Segundo LEINZ & AMARAL (1989), POPP (1988) e VIEIRA (1988), o grau de decomposição e a taxa de remoção de material varia conforme o tipo de rocha e a intensidade de atuação do intemperismo químico sobre o material varia conforme a topografia e o grau de diaclasamento da rocha. Para o presente caso considerou-se baixo o grau de intemperismo químico em função das condições da topografia local (escarpada), havendo, provavelmente, maior participação na destacabilidade do material conforme o impacto da gota de chuva sobre a rocha e o transporte físico do escoamento formado sobre a rocha.

Utilizando-se o IDRISI, através do comando RECLASS atribuiu-se o valor do fator "K" para cada tipo de solo ocorrente no mapa, gerando o arquivo "fator K" e utilizado nas etapas seguintes de cálculo da EUPS.

6.2.2.4 – Fator C - cobertura do solo:

Para obter o mapa do fator C da EUPS foi necessário, anteriormente, elaborar o mapa do uso e ocupação do solo da bacia. Para realizar esta etapa, utilizou-se a imagem adquirida junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), imagem multiespectral (bandas 3, 4 e 5) do satélite "Landsat-5", obtida pela passagem do satélite sobre o município de Palmas em 27 de julho de 1998.

Uma vez adquirida a imagem de satélite, procedeu-se com a fase de melhoramento da visualização da imagem, a qual compreendeu o uso de técnicas de ampliação de contraste entre tons de cores, aumento de brilho, intensidade e saturação de cores, quando necessário. Esta etapa foi realizada com o software "COREL-PHOTO PAINT", considerando-se algumas recomendações feitas em NOVO (1992) e em VALÉRIO FILHO (1994).

Outra etapa de pós-processamento foi a correção geométrica da imagem, a qual foi realizada com o software IDRISI através do comando "RESAMPLE" com as opções de tipo de reamostragem "NEAREST

NEIGHBOR” e função “LINEAR” de mapeamento. O objetivo da realização desta correção espacial foi para que o mapa de classes de uso e ocupação e classes de valores do fator “C”, gerado para a área de estudo e obtida através da imagem de satélite, ficasse ajustado espacialmente com os demais mapas gerados a partir da carta topográfica e ocorresse então a sobreposição exata dos limites da área entre as imagens. Para parametrização do fator “C”, considerou-se sua variação segundo o tipo de cobertura sobre o solo.

Conforme exposto por ROLOFF *et al* (1992), assim como no fator “K”, o método direto e mais usual para determinação do fator “C” da EUPS demanda muito tempo e recursos para obtenção de dados precisos e definitivos, sendo muitas vezes determinado por métodos indiretos ou ainda atribuindo-se valores do fator “C” determinados em localidades de características semelhantes, principalmente climatológicas.

Dentro deste contexto os valores do fator “C” para cada classe de cobertura do solo foram atribuídos a partir daqueles apresentados em MITCHELL & BUBENZER (1980), TAVARES (1986) e WISCHMEIER & SMITH (1978), conforme o caso. Foram detectadas onze classes de uso e ocupação, sendo cada uma delas descritas a seguir e os valores do fator C são apresentados na TABELA 6.1.

A classe “mata” corresponde a vegetação mais densa e de maior porte da bacia, compreendendo a mata ciliar, cerradão e mata de encosta.

A classe “gramado urbano” corresponde a terrenos com gramado plantado (jardins de rotatórias e canteiros de vias públicas, principalmente). Os locais onde ocorre este tipo de cobertura do solo são geralmente canteiros localizados entre duas avenidas ou no centro de rotatórias, as quais são muitas em Palmas, em função do modo de disposição e interligação das ruas. Foram projetados e construídos pelo setor de parques e jardins da prefeitura e têm, segundo este órgão, a função de proporcionar mais áreas verdes para o município.

A classe “rocha exposta” corresponde a costões rochosos geralmente desprovidos de vegetação encontrados nas partes mais íngremes da Serra do Lajeado. Decidiu-se atribuir valor de 1,000 para esta classe pois não há nenhum tipo de vegetação sobre a superfície da rocha (salvo a prováveis ocorrências de líquens e/ou musgos). Nenhum valor do fator C para este tipo de superfície não foi encontrado em nenhuma das bibliografias pesquisadas.

A classe “solo exposto” corresponde a manchas de solo desprovido de nenhum tipo de cobertura, vegetal ou não, ficando totalmente exposto à radiação solar e/ou à ação erosiva das chuvas. Inclui-se nesta classe ruas de terra, quando possíveis de serem distinguidas na imagem de satélite.

TABELA 6.1 - Valores do fator "C" atribuído para cada classe de uso e ocupação:

Classe de uso e ocupação do solo	Valor do fator C atribuído para cada classe
Solo exposto <i>MA</i>	1,000
Gramado urbano (jardim) <i>ME</i>	0,050
Edificações <i>MB</i>	0,001
Área queimada <i>MA</i>	0,100
Pavimentação <i>MB</i>	0,010
Mata (mata ciliar, cerradão e/ou mata de encosta)	0,001
Corpos d'água	0,000
Cerrado (campo limpo) ou campo gramado	0,010
Cerrado (campo sujo)	0,005
Campo ralo	0,150
Rocha exposta	1,000

FONTE: MITCHELL & BUBENZER (1980), TAVARES (1986) e WISCHMEIER & SMITH (1978).

A classe "área com queimada" corresponde a áreas que apresentaram-se com o processo de queimada, onde provavelmente, na maioria dos casos, seja queimada derivada de ação antrópica. A atribuição de valor 0,1 deve-se ao fato de estar-se considerando o valor médio anual de cobertura. Para as localidades que sofreram o processo de queimada, o solo fica exposto praticamente na sua totalidade logo após a ocorrência da queimada e geralmente nota-se um crescimento da vegetação de forma lenta e precária, sendo que nas primeiras chuvas ocorrentes no início do período chuvoso a proteção conferida pela vegetação é quase nula. Após as primeiras chuvas, em função do aumento da umidade do solo, ocorre uma aceleração do crescimento da vegetação e também o aumento gradativo da proteção da cobertura do solo nestas localidades.

A classe "edificações" corresponde a construções ocorrentes em várias partes da bacia (incluindo áreas pavimentadas para uso como estacionamento) as quais foram detectadas pelo satélite e claramente visualizadas na fotografia.

A classe "pavimentação" corresponde aos pixels onde foi detectado o asfalto (ruas, avenidas, estradas, pista de aeroporto).

A classe "campo sujo" corresponde aos terrenos com vegetação de pequeno porte, predominantemente do tipo gramíneas. Junto

há uma vegetação de médio ou grande porte, porém a vegetação de maior porte possui média a baixa densidade.

A classe “campo limpo” corresponde aos terrenos cobertos quase que exclusivamente por vegetação de pequeno porte, formado basicamente por gramíneas, constituindo pastagens naturais ou cultivadas, raramente ocorrendo um ou outro indivíduo de maior porte na área.

A classe “campo ralo” corresponde aos terrenos cuja vegetação é composta quase que exclusivamente de gramíneas e mesmo esta classe de vegetação não possui alta densidade, promovendo então a exposição em grau médio a acentuado do solo, porém não ficando o solo da área totalmente descoberto, daí a atribuição do valor 0,15 para esta classe, seguindo recomendações encontradas em WISCHMEIER & SMITH (1978).

A classe “corpos d’água” corresponde a represas ou açudes ocorrentes na bacia e cujas dimensões foram grandes suficientes para serem detectadas pelo sensor do satélite e visualizadas na fotografia.

Sabendo-se que um pixel, que é a menor unidade de uma imagem em formato “raster”, é constituído de um único valor numérico (identificador) e ainda possui a forma de um quadrado com 30m de lado, há de se considerar que o identificador do pixel, no momento da cobertura do satélite sobre a área, resulte num valor onde possam estar incluídos simultaneamente duas ou mais classes de uso e ocupação. Uma vez que é necessário atribuir um único valor do “fator C” para o pixel, este valor poderá ser um valor médio ponderado do “fator C”, quando for possível estimar quais tipos de uso estariam incluídos e em qual proporção estariam participando na formação do identificador do pixel.

A importação dos valores do fator C para cada classe de uso e ocupação foi realizada com o software IDRISI através do comando RECLASS, gerando o arquivo “fator C” e utilizado nas etapas seguintes de cálculo da EUPS.

6.2.2.5 - Fator P - práticas conservacionistas:

O fator P foi considerado igual a 1 para toda a área da bacia. Para a área rural, segundo informações obtidas junto ao engenheiro agrônomo Roberto Corrêa Centeno, da Federação da Agricultura do Estado do Tocantins (F.A.E.T.), em pesquisa realizada por este órgão entre 1997 e 1998, em todas as propriedades agrícolas da região foi constatado a não adoção de nenhum tipo de prática conservacionista, comumente ocorrendo o manejo não planejado do solo inclusive com a invasão da área de plantio em margens de rios.

Para a área urbana, em apenas um ponto da cidade constatou-se a colocação de pacotes de pedras (gabiões) para evitar a perda de solo e não comprometer a obra de construção civil (ponte sobre o Córrego Brejo

Comprido). Nas demais localidades constatou-se a não ocorrência de nenhum tipo de atividade e/ou obra civil realizada com o intuito de reter o processo de perda de solo.

6.3 – Elaboração do mapa de potencial natural de erosão:

Uma vez já atribuídos os valores de cada característica dentro de cada fator da EUPS e distribuídos em seus respectivos mapas, procedeu-se com a elaboração do mapa de potencial natural de erosão (PNE). Este mapa compreende a multiplicação dos mapas: erodibilidade do solo (fator K), fator topográfico (fator LS) e do valor numérico do fator R (erosividade das chuvas: $616,65 \text{ tm} \times \text{mm} \times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$), ficando a equação:

$$PNE = 616,15 * FatorK * FatorLS \quad (6.2)$$

O comando utilizado com o software IDRISI nesta etapa foi o “IMAGE CALCULATOR”, gerando o arquivo do potencial natural de erosão da bacia (PNE) a partir do qual elaborou-se o mapa “potencial natural de erosão” uma vez reclassificando a imagem a partir das classes de valores mencionadas por VALÉRIO FILHO (1994).

6.4 - Elaboração do mapa de expectativa de perda de solo (EPS) da bacia hidrográfica em função do seu uso e ocupação:

À imagem resultante que representa o PNE (imagem não reclassificada) foi sobreposta a imagem do fator “C”, resultando o produto final da EUPS que é a expectativa de perda anual de solo (EPS) para cada área em função das características de cada fator da EUPS apresentadas pela área de estudo. Esta sobreposição foi realizada com o software IDRISI através do comando “OVERLAY”, com a opção de multiplicação:

$$EPS = PNE * FatorC \quad (6.3)$$

Como o procedimento de sobreposição de mapas (comando “OVERLAY” do IDRISI) efetua-se pela operação matemática de multiplicação, não houve a necessidade de incluir o fator “P” (práticas conservacionistas), uma vez que se fosse elaborado um mapa para este fator, todo ele teria valor “1” e este valor é o elemento neutro da multiplicação, onde seriam gerados os mesmos valores caso fosse realizada a operação.

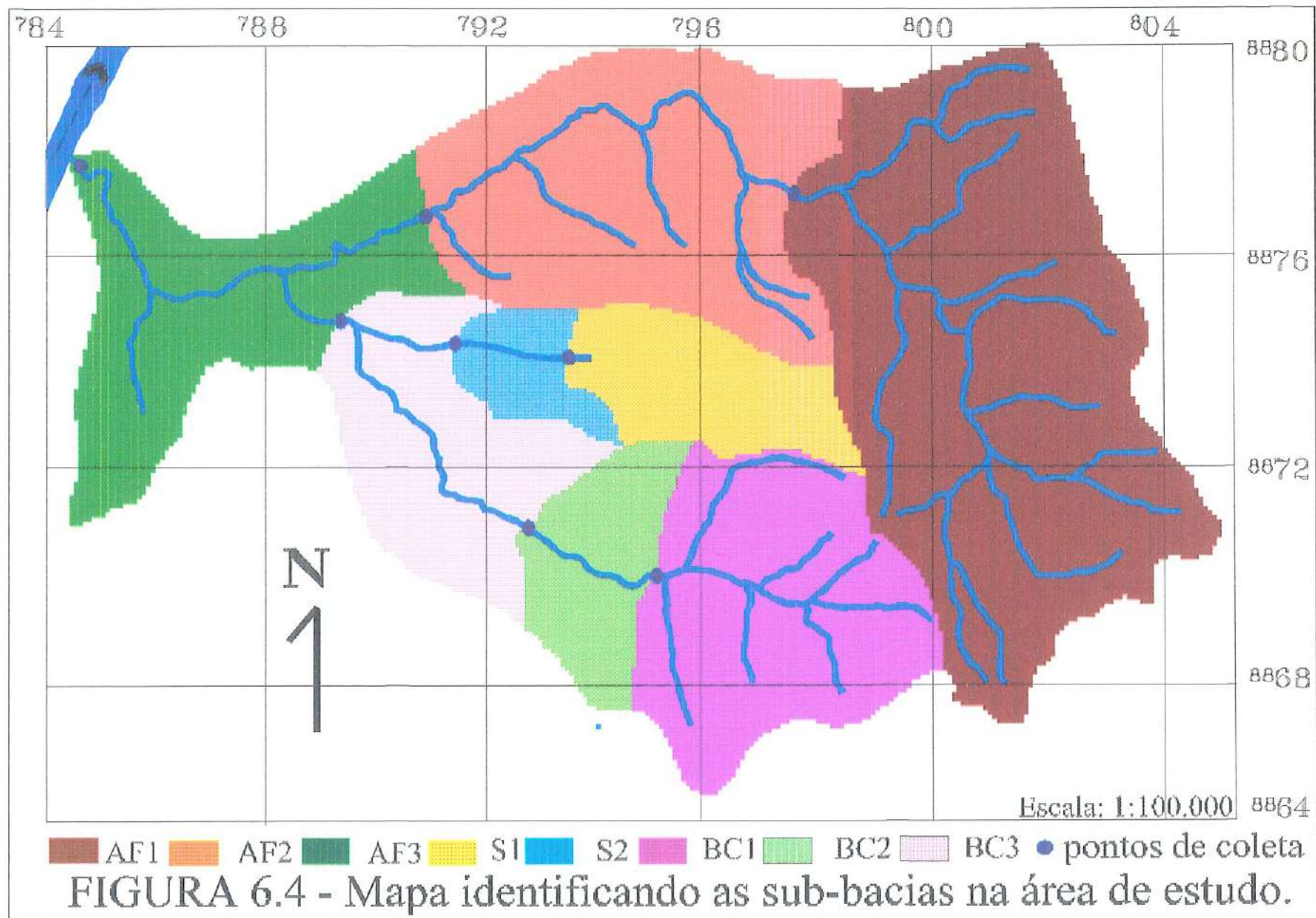
6.5 - Determinação dos pontos de amostragem e digitalização das sub-bacias; estimativa da vazão líquida e vazão sólida e análise de parâmetros indicadores da qualidade da água em cada ponto de amostragem:

6.5.1 - Localização e digitalização dos pontos de amostragem:

Conforme mostra a FIGURA 6.4, foram eleitos oito pontos de amostragem julgados representativos para compor a rede sedimentométrica e efetuar-se as leituras de campo e coletas de amostras: três ao longo do Ribeirão Água Fria, três ao longo do Córrego Brejo-Comprido e dois ao longo do Córrego Suçuapara. A escolha dos pontos foi realizada através de visitas prévias a diversos pontos, conversas com pessoal conhecedor da região e consultas ao material fotográfico gerado no sobrevôo. O critério de escolha baseou-se nos fatores: qualidade do acesso ao local de coleta, forma e aspecto do canal de drenagem para que pudesse haver possibilidades de efetuar-se as medições necessárias para posterior cálculo da vazão e ainda representatividade do ponto em relação a sua área de drenagem (sub-bacia).

Uma vez determinados os pontos de amostragem, estes foram plotados na carta topográfica, auxiliando-se também pela fotografia do satélite. Tomando-se como base os pontos nos rios e orientando-se pelas curvas de nível, as quais possibilitaram identificar as regiões divisoras de água, determinou-se as sub-bacias (FIGURA 6.4). Utilizando os mesmos recursos de digitalização das etapas anteriormente descritas, digitalizou-se as sub-bacias com o software IDRISI. Os limites das sub-bacias são os divisores de água e a intersecção da linha divisória da sub-bacia com o curso d'água representa o ponto de coleta de dados e amostras para determinação das vazões líquida e sólida da sub-bacia.

A determinação da vazão líquida bem como a coleta de amostras de água para posteriores análises de laboratório (descritas a seguir) foram realizadas no mesmo dia, mensalmente, pelo período de um ano (fevereiro de 1998 a janeiro de 1999).



6.5.2 - Estimativa da vazão:

O procedimento adotado consistiu em determinar duas seções transversais do rio, cuja distância entre elas era anotada. Para cada seção transversal efetuou-se a leitura das profundidades do canal em intervalos regulares (0,5 m) a partir de uma das margens. Entre cada ponto de leitura da profundidade calculou-se a área do setor através da fórmula do trapézio e, posteriormente, somando as áreas de todos os setores, determinou-se a área de toda a seção (FAO, 1993). Calculou-se o valor médio (média aritmética) entre as duas seções.

Era também lançado um flutuador (laranja) neste trecho do rio (pouco acima da seção de montante a fim de que o flutuador já se encontrasse estável no momento de passagem pelo marcador da seção). O tempo de percurso do flutuador entre as seções era então cronometrado e anotado, conforme descrito em PIÃO (1995). Eram realizados, para cada coleta de dados em cada ponto, dez leituras de velocidades. Posteriormente calculou-se a média aritmética destes dez valores para uso nas demais etapas do trabalho.

Dividindo a distância entre as seções pelo tempo médio do percurso, obteve-se a velocidade média de escoamento no trecho. Multiplicando-se a velocidade média pelo valor médio das áreas das seções era então estimada a vazão do canal naquele trecho.

Salienta-se que o método de estimativa de velocidade de escoamento (flutuador – com utilização de laranja), embora aparentemente possa parecer rudimentar e pouco científico, é um método já tradicional e por sua simplicidade permite ampla gama de aplicação. Para o caso da bacia estudada, por tratar-se de corpos d'água de pequeno porte e, na maioria das coletas, com escoamento apresentando certa turbulência, não havia grandes diferenças de velocidade entre o centro do canal de escoamento e o leito e/ou as bordas, permitindo o uso do flutuador sem posteriores correções. Ainda, nos meses de estiagem o escoamento atingia velocidades muito baixas onde definitivamente impossibilitaria o uso de instrumentos mais modernos como molinetes, pois estes só são acionados a partir de uma determinada velocidade. A baixa velocidade de escoamento não apresentou problemas para o uso do flutuador.

6.5.3 - Análise de parâmetros físicos que caracterizam a concentração de sedimentos e qualidade da água:

O objetivo desta parte do trabalho foi caracterizar as águas dos canais de drenagem da bacia sob o aspecto físico-hidrossedimentológico e ainda estabelecer relação entre as informações levantadas na análise da água das amostras coletadas nos canais de drenagem (oito pontos de amostragem) com a expectativa de ocorrência de

processos erosivos, cujas conseqüências podem ser vistas, em partes, nos cursos d'água.

Turbidez: O índice de turbidez de cada amostra de água foi determinado utilizando-se um turbidímetro marca HACH modelo 2100P com os resultados fornecidos em NTU (Nephelometric Turbidity Units).

Sólidos dissolvidos: O teor de sólidos dissolvidos (totais) foi determinado em cada amostra por meio de um condutivímetro marca HACH modelo "Conductivity Prob" 50161, com os resultados fornecidos em mg/l.

Sólidos sedimentáveis: A estimativa de sólidos sedimentáveis foi realizada através de coletas de três amostras de dois litros cada uma nos mesmos pontos de coletas citados anteriormente. Estas amostras eram transportadas para laboratório, homogeneizadas e de cada amostra era extraído o volume de 1 litro e colocado num cone de Inhoff, deixado em repouso e promovendo-se uma única agitação na amostra por volta do quadragésimo quinto minuto, utilizando-se uma haste de metal. Após uma hora desde a colocação da amostra no cone, era realizada a leitura do volume de sedimentos decantados no fundo do cone, em ml/l (EATON *et al*, 1995).

Sólidos Totais: A estimativa da concentração de sedimentos foi realizada coletando-se três amostras de água de 500 ml cada uma nos mesmos locais onde foram realizadas as estimativas de vazão, utilizando-se o método da integração vertical, conforme descrito em CARVALHO (N.O., 1994). Estas amostras eram transportadas ao laboratório, homogeneizadas e para cada amostra eram separados 100 ml. Este volume de amostra separada era colocado num recipiente previamente pesado e posteriormente colocado em estufa a 103°C para evaporação até estabilização do peso. O recipiente era novamente pesado e do valor final obtido era subtraído o valor do recipiente vazio. Desta forma obteve-se o valor dos sólidos totais contidos em cada amostra de água, conforme metodologia citada em GANGOLFI (1971) e em PIÃO (1995) e descrita mais detalhadamente em EATON *et al* (1995).

O termo "sólidos totais" tratado no presente estudo compreende as frações dissolvida e particulada em suspensão e foi considerada assim devido ao método utilizado para determinar a concentração de sólidos na amostra d'água (evaporação). Outros métodos, tais como o da filtração, é de caráter seletivo, pois permite a passagem dos elementos dissolvidos e a fração dissolvida deveria ser somada caso se optasse por quantificar a fração *total*.

6.5.4 - Cálculo da descarga sólida e produção específica líquida de sedimentos para cada sub-bacia e para a área total:

Com os dados de cada ponto de coleta obtido para cada mês foi realizado o cálculo da descarga sólida total, efetuado através do método simplificado de Colby, citado por CARVALHO (N. O., 1994) e previamente utilizado por TAVARES (1986).

Uma vez determinada a descarga sólida total (expressa em toneladas de sedimento por dia - t/dia), realizou-se a estimativa do deflúvio sólido total para cada mês a partir do cálculo da média aritmética entre os dados da coleta realizada no mês propriamente dito e dos dados do mês seguinte, multiplicada pelo número de dias existentes entre as duas coletas. O deflúvio sólido anual líquido foi determinado somando-se os valores positivos de cada um dos doze meses de coleta. Os valores negativos que eventualmente apareceram, indicaram deposição de sedimento na sub-bacia para aquele mês e estes valores também foram somados separadamente para a determinação da deposição total de cada sub-bacia ao longo do período de estudo.

A quantidade de sedimento carregado de uma área de drenagem determinado numa seção transversal do rio quantifica o sedimento carregado desde morro acima a partir da nascente do rio ou de um dos seus tributários. Sendo assim, para determinar a quantidade de sedimento removido e carregado num trecho da bacia, ou no caso do presente trabalho, de uma sub-bacia, procedeu-se o cálculo conforme descrito em LAJCZACK & JANSSON (1993) e mostrado na FIGURA 6.5. o procedimento consiste em dividir a produção líquida anual de sedimentos de uma sub-bacia pela sua respectiva área. Calculou-se o valor da *produção específica líquida de sedimentos* para cada sub-bacia e para a bacia total, no intervalo fevereiro de 1998 a janeiro de 1999, utilizando-se a equação (4.18), com os valores expressos em $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$.

Os dados foram comparados com outros estudos e plotados no gráfico de linha-normal de produção de sedimentos apresentado por CARVALHO (N. O., 1994).

produção
líquida
de
sedimentos

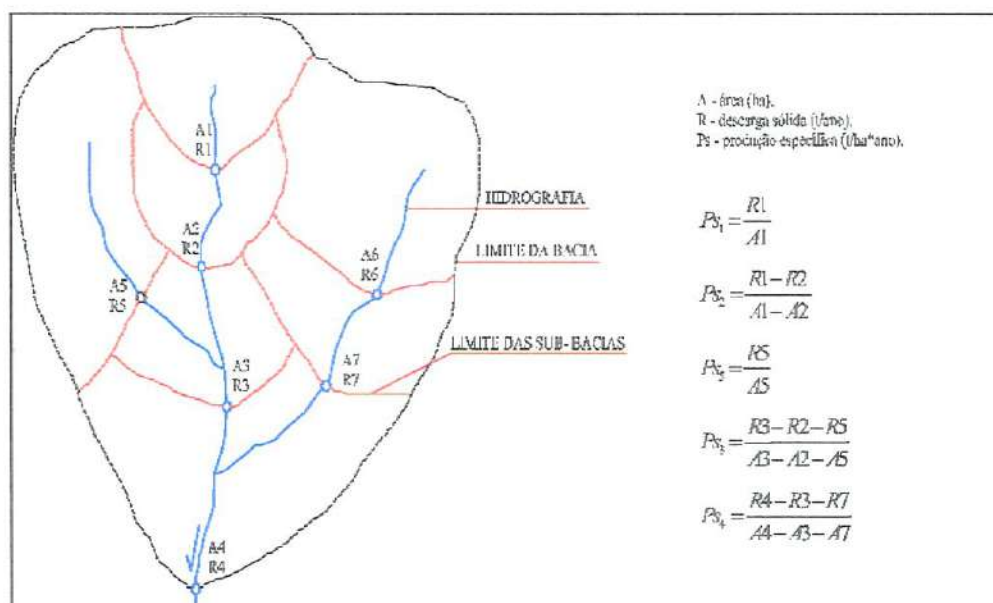


FIGURA 6.5 – Mapa mostrando procedimento de cálculo para sub-bacias. FONTE: LAJCZACK & JANSSON (1993).

6.5.5 – Estimativa do coeficiente de remoção de sedimentos para cada sub-bacia e para a área total:

Após levantar as informações de 1) expectativas de perdas de solo da bacia hidrográfica e 2) deflúvio sólido médio anual de sedimentos, procedeu-se a integração das informações a fim de gerar o valor do *coeficiente de transferência ou remoção de sedimentos* para cada sub-bacia e também para a área total. Isto foi feito através do uso da equação 4.19 para a área total e todas as sub-bacias, com exceção da sub-bacia AF3, que foi utilizado o método da relação relevo-comprimento. Tal fato será discutido mais oportunamente nos capítulos RESULTADOS e DISCUSSÃO.

Os valores deste parâmetro obtidos para cada sub-bacia (todas) foram plotados no gráfico que mostra as relações entre o coeficiente de remoção de sedimento e a área da bacia contribuinte, sendo gerada a reta de tendência (regressão) representativa para a área de estudo (apresentada no próximo capítulo). Esta reta foi plotada no gráfico que mostra as relações entre o coeficiente de remoção de sedimento e a área da bacia contribuinte também apresentada por CARVALHO (N. O., 1994) e comparada com a reta geral de tendência obtida por BOYCE (1975) e apresentada por HAAN *et al* (1994) (FIGURA 4.8). O valor do coeficiente de remoção de sedimento obtido para a área total (bacia) foi comparado com valores de outras bacias.

6.5.6 – Análise da distribuição espacial das diferentes modalidades de erosão e da sua relação quanto ao aporte de sedimentos nos canais de drenagem:

Baseado nas informações levantadas via geoprocessamento e/ou trabalho de campo, elaborou-se um mapa mostrando as modalidades de erosão (laminar, linear (ravinas e/ou voçorocas), canal (rio) e/ou deslizamento) que estaria(m) ocorrendo, durante o período de estudo, conforme o local da bacia (apresentado no capítulo RESULTADOS). A partir deste mapa realizou-se uma análise buscando explicar o grau de participação de cada modalidade de erosão que seria prevista no aporte de sedimentos aos canais de drenagem conforme as características da área (características físicas e de uso e ocupação) e o tipo de erosão.

Desta forma, separou-se numa tabela e de forma qualitativa, a estimativa de qual modalidade de erosão poderia estar contribuindo em maior grau no aporte de sedimentos para cada sub-bacia e posteriormente para a área total.

A distribuição e estimativa quantitativa da erosão laminar foi realizada utilizando-se a EUPS, com posterior cálculo e interpretação da potencialidade de aporte de sedimentos conforme a localização.

A localização das formas lineares foi realizada por cadastramento feito por visitas a campo durante o período de estudo. Posteriormente fez-se a análise da sua distribuição e qualificação em função de suas dimensões (sulcos, ravinas e/ou voçorocas), com posterior correlação das erosões lineares com o mapa de solos, mapa geológico e o mapa de relevo da área.

A distribuição da erosão por canal ao longo dos canais de drenagem e posterior análise de sua influência foi realizada por integração das informações de morfologia da bacia, dados intrínsecos ao cálculo da vazão líquida (velocidade de escoamento, profundidade do canal, entre outros) e características físicas hidrossedimentológicas dos pontos de amostragem, relevo da área e tipo de solo predominante nos canais de drenagem.

Finalmente, a localização das ocorrências de erosão sob a forma de deslizamento (remoção em massa) foi realizada verificando o mapa de declividade, o modelo de elevação digital do terreno, este último forneceu informações sobre a forma das encostas (côncavas, retilíneas ou convexas). O tipo de solo e aspectos da cobertura do solo também foram informações consideradas na análise.

Finalmente, após gerar toda essa massa de informação, gerou-se o modelo gráfico e sintético do trabalho, cujo “fluxograma” encontra-se no capítulo ANEXOS. Este fluxograma busca explicar todas as etapas desenvolvidas no trabalho, frizando os principais produtos gerados com ele.

Frisa-se aqui também tanto o caráter pioneiro que o trabalho teve devido a localidade em que o estudo foi desenvolvido (em função da escassez de dados daquela região) quanto, principalmente, o caráter original da forma de abordagem do trabalho dentro do contexto geral da análise ambiental. Esta forma de abordagem compreendeu etapas de análise de quais informações seriam necessárias obter antes de iniciar as etapas de campo até o estudo de formas de manipulação e integração das informações mais fundamentais trabalhadas ao longo de todo o desenvolvimento do estudo, compreendendo ainda o aspecto plástico ou estético, ou seja, qual o melhor modo de apresentação de todos os produtos e conclusões geradas neste trabalho.

7 - RESULTADOS:

Apesar da menção anteriormente já feita sobre o padrão de apresentação de todas as informações levantadas e trabalhadas no presente estudo, enfatiza-se uma vez mais que as informações obtidas para cada parâmetro discorre de forma separada. Porém, conforme avança a complexidade dos parâmetros estudados, notar-se-á que há uma integração de informações das diversas fontes pesquisadas, gerando novas informações derivadas e dando base para permitir uma discussão final que contemple a dinâmica de todos os parâmetros estudados no trabalho.

7.1 – Análise morfométrica da bacia:

Os valores da análise comparativa para cada parâmetro entre as sub-bacias e da área total da bacia hidrográfica (AT) estão expostos na TABELA 7.1.

Verifica-se que para o parâmetro índice de forma “K” a sub-bacia que apresentou o menor valor foi BC1, sendo o maior valor encontrado para a sub-bacia AF3. A AT ficou com valor considerado alto comparando-se com os valores obtidos para as sub-bacias.

O parâmetro forma da figura revelou que para a AT, a forma mais próxima verificada foi a de um círculo (os valores numéricos são apresentados no capítulo ANEXOS). A única sub-bacia cuja forma aproximou-se melhor de um triângulo foi a sub-bacia AF3. As sub-bacias S1, S2, BC3 e AF2 possuem formato mais próximo de um retângulo, enquanto as demais possuem formato mais próximo de um círculo.

Todas as sub-bacias e também a AT ficaram com uma predominância da faixa altimétrica entre 210 e 300 metros, ainda que a amplitude máxima observada foi 520m, com o menor valor observado na foz do Ribeirão Água Fria no rio Tocantins (190m) e o maior valor observado no alto da Serra do Lajeado (710m). As informações do parâmetro amplitude altimétrica revelaram amplitude moderada para as sub-bacias S2, BC2, BC3 e AF3, estas localizadas na parte intermediária ou baixa da área total. As sub-bacias AF1 e BC1 foram as que obtiveram maiores valores e as sub-bacias S1 e AF2 ficaram com valores intermediários.

A bacia hidrográfica (área total) foi considerada de 3^a ordem conforme o sistema de hierarquização proposto por Strahler e citado em CHRISTOFOLETTI (1969 e 1981). Este valor da classificação foi obtido já na porção alta da bacia, sendo este o valor encontrado já para a sub-bacia AF1. O canal principal desta sub-bacia recebeu afluentes sempre de ordens menores das outras sub-bacias, por isso desembocando no rio Tocantins com esta ordem.

Os dados apresentados sobre a declividade representam a classe modal obtida em cada sub-bacia. A área de estudo apresentou, em sua maior parte, declividade considerada plana, onde houve um predomínio da classe mais plana (1- 3%). Apenas a porção da alta bacia, mais especificamente a sub-bacia AF1, obteve um predomínio da classe de inclinação 8 - 20%.

No parâmetro relação de bifurcação os valores apresentados são médias ponderadas obtidas para cada sub-bacia. As sub-bacias S1, S2 e BC2 não obtiveram resultados, pois não há nenhum encontro de canais nestas sub-bacias. O maior valor obtido foi para a sub-bacia BC1 (7,000) e o menor valor (1,000) foi observado nas sub-bacias AF3 e BC3. A área total apresentou valor 5,337.

O parâmetro número de canais considerados foi necessário para o cálculo da densidade hidrográfica, na qual a sub-bacia AF1 ficou com o maior valor, isto pelo alto número de canais encontrados comparado com as outras sub-bacias. O menor valor ficou para a sub-bacia S1 e a área total obteve valor de 0,310 rios/km².

Para a densidade de drenagem o maior valor observado foi para a sub-bacia AF1, observando-se grande amplitude de variação entre os dados. Já o menor valor ficou para a sub-bacia S1, cerca de doze vezes menor que AF1. A AT obteve valor intermediário porém maior do que a média aritmética calculada entre os valores das sub-bacias (média = 0,559).

No parâmetro textura da topografia, que é função da densidade de drenagem, os valores tiveram comportamento similar. O maior valor foi observado também para a sub-bacia AF1 e o menor para a sub-bacia S1, ficando estes extremos com diferença de cerca de dezesseis vezes entre si. Para a AT o valor ficou acima da média aritmética obtida entre os valores das sub-bacias (0,883).

O coeficiente de manutenção, que também é função (inversa) da densidade de drenagem, também revelou acentuada diferença entre os valores extremos observados, onde o maior valor foi agora obtido pela sub-bacia S1 e o menor obtido pela sub-bacia AF1.

Para a também função inversa da densidade de drenagem, o parâmetro extensão do percurso superficial, houve comportamento semelhante entre as sub-bacias em relação ao parâmetro anterior. O maior valor encontrado foi para a sub-bacia S1 e o menor foi para AF1, com o valor ficando cerca de doze vezes menor em relação ao maior valor. A AT, embora ficando com valor intermediário entre os extremos, ficou com valor cerca de duas vezes menor que a média aritmética (valor da AT = 706,2; valor de média aritmética = 1.618,3).

Os valores sobre a rugosidade topográfica revelam que o maior obtido foi para a sub-bacia AF1, seguido pela sub-bacia BC1. O ordenamento dos valores das demais sub-bacias apresentou-se igual ao obtido para o parâmetro densidade de drenagem, sendo que a área total

obteve valor cerca de duas vezes e meia maior que a média aritmética obtida entre as sub-bacias.

TABELA 7.1 - Valores de cada parâmetro morfométrico determinado para a área total da bacia e para cada sub-bacia:

sub-bacia → parâmetro	S1	S2	BC1	BC2	BC3	AF1	AF2	AF3	Área Total (AT)
Área (km ²)	9,886	4,262	23,219	8,835	16,011	54,296	30,329	20,816	167,641
Perímetro (km)	17,520	11,759	24,480	16,399	25,360	41,520	29,040	33,280	84,001
Índice de forma (K)	1,572	1,606	1,433	1,556	1,787	1,589	1,487	2,058	1,830
Forma da figura mais próxima	Retângulo	Retângulo	Círculo	Círculo	Retângulo	Círculo	Retângulo	Triângulo	Círculo
Ordem dos canais	1	1	2	2	2	3	3	3	3
nº de canais considerados	1	1	11	1	3	25	11	5	52
Densidade hidrográfica	0,101	0,234	0,473	0,113	0,187	0,460	0,362	0,240	0,310
Densidade De Drenagem	0,075	0,452	0,892	0,339	0,428	0,909	0,768	0,616	0,708
Relação De Bifurcação	---	---	7,000	---	1,000	4,083	4,333	1,000	5,337
Extensão do percurso (metros)	6.622,5	1.106,1	560,5	1.474,9	1.168,2	550,0	651,0	813,0	706,2
Textura da topografia	0,093	0,684	1,459	0,496	0,643	1,490	1,235	0,965	1,128
Coefficiente de manut. (m ² /m)	13245,0	2212,3	2114,1	2949,8	2336,4	1100,1	1302,0	1624,1	1412,4
Amplitude altimétrica (m)	190	80	390	70	80	470	230	60	520
Rugosidade topográfica	14,3	36,1	347,8	23,7	34,2	427,2	176,6	36,9	368,1
Classe altimétrica predominante (m)	290-300	260-270	280-290	260-270	230-240	280-290	250-260	210-220	280-290
Declividade predominante (%)	1 - 3	1 - 3	1 - 3	1 - 3	1 - 3	8 - 20	1 - 3	1 - 3	1 - 3

7.2 - Erosividade das chuvas – fator R da EUPS:

Verificando o mapa de linhas isoerodentes previamente mostrado (FIGURA 6.1), verifica-se que a cidade de Palmas está localizada entre as linhas isoerodentes de 600 e 650 $\text{tm} \times \text{mm} \times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$ (toneladas métricas de chuva por milímetro de chuva \times hectare por ano). Efetuando-se o cálculo para obter a média aritmética entre os dados dos três municípios mais próximos de Palmas, que são Porto Nacional, Miracema do Tocantins e Fátima, chegou-se ao valor da erosividade anual estimado de 616,65 $\text{tm} \times \text{mm} \times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$. No sistema internacional de medidas estes valor, multiplicado por 9,81 resulta em 6.049,33 $\text{MJ} \times \text{mm} \times \text{ha}^{-1} \times \text{h}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$.

A FIGURA 7.1 mostra a curva de distribuição do índice de erosão para a cidade de Palmas, na qual observa-se duas regiões de maior verticalização da curva (entre janeiro e abril e entre outubro e dezembro), mostrando que o período de maiores índices de erosividade está entre outubro e abril. A faixa onde a curva é de forma horizontal ou próximo a isto refere-se ao período de estiagem, que na região é bem pronunciada.

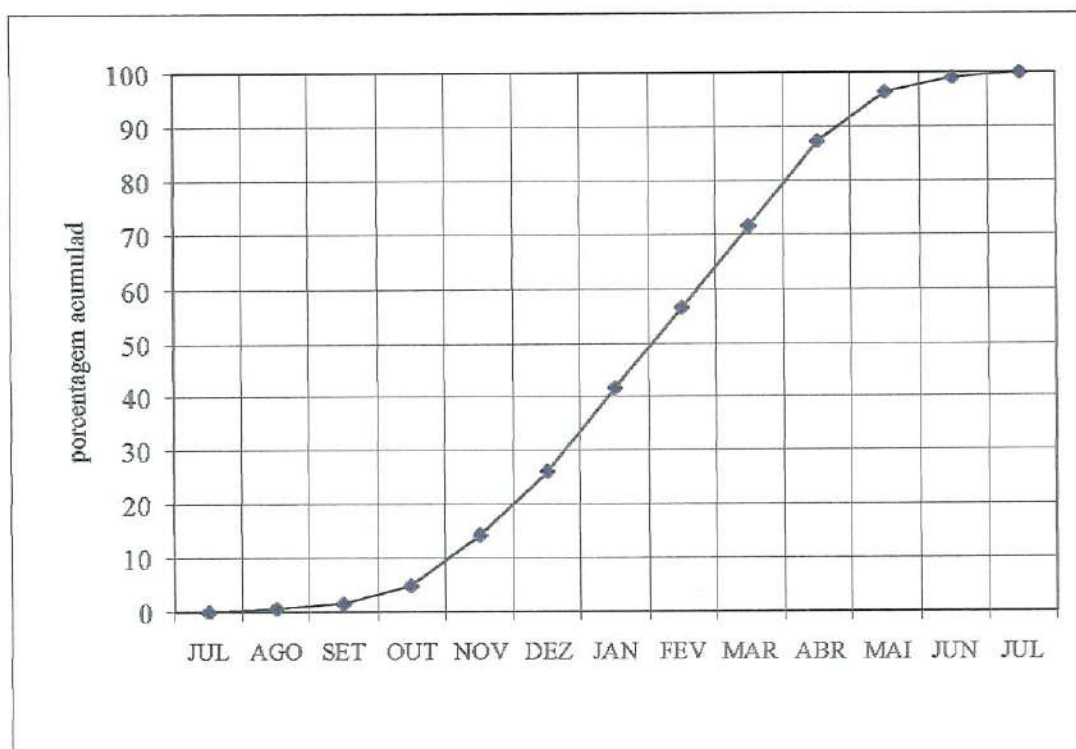


FIGURA 7.1 - Curva de distribuição mensal (em % acumulada) ao longo do ano, do índice de erosão para a região onde se localiza a área de estudo.

7.3 - Fator topográfico da EUPS – fator LS:

Conforme mostram a FIGURA 7.2 e a TABELA 7.2, verifica-se para a área total, a predominância da classe de menores valores do fator LS, ocupando 65,253% da área total da bacia. Em todas as sub-bacias esta foi a classe que obteve maiores valores relativos, mesmo nas sub-bacias AF1 e BC1, onde parte do relevo é fortemente movimentado.

A ocorrência dos maiores valores foi na região onde o relevo é mais íngreme, concentrando-se na parte alta da bacia, uma vez que as duas classes de valores mais altos apareceram somente nas sub-bacias AF1 e BC1, apesar do fato de que para a sub-bacia AF1 não ocorreu área com declividades superiores a 75%, conforme mostra a TABELA 7.3.

O aparecimento da classe de maiores valores do fator LS ocorreu em locais de relevo forte ondulado a escarpado, evidenciando a importância da declividade dentro deste fator, embora esta classe tenha sido a que ocorreu em menor proporção, ocupando 1,272% da área total da bacia.

Na média e baixa bacia ocorreram algumas manchas da segunda (2 – 5), terceira (5 – 10) e quarta (10 – 20) menores classes de valores, embora sendo numa proporção reduzida. Para os casos das sub-bacias AF3 e BC3, não ocorreram valores a partir da classe quatro. Ainda nesta região da bacia, verifica-se que o aparecimento de manchas das classes três e quatro é quase que exclusivamente em áreas próximas aos corpos d'água. Na parte baixa da bacia (sub-bacia AF3), onde predomina a classe de relevo plano, houve a ocorrência quase que exclusiva da classe de menores valores.

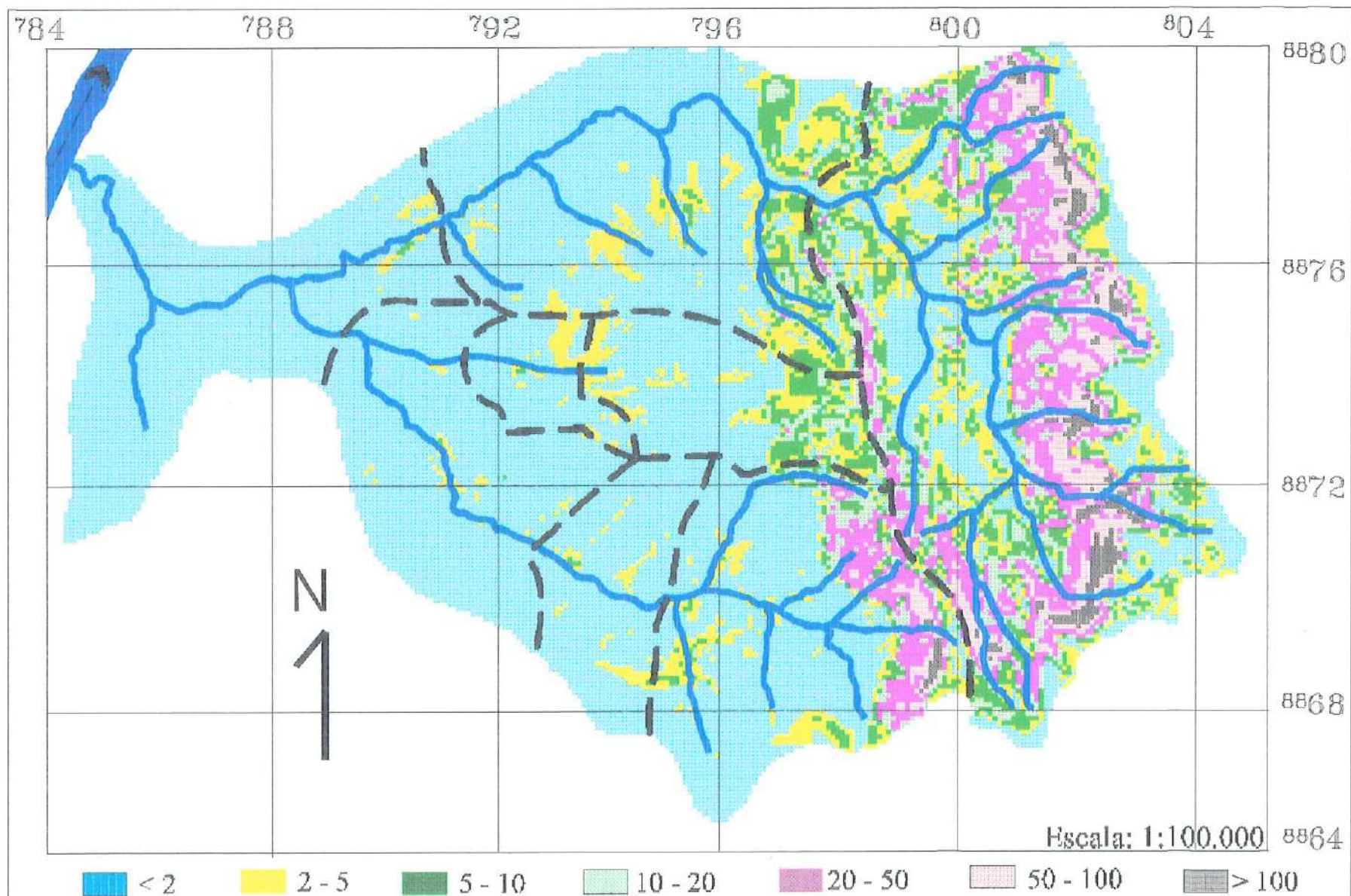


FIGURA 7.2 - Mapa mostrando as classes de valores do fator LS para a área de estudo.

TABELA 7.2 – Porcentagem de ocorrência de cada classe de valor do fator LS em cada sub-bacia e em toda a área de estudo:

Sub-bacia	Área (ha)	Classes de valores						
		< 2	2-5	5-10	10-20	20-50	50-100	> 100
AF1	5.429,60	28,006	14,533	13,970	12,974	16,950	9,936	3,627
AF2	3.032,96	77,115	14,011	6,831	1,936	0,105	---	---
AF3	2.081,60	98,815	1,046	0,138	---	---	---	---
S1	988,64	67,373	17,187	11,166	4,110	0,161	---	---
S2	426,24	88,851	10,735	0,337	0,075	---	---	---
BC1	2.321,92	67,964	9,206	4,479	6,077	8,834	2,735	0,702
BC2	883,52	94,331	5,396	0,199	0,072	---	---	---
BC3	1.601,12	97,921	1,938	0,139	---	---	---	---
TOTAL	16.764,10	65,253	10,403	7,089	5,642	6,742	3,597	1,272

TABELA 7.3 – Porcentagem de cada classe de declividade ocorrente em cada sub-bacia e para a área de estudo:

Sub-bacia	Área (ha)	Classe de declividade (%)					
		< 3	3 - 8	8 - 20	20 - 45	45 - 75	> 75
AF1	5.429,60	16,428	22,867	32,320	24,585	3,798	---
AF2	3.032,96	59,959	29,241	10,698	0,100	---	---
AF3	2.081,60	95,731	4,245	0,023	---	---	---
S1	988,64	63,440	17,025	18,870	0,663	---	---
S2	426,24	82,019	16,629	1,351	---	---	---
BC1	2.321,92	59,985	16,145	12,114	10,735	1,061	0,048
BC2	883,52	89,243	10,756	---	---	---	---
BC3	1.601,12	94,303	5,696	---	---	---	---
TOTAL	16.764,10	55,880	17,997	15,231	9,506	1,377	0,006

7.4 – Solos e a erodibilidade - fator K:

Conforme mostra o mapa de solos (FIGURA 5.5), a classe de solo predominante na área de estudo é o concrecionário laterítico, ocupando 27,847% do total da área. Em seguida ocorre: o latossolo vermelho escuro textura argilosa ocupando 21,848%, litólico indiscriminado (10,326%), latossolo vermelho amarelo textura argilosa (8,853%), latossolo vermelho amarelo textura média (8,353%) cambissolo indiscriminado (7,982%), hidromórfico indiscriminado (7,551%), latossolo vermelho escuro textura média (6,222%). A superfície “rocha exposta” ocorreu em 1,014% da área total. A TABELA 7.4 mostra as áreas ocupadas por cada tipo de solo também em cada sub-bacia, mostrando a predominância do tipo de solo conforme a região da área de estudo.

Verificou-se a ocorrência de solo hidromórfico em sua maior parte na sub-bacia AF3 e a não ocorrência de solo concrecionário somente na sub-bacia S1. Nesta última há uma larga ocupação por parte do latossolo vermelho escuro textura argilosa.

TABELA 7.4 – Porcentagem de ocorrência de cada tipo de solo em cada sub-bacia e na área total:

Sub-bacia	Área (ha)	Tipo de solo								
		HID	CON	LVE-a	LVE-m	LVA-a	LVA-m	CAMB	LIT	R.E.
AF1	5.429,60	---	33,383	---	---	7,614	11,937	20,657	24,051	2,351
AF2	3.032,96	---	47,879	31,045	10,561	4,568	---	---	5,945	---
AF3	2.081,60	60,833	9,430	---	2,869	---	26,867	---	---	---
S1	988,64	---	---	84,932	---	---	---	0,534	14,533	---
S2	426,24	---	8,783	81,156	10,060	---	---	---	---	---
BC1	2.321,92	---	24,200	23,911	---	36,597	---	9,102	4,361	1,826
BC2	883,52	---	22,365	55,740	12,567	9,326	---	---	---	---
BC3	1.601,12	0,019	25,362	30,468	31,807	---	12,071	---	---	---
Área Total	16.764,10	7,551	27,847	21,848	6,222	8,853	8,353	7,982	10,326	1,014

LVA-m: latossolo vermelho amarelo, textura média. / LVA-a: latossolo vermelho amarelo, textura argilosa. / LVE-m: latossolo vermelho escuro, textura média. / LVE-a: latossolo vermelho escuro, textura argilosa. / CAMB.: cambissolo / LIT: litólico / CON.: concrecionário / HID.: hidromórfico / R. E. – rocha exposta

A TABELA 7.5 mostra que o maior valor de K ficou para o litólico indiscriminado ($0,32 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$). As classes latossolo vermelho escuro textura média, latossolo vermelho escuro textura argilosa e latossolo vermelho amarelo textura argilosa obtiveram mesmos valores ($0,25 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$), após ficou o cambissolo indiscriminado ($0,24 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$), seguido do latossolo vermelho amarelo textura média ($0,20 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$) e com menor valor ficou o concrecionário laterítico ($0,10 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$).

Conforme já exposto, o valor de K para a classe rocha exposta foi atribuído a partir de considerações teóricas verificada junto a bibliografia consultada. O valor médio ponderado apresentado para a área em relação a área ocupada por cada tipo de solo foi $0,198 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$.

TABELA 7.5 - Valores do fator “K” (erodibilidade) para cada classe de solo ocorrente na bacia:

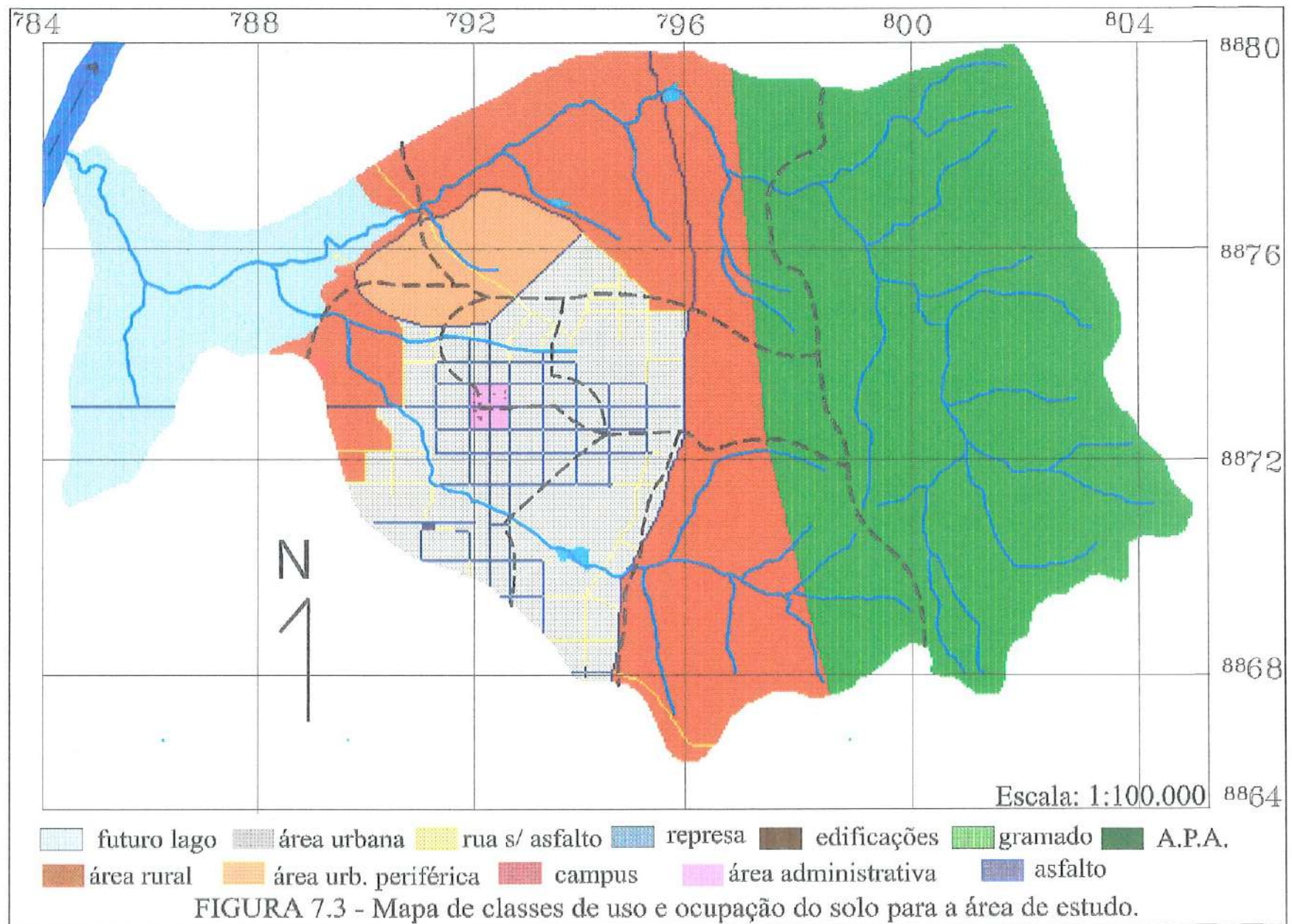
Tipo de solo	Valores de K (t x ha x ano x tm ⁻¹ x ha ⁻¹ x mm ⁻¹)
Cambissolo indiscriminado.	0,240
Concrecionário laterítico.	0,100
Hidromórfico indiscriminado.	0,080
Latossolo vermelho escuro – textura média.	0,250
Latossolo vermelho escuro – textura argilosa.	0,250
Latossolo vermelho amarelo – textura média.	0,200
Latossolo vermelho amarelo – textura argilosa.	0,250
Litólico indiscriminado.	0,320
Rocha exposta.	0,001
K (área total – média aritmética).	0,182
K (área total – média ponderada com base na área ocupada (%) por cada tipo de solo).	0,198

7.5 - Uso e ocupação da bacia - fator “C” – cobertura do solo:

A FIGURA 7.3 é um mapa feito com o objetivo de mostrar os grandes grupos de ocupação que se apresentaram com nitidez na imagem de satélite e/ou estão previstos em mapas do Plano Diretor do município de Palmas.

Verifica-se uma predominância de uso voltado para a área rural. A classe “área rural” ocupa 25,774% de toda a área da bacia. A classe “APA” (Área de Proteção Ambiental, havendo algumas propriedades rurais) ocupa 40,731% e a classe “área rural - lago”, a qual refere-se a área que atualmente é ocupada por propriedades rurais mas ficará submersa pelas águas da represa da futura usina Hidrelétrica do Lajeado a partir de 2001, ocupa 10,783% de toda a área. As três classes juntas ocupam 77,288% do total.

Convém mencionar que a área da APA refere-se à área verificada no mapa do plano diretor. Porém, como será verificado a seguir no mapa de cobertura do solo, notou-se, principalmente em campo, através de visitas realizadas ao local, que vem havendo, em algumas partes desta área, formas de uso e manejo do solo as quais não estão previstas no plano de uso da área. A área da APA compreende toda a sub-bacia AF1 e parte das sub-bacias AF2, S1 e BC1.



A classe “área administrativa” refere-se à área ocupada por repartições da administração pública do estado, onde se encontra o palácio Araguaia (palácio do governador, no centro do polígono) e demais secretarias administrativas estaduais (Saúde, Administração, Fazenda, entre outras).

A classe “campus” refere-se a área destinada à construção do “campus” universitário da Universidade do Tocantins, o qual nesta época (data da passagem do satélite) já estava em construção e parte de suas dependências já se encontrava em atividade.

A classe “gramado” aparece de forma discreta no mapa (nos cruzamentos das ruas asfaltadas) e corresponde aos jardins das rotatórias existentes nos cruzamentos das avenidas.

A classe “periferia” trata-se de uma região onde predomina população de classe sócio-econômica menos privilegiada. Nesta área, embora ela esteja incluída no plano diretor e previsto uma expansão urbana ordenada, notou-se, em visitas realizadas ao local, um quadro caótico de ocupação em alguns setores devido provavelmente a invasões de terras e construção de casas e/ou barracos para assentamento da população sem prévia autorização dos órgãos da prefeitura. A maior parte da localidade ainda é desprovida de ruas asfaltadas bem como sarjetas ou qualquer outra forma de disciplinamento das águas pluviais.

A classe “represas” refere-se a sistemas lênticos (lagos) formados em função da construção de pequenas barragens ao longo de alguns corpos d’água da bacia. A represa formada no córrego Brejo Comprido (localizada dentro da área urbana) faz parte de uma área verde da cidade (parque Cesamar) cuja finalidade é formar, na barragem, uma pequena cascata onde as águas caem num tanque artificial e cujo destino é servir para recreação por parte dos visitantes.

Neste mapa estão também as principais ruas asfaltadas, além das rodovias TO-050 (rodovia que liga o município de Porto Nacional a Palmas), TO-010 (rodovia que liga o município de Lajeado a Palmas) e rodovia TO-080 (liga o município de Paraíso do Tocantins a Palmas), além de algumas das principais ruas de terra as quais ficaram mais evidentes na fotografia do satélite.

Dentro da classe “área urbana” há o predomínio de ruas asfaltadas com galerias de águas pluviais, porém em alguns locais ainda ocorre ruas sem asfalto, além de localidades onde está previsto a construção de rotatórias e galerias de águas pluviais.

A FIGURA 7.4 apresenta a estimativa dos tipos de cobertura sobre a superfície do solo, sendo detectadas onze diferentes classes de cobertura. Para cada classe foi atribuído um valor do fator “C” da EUPS.

Para a área total, verifica-se que a classe “campo limpo” é a que ocorreu em maior proporção (25,951%), seguida pela classe “campo sujo” (23,490%) (TABELA 7.6). Estas classes ocorreram tanto em área

urbanizada como em áreas da periferia urbana e principalmente na área de ocupação rural, além de ocuparem parte significativa da sub-bacia AF1, a qual está inteiramente inserida na APA.

A classe “campo ralo” ocorreu em 18,119% da área total, havendo uma predominância nas regiões de maior intensidade de ação antrópica, como é visto na sub-bacia S2, esta talvez sendo a região mais intensamente ocupada e que, segundo a TABELA 7.6, ficou com 49,549% de sua área ocupada por este tipo de cobertura.

A classe “mata” ocorreu em 21,447% da área total e representa coberturas do tipo mata ciliar, cerradão e mata de encosta. Estes tipos foram aglutinados numa só classe por apresentarem semelhantes formas de proteção ao solo e por ser atribuído o valor de 0,001 para o fator “C”. A classe “corpos d’água” ocupou 0,163%, aparecendo somente na sub-bacias AF2, AF3 e BC2.

A classe “queimadas” ocorreu em 6,645% de toda a área da bacia, com predominância na sub-bacia BC1 (26,571% da área da sub-bacia foi ocupada por esta classe), mais especificamente na região da Serra do Lajeado. A classe “solo exposto” ocorreu em 1,174% da área total, havendo ocorrência de pequenas manchas esparsas por toda a bacia e manchas maiores ocorrendo mais notadamente nas sub-bacias BC1 (associadas com áreas de queimadas) e AF3 (próximo ao Ribeirão Água Fria). A classe “rocha exposta” ocorreu apenas nas regiões mais escarpadas da Serra do Lajeado (sub-bacias AF1 e BC1), onde não foi notado nenhum tipo de vegetação sobre este tipo de superfície.

A classe “edificações” ocupou 0,338% da área total. A classe “gramado urbano” ocupou 0,577% e a classe “pavimentação” ocupou 1,072%, todas referindo-se à área total. A sub-bacia que obteve maior área relativa ocupada pela classe pavimentação foi S2 (6,681%) enquanto que para a classe edificações a maior porcentagem foi verificada na sub-bacia AF3 (0,884%).

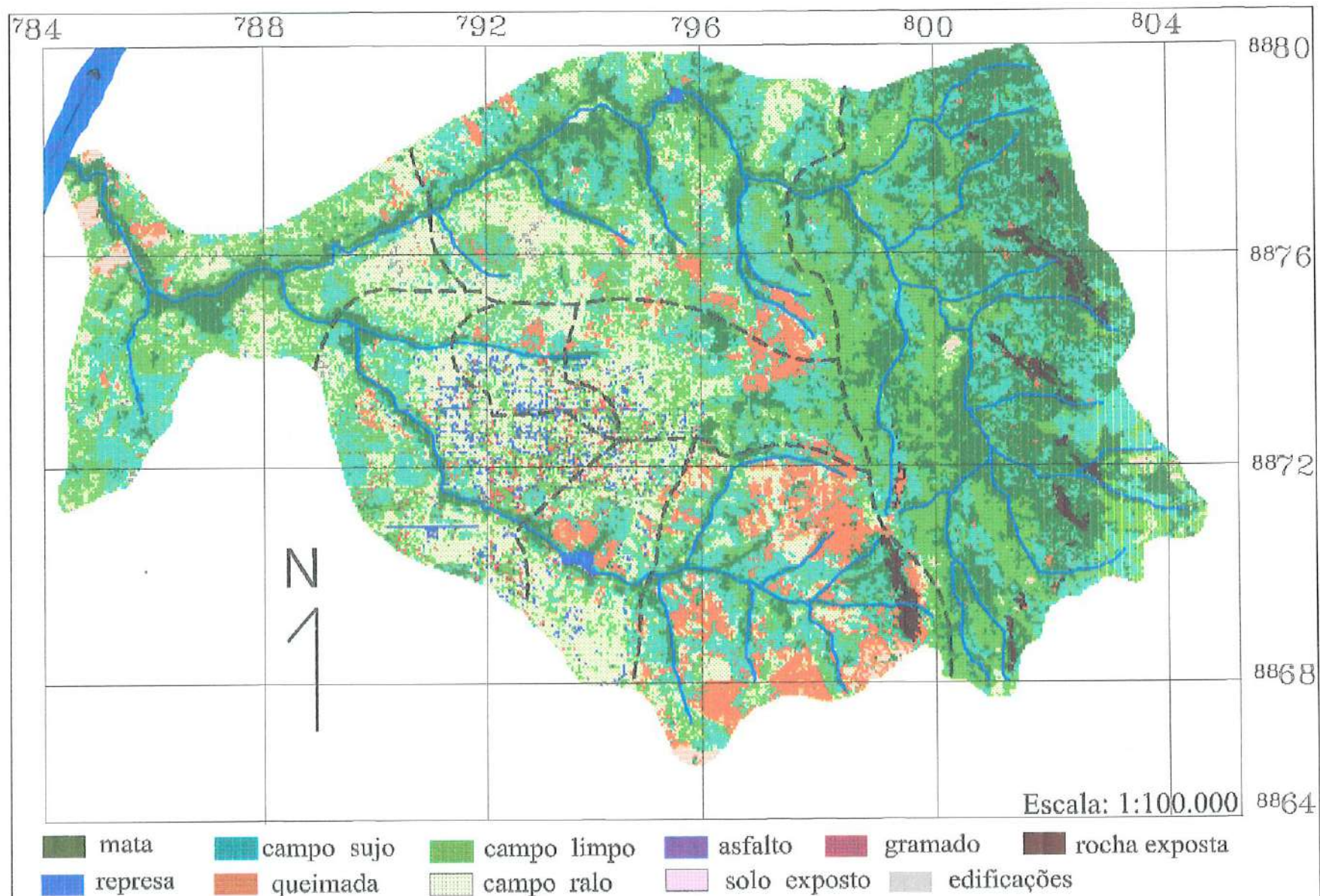


FIGURA 7.4 - Mapa mostrando as classes de cobertura do solo para a área de estudo.

TABELA 7.6 – Porcentagem de ocorrência de cada tipo de cobertura para cada sub-bacia e para a área total:

	AF1	AF2	AF3	S1	S2	BC1	BC2	BC3	TOT.
Área (ha)	5.429,60	3.032,96	2.081,60	988,64	426,24	2.321,92	883,52	1.601,12	16.764,10
Mata	41,246	16,406	15,083	8,787	2,102	11,390	6,066	8,164	21,447
Água	---	0,321	0,046	---	---	---	1,883	---	0,163
Gramma	---	---	0,007	0,873	2,815	---	2,662	3,217	0,577
Edific.	0,061	0,448	0,884	0,242	0,638	0,124	0,416	0,629	0,338
Pavim.	---	0,026	---	1,844	0,097	0,262	2,742	0,271	0,359
S. exp.	0,568	0,427	3,807	0,097	0,262	2,742	0,271	0,359	1,174
C. sujo	24,647	26,640	20,421	23,984	13,025	29,320	12,477	17,687	23,490
C. limpo	28,525	27,970	36,335	27,075	19,256	11,280	20,463	25,302	25,951
R. exp.	2,351	---	---	---	---	1,826	---	---	1,014
Queim.	1,102	5,554	2,853	9,224	5,668	26,571	7,116	1,948	6,645
C. ralo	1,500	22,182	20,559	27,868	49,549	16,420	44,186	37,353	18,129

Mata. – mata ciliar, de encosta, cerradão. / Edific. – edificações. / Água- represas. / Gramma – jardins urbanos. / C. sujo. – campo sujo. / S. exp. – solo exposto. / C. limpo. – campo limpo. / R. exp. – rocha exposta. / C. ralo – campo ralo. / Queim. – área queimada. / Pavim. – pavimentação

A partir das considerações feitas sobre a necessidade de atribuição de um único valor do “fator C” para cada pixel expostas no capítulo METODOLOGIA, atribuiu-se o valor da classe “campo ralo” para a maioria dos locais onde ocorre edificações, pois verificou-se que a área urbana não possui alta densidade de edificações. Entre as edificações há a ocorrência de terrenos (espaços desocupados), com dimensões variáveis, onde ocorrem superfícies com “campo ralo” e principalmente com “solo exposto”. Sendo assim, considerou-se o valor de cobertura (e também valor do fator “C”) para a maioria dos pixels, como pertencentes a classe “campo ralo”, dadas as condições de uso e ocupação notificados para a área de estudo (vide fotografias do capítulo ANEXOS).

O mesmo procedimento de determinação de cobertura e atribuição do valor do “fator C” foi realizado para a classe “pavimentação”, pois, um pixel, quando cobre uma área contendo asfalto, nunca é preenchido totalmente por asfalto, uma vez que a largura de uma rua nunca é suficiente para preencher totalmente a célula exclusivamente com apenas este tipo de cobertura (o pixel é um quadrado de 30m de lado, bem superior a largura de qualquer rua). Sendo assim, o pixel que acusa cobertura por asfalto, na verdade está abordando também seus entornos (que geralmente consiste de cobertura do tipo campo limpo, campo ralo ou, na maioria dos casos, solo exposto). Se fosse considerar somente a cobertura por asfalto, o valor do fator C para esta classe seria zero, pois não há perda de solo para este tipo de cobertura. Entretanto, considerando o argumento exposto

acima, admitiu-se valor de C para esta classe como 0,001. Ainda, nos pixels onde não foi detectado clara cobertura por asfalto, considerou-se a cobertura que estava com maior representatividade em função da cor apresentada pelo pixel.

7.6 – Práticas conservacionistas - fator P:

Conforme já citado anteriormente no texto, o fator P foi considerado igual a um (1) para toda a bacia em função de informações obtidas com técnicos de outras instituições que realizaram pesquisa de extensão rural e detectaram a não adoção de nenhum tipo de prática conservacionista.

O mesmo pode-se afirmar para a área urbana, a qual também foi verificado que praticamente não há nenhuma espécie de obra civil ou afim cujo objetivo é eliminar ou minimizar o processo erosivo.

7.7 - Potencial Natural de Erosão:

A FIGURA 7.5, juntamente com a TABELA 7.7, mostra as classes de potencial natural de erosão, isto é, o potencial de perda de solo baseado na topografia, tipo de solo e potencial erosivo da chuva, considerando-se que a região esteja totalmente desprovida de qualquer tipo de cobertura sobre a superfície do solo.

Verifica-se ocorrência numa maior proporção da classe número um (< 400 t/ha x ano), estando em 73,562% da área total. Assim como no fator topográfico, as duas classes de maiores valores de potencial de perda de solo ocorreram nas regiões de relevo forte-ondulado a escarpado, ou seja, aparecem com nitidez nas regiões mais íngremes da bacia. Também, a região onde é previsto as menores taxas de perdas de solo é principalmente a região da sub-bacia AF3, onde predomina relevo plano.

Após a classe um, a maior predominância é da classe quatro (> 1.600 t/ha x ano) ocupando 15,227% da área, ocorrendo em seguida a classe dois (400 - 800 t/ha x ano) com 6,119% e classe três (800 - 1.600 t/ha x ano) com 5,089%.

Na região do alto da serra (ponto de maior valor hipsométrico da bacia) verifica-se o reaparecimento de classes que demonstram médio a baixo potencial à erosão, onde o relevo já torna-se menos íngreme e ocorre solos com maior resistência ao processo erosivo.

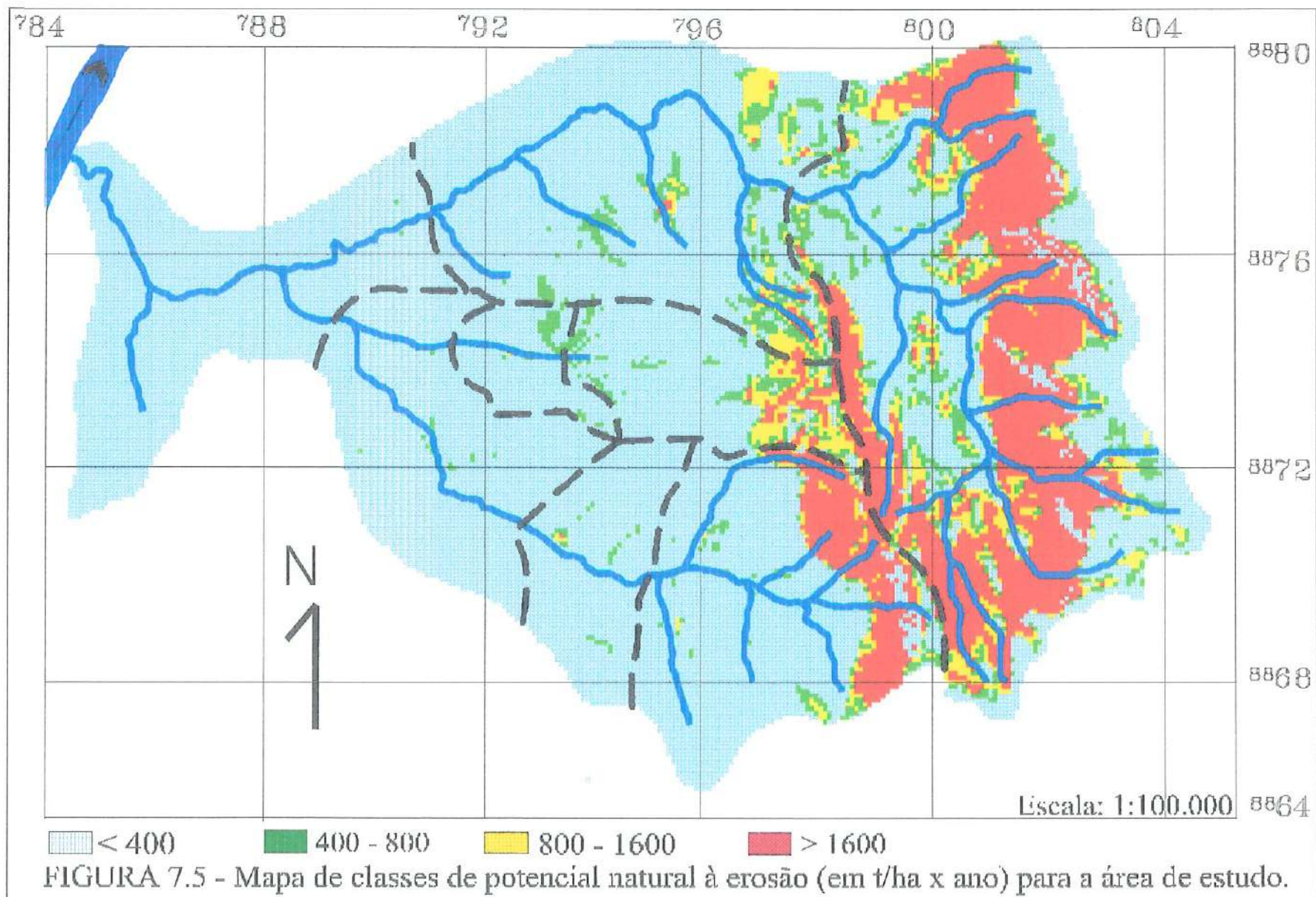


TABELA 7.7 – Proporção de cada classe de potencial natural de erosão em cada sub-bacia e para a área total:

Sub-bacia	Área (ha)	Classes de potencial natural de erosão (t/ha x ano)			
		< 400	400 - 800	800 – 1600	> 1600
AF1	5.429,60	41,909	9,920	9,928	38,240
AF2	3.032,96	86,484	7,438	4,447	1,630
AF3	2.081,60	99,907	0,092	---	---
S1	988,64	72,487	10,907	10,972	5,631
S2	426,24	93,130	6,644	0,225	---
BC1	2.321,92	76,998	3,617	3,038	16,345
BC2	883,52	97,681	2,046	0,217	0,099
BC3	1.601,12	99,220	0,679	0,099	---
TOT.	16.764,10	73,562	6,119	5,089	15,227

7.8 - Expectativa de perdas de solo:

As informações referentes à expectativa de perdas de solo para a área de estudo estão expostas na FIGURA 7.6 e na TABELA 7.8. Nota-se que, para a área total, a classe que ocorreu em maior proporção foi a classe 1 (< 10 t/ha x ano), ocupando 76,729% de toda a área. A classe que indica os mais altos índices de perda de solo (classe 6 (> 200 t/ha x ano)) ocorreu em 1,823% de toda a bacia.

Em todas as sub-bacias nota-se que a maior ocorrência é da classe de menor taxa de perda de solo, ocupando sempre mais da metade da área. Verifica-se que a sub-bacia que possui a maior proporção desta classe é a AF3 (94,677%). Para a sub-bacia BC1, ainda que tenha apresentado a maior parte da área com ocorrência da classe de menor valor, numa porcentagem substancial da área ocorrem as classes indicando expectativa de altas taxas de perdas de solo, isto é, 10,556% somando-se os valores das classes 5 e 6.

A sub-bacia AF3 apresentou a classe 5 (120 – 200 t/ha x ano) como sendo a de mais alto valor de perda de solo, chegando esta classe a ocupar 0,061% da sub-bacia, fato também ocorrido na sub-bacia S2 sendo ocupada pela classe cinco em 0,187%.

Na região onde ocorre ocupação urbana verifica-se a ocorrência de todas as classes, sendo que as classes 2 e 3 ocorrem predominantemente nas regiões de maior intensidade de ocupação e com relevo plano e a classe quatro com alta ocupação e relevo suave-ondulado.

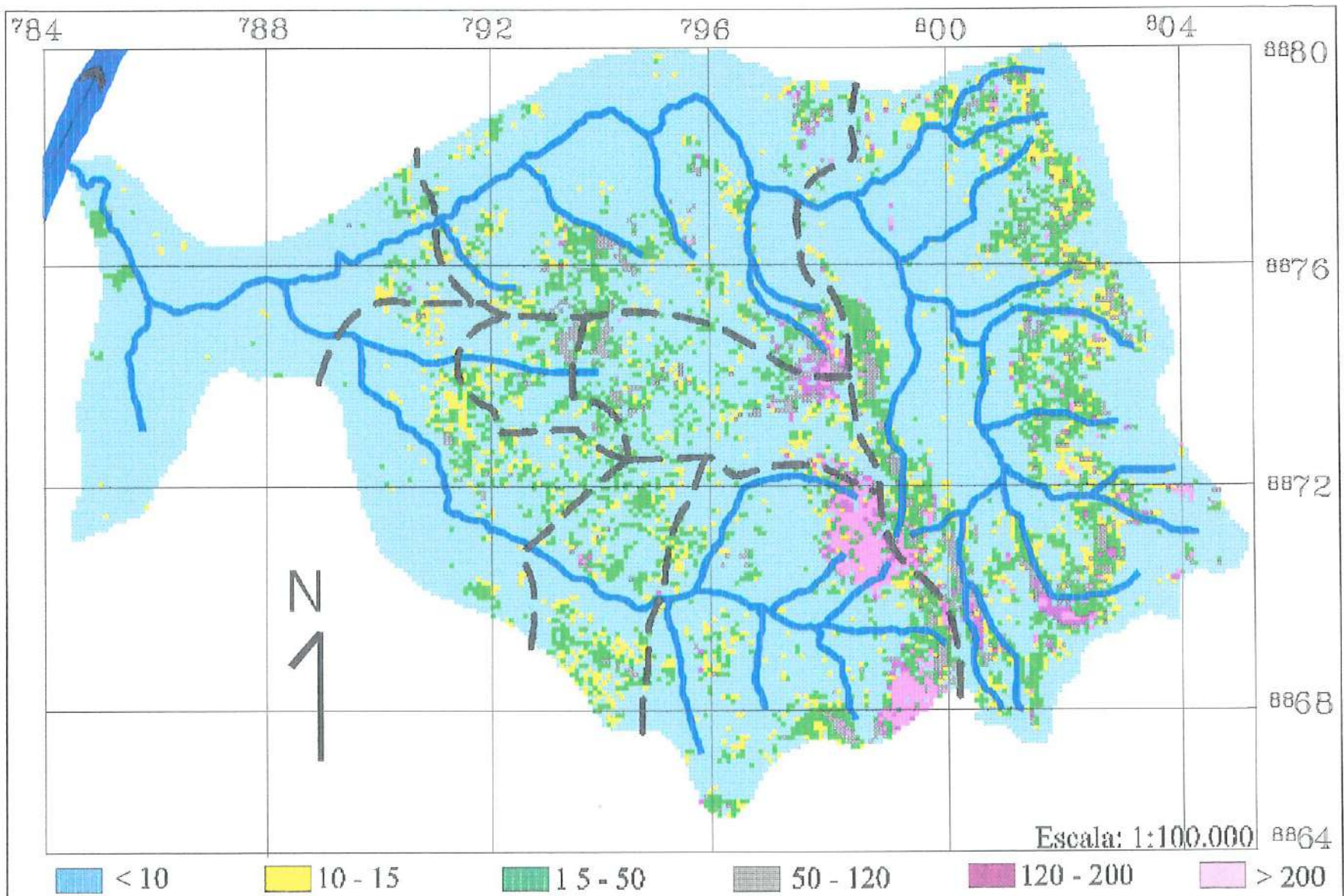


FIGURA 7.6 - Mapa de classes de expectativa à erosão para a área de estudo

TABELA 7.8 - Proporção de cada classe de expectativa de perda de solo em cada sub-bacia e para a área total:

Sub-bacia	Área (ha)	Classes de expectativa de erosão					
		< 10	10 - 15	15 - 50	50 - 120	120 - 200	> 200
AF1	5.429,60	69,742	7,219	15,641	5,212	0,878	1,305
AF2	3.032,96	82,754	3,814	8,841	2,790	1,345	0,453
AF3	2.081,60	94,677	1,261	3,822	0,176	0,061	---
S1	988,640	68,635	5,988	16,151	5,826	2,670	0,728
S2	426,24	68,318	8,295	18,243	4,954	0,187	---
BC1	2.321,92	69,680	5,195	11,197	3,369	1,405	9,151
BC2	883,52	67,139	9,724	21,640	1,195	0,144	0,162
BC3	1.601,12	84,910	5,696	8,793	0,439	0,129	0,029
TOT.	16.764,10	76,729	5,416	11,886	3,383	0,760	1,823

7.9 - Parâmetros indicadores da qualidade da água:

Para o parâmetro turbidez (FIGURA 7.7 e TABELAS 7.9 a 7.16) verifica-se que o maior valor absoluto foi obtido para a sub-bacia BC3 no mês de maio (215,000 NTU), seguido pela sub-bacia AF3 em novembro (183,000 NTU). Já o menor valor absoluto constatado, com exceção das sub-bacias que obtiveram valores nulos por ter secado o rio, foi para a sub-bacia S2 no mês de agosto (2,300 NTU).

Três sub-bacias obtiveram valores médios anuais próximos, os quais foram os mais altos constatados: BC3 (38,985 NTU), AF3 (38,875 NTU) e BC2 (38,436 NTU). O menor valor médio foi verificado na sub-bacia S2 (6,826 NTU).

A FIGURA 7.7 mostra a variação dos valores ao longo do ano, o que pode ser verificado mais exatamente através do coeficiente de variação (desvio padrão dividido pela média, multiplicado por cem) mostrado nas tabelas. A sub-bacia que obteve menor variabilidade dos valores ao longo do período de estudo foi a sub-bacia S1 (49,027%), enquanto que a sub-bacia BC3 foi onde houve maior taxa de variação (143,804%).

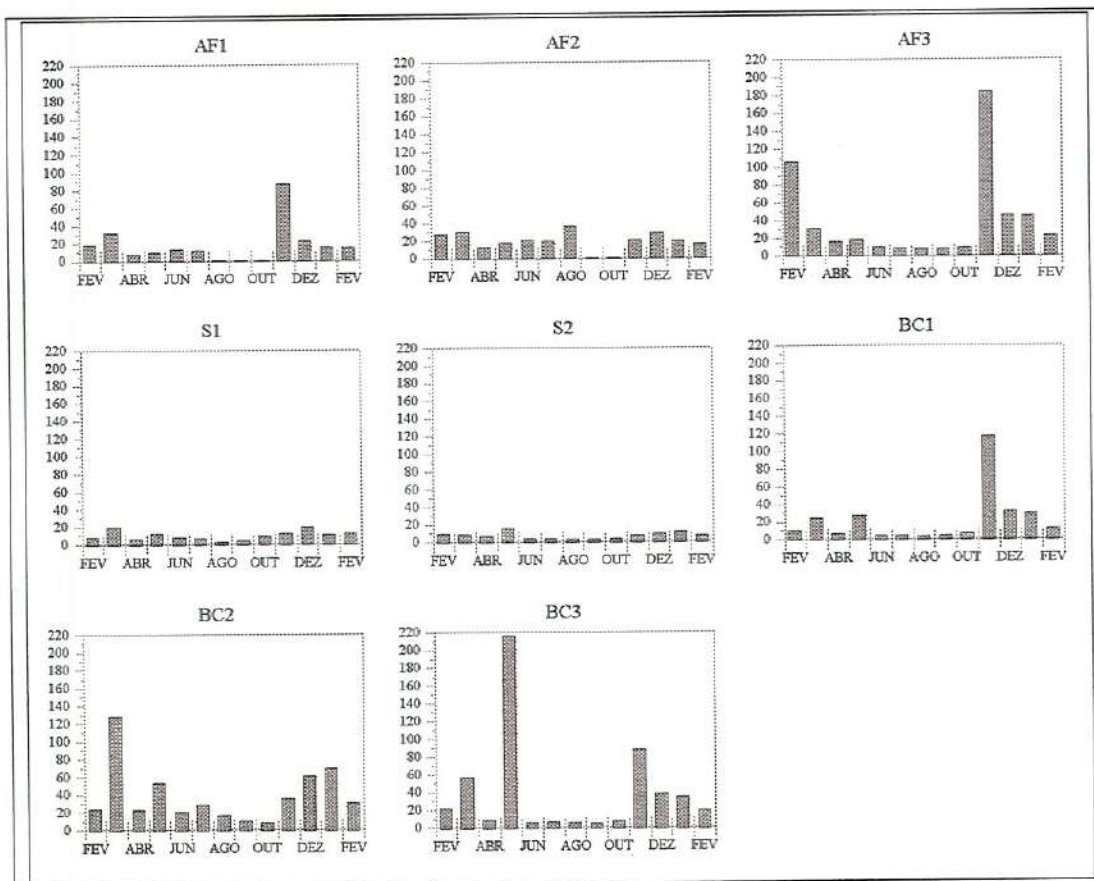


FIGURA 7.7 - Valores de turbidez (em NTU) para as oito sub-bacias durante o período de estudo.

Os dados mostram que nem sempre ocorreu aumento da turbidez para um mesmo curso d'água conforme decrescia a altitude. Contudo, houve um notável aumento neste índice para todas as sub-bacias após o mês de novembro, onde foi notificado a volta da época de chuva e os rios voltaram a aumentar suas vazões e também onde foi constatado o maior valor entre todos os meses para as sub-bacias AF1, AF3 e BC1.

Para o parâmetro sólidos sedimentáveis (FIGURA 7.8 e TABELAS 7.9 a 7.16) observa-se o maior valor absoluto obtido para a sub-bacia AF1 no mês de julho (0,170 ml/l). O menor valor constatado foi 0,001 ml/l e várias foram as sub-bacias que obtiveram este valor: AF3 (agosto), S1 (maio), S2 (maio, dezembro e janeiro/99), BC1 (abril, maio, julho e agosto), BC2 (julho e agosto) e BC3 (julho e agosto). Este parâmetro reflete o volume de sedimento por unidade de volume (litros) d'água que no momento estava em suspensão mas que decantaria caso a velocidade de escoamento em determinado trecho do curso d'água fosse zero ou próximo desta condição.

TABELA 7.9 - Valores de sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos e turbidez para a sub-bacia AF1:

Mês	Sólidos totais (mg/l)	Sólidos sedimentáveis (ml/l)	Sólidos dissolvidos (mg/l)	Turbidez (NTU)
Fev/98	4.107,000	0,010	---	17,400
Mar/98	609,000	0,023	10,000	31,500
Abr/98	641,000	0,002	8,000	7,360
Mai/98	750,000	0,002	9,000	9,130
Jun/98	271,000	0,013	6,330	12,560
Jul/98	213,330	0,170	7,660	11,600
Ago/98	---	---	---	---
Set/98	---	---	---	---
Out/98	---	---	---	---
Nov/98	864,000	0,015	9,000	87,100
Dez/98	389,667	0,008	13,000	22,033
Jan/99	230,330	0,003	10,000	15,133
Fev/99	652,000	0,008	11,000	14,200
Média	664,409	0,019	6,999	17,539
C.V. (%)	151,876	225,359	62,123	124,795

TABELA 7.10 - Valores de sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos e turbidez para a sub-bacia AF2:

Mês	Sólidos totais (mg/l)	Sólidos sedimentáveis (ml/l)	Sólidos dissolvidos (mg/l)	Turbidez (NTU)
Fev/98	4.841,000	0,093	---	27,260
Mar/98	282,000	0,097	7,000	30,100
Abr/98	767,000	0,037	6,000	12,330
Mai/98	2.188,000	0,040	7,000	16,960
Jun/98	321,000	0,036	6,000	20,030
Jul/98	195,000	0,008	7,000	19,530
Ago/98	919,000	0,167	9,000	35,500
Set/98	---	---	---	---
Out/98	---	---	---	---
Nov/98	377,000	0,023	9,000	19,833
Dez/98	396,333	0,031	12,000	28,600
Jan/99	627,500	0,003	10,000	19,566
Fev/99	318,000	0,007	9,000	16,233
Média	863,987	0,041	6,833	18,918
C.V. (%)	146,986	100,669	50,989	53,595

TABELA 7.11 - Valores de sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos e turbidez para a sub-bacia AF3:

Mês	Sólidos totais (mg/l)	Sólidos sedimentáveis (ml/l)	Sólidos dissolvidos (mg/l)	Turbidez (NTU)
Fev/98	3.230,000	0,077	---	105,883
Mar/98	1.124,000	0,063	5,000	31,133
Abr/98	1.045,000	0,030	5,330	16,000
Mai/98	1.144,000	0,020	6,000	17,830
Jun/98	939,000	0,005	5,000	9,233
Jul/98	541,000	0,002	4,000	7,800
Ago/98	817,000	0,001	4,000	6,633
Set/98	77,333	0,033	5,000	6,703
Out/98	385,000	0,012	5,000	8,906
Nov/98	340,000	0,053	8,333	183,000
Dez/98	83,000	0,034	9,000	45,466
Jan/99	535,333	0,037	8,000	44,200
Fev/99	1.292,666	0,040	7,000	22,600
Média	888,717	0,031	5,971	38,875
C.V. (%)	87,746	72,973	27,298	126,506

TABELA 7.12 - Valores de sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos e turbidez para a sub-bacia S1:

Mês	Sólidos totais (mg/l)	Sólidos sedimentáveis (ml/l)	Sólidos dissolvidos (mg/l)	Turbidez (NTU)
Fev/98	2.794,000	0,005	---	7,933
Mar/98	1.695,000	0,010	5,000	18,933
Abr/98	114,333	0,002	3,000	5,300
Mai/98	1.798,330	0,001	5,000	11,630
Jun/98	860,000	0,066	3,000	7,960
Jul/98	229,000	0,003	3,000	6,133
Ago/98	567,000	0,002	3,000	2,566
Set/98	134,333	0,010	3,333	4,480
Out/98	581,333	0,036	5,000	9,206
Nov/98	405,000	0,016	5,000	12,333
Dez/98	284,667	0,002	5,000	18,933
Jan/99	421,660	0,013	4,333	10,900
Fev/99	635,660	0,009	4,000	11,666
Média	809,255	0,013	4,055	9,844
C.V. (%)	95,159	131,105	21,963	49,027

TABELA 7.13 - Valores de sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos e turbidez para a sub-bacia S2:

Mês	Sólidos totais (mg/l)	Sólidos sedimentáveis (ml/l)	Sólidos dissolvidos (mg/l)	Turbidez (NTU)
Fev/98	2.090,000	0,020	---	9,366
Mar/98	2.409,000	0,013	5,660	8,166
Abr/98	436,000	0,002	4,000	6,100
Mai/98	1.281,000	0,001	9,000	14,830
Jun/98	763,000	0,027	3,000	3,533
Jul/98	351,330	0,006	3,000	3,433
Ago/98	431,000	0,002	3,000	2,300
Set/98	509,000	0,037	4,000	2,680
Out/98	607,000	0,017	5,000	3,396
Nov/98	257,000	0,015	6,000	7,300
Dez/98	266,000	0,001	6,000	9,470
Jan/99	1.011,330	0,001	6,000	11,333
Fev/99	812,000	0,004	5,000	6,843
Média	863,358	0,011	4,971	6,826
C.V. (%)	76,360	98,915	33,574	53,312

TABELA 7.14 - Valores de sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos e turbidez para a sub-bacia BC1:

Mês	Sólidos totais (mg/l)	Sólidos sedimentáveis (ml/l)	Sólidos dissolvidos (mg/l)	Turbidez (NTU)
Fev/98	2.741,000	0,003	---	9,900
Mar/98	907,000	0,023	6,000	23,700
Abr/98	237,000	0,001	4,000	6,400
Mai/98	829,660	0,001	5,000	26,800
Jun/98	375,000	0,002	2,000	4,400
Jul/98	82,000	0,001	2,000	4,130
Ago/98	883,000	0,001	2,000	3,266
Set/98	465,000	0,007	3,000	3,800
Out/98	439,300	0,010	3,000	7,373
Nov/98	250,000	0,117	4,000	117,000
Dez/98	68,000	0,002	7,000	31,233
Jan/99	213,000	0,002	7,000	29,166
Fev/99	663,333	0,007	6,000	11,533
Média	627,176	0,013	4,250	21,438
C.V. (%)	107,008	223,434	43,092	136,964

TABELA 7.15 - Valores de sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos e turbidez para a sub-bacia BC2:

Mês	Sólidos totais (mg/l)	Sólidos sedimentáveis (ml/l)	Sólidos dissolvidos (mg/l)	Turbidez (NTU)
Fev/98	2.102,000	0,013	---	23,400
Mar/98	175,000	0,093	6,000	127,330
Abr/98	197,000	0,017	5,000	22,300
Mai/98	1.629,000	0,050	5,000	52,360
Jun/98	410,000	0,020	4,000	19,600
Jul/98	135,000	0,001	4,000	27,730
Ago/98	602,000	0,001	3,667	16,133
Set/98	131,667	0,150	4,000	9,933
Out/98	379,333	0,005	5,000	7,856
Nov/98	248,000	0,020	5,000	34,400
Dez/98	324,333	0,014	7,000	60,100
Jan/99	466,330	0,017	7,000	68,733
Fev/99	563,333	0,008	7,000	29,800
Média	566,384	0,031	5,222	38,436
C.V. (%)	102,514	132,571	22,915	81,558

TABELA 7.16 - Valores de sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos e turbidez para a sub-bacia BC3:

Mês	Sólidos totais (mg/l)	Sólidos sedimentáveis (ml/l)	Sólidos dissolvidos (mg/l)	Turbidez (NTU)
Fev/98	4.003,000	0,050	---	22,066
Mar/98	1.181,660	0,166	6,330	56,300
Abr/98	420,500	0,033	6,000	8,100
Mai/98	4.089,000	0,146	7,000	215,000
Jun/98	584,000	0,010	4,000	5,533
Jul/98	669,660	0,001	4,000	5,833
Ago/98	725,000	0,001	4,000	5,200
Set/98	213,600	0,010	6,000	4,293
Out/98	314,000	0,015	7,000	6,626
Nov/98	307,000	0,018	7,000	87,033
Dez/98	45,333	0,006	7,000	37,566
Jan/99	299,333	0,007	8,000	34,100
Fev/99	443,333	0,013	7,000	19,166
Média	1.022,725	0,036	6,110	38,985
C.V. (%)	128,810	143,793	21,631	143,804

O maior valor médio anual observado foi para a sub-bacia AF2 (0,041 ml/l), enquanto que o menor valor ficou com a sub-bacia S2 (0,011 ml/l). Houve grande taxa de variação deste parâmetro para cada sub-bacia entre os meses, sendo que apenas as sub-bacias AF3 e S2 obtiveram coeficiente de variação menor que 100 %. O maior valor constatado foi para a sub-bacia AF1 (225,359%).

Pelos gráficos da FIGURA 7.8, verifica-se que a sub-bacia AF3 foi a que mais claramente acompanhou a sazonalidade das chuvas, enquanto todas as demais tiveram picos de concentração em alguma época, não necessariamente na época chuvosa. Nas sub-bacias AF2 e BC3 verifica-se que os maiores valores concentram-se na sua maior parte na primeira metade do período de coletas.

Também não houve clara relação entre a posição da sub-bacia com os valores de sólidos sedimentáveis. Entretanto, o fato de ter-se registrado um acréscimo de valor numa região e depois um decréscimo numa outra rio abaixo, é um forte indicador de que houve a deposição num trecho do canal entre os dois pontos de coleta.

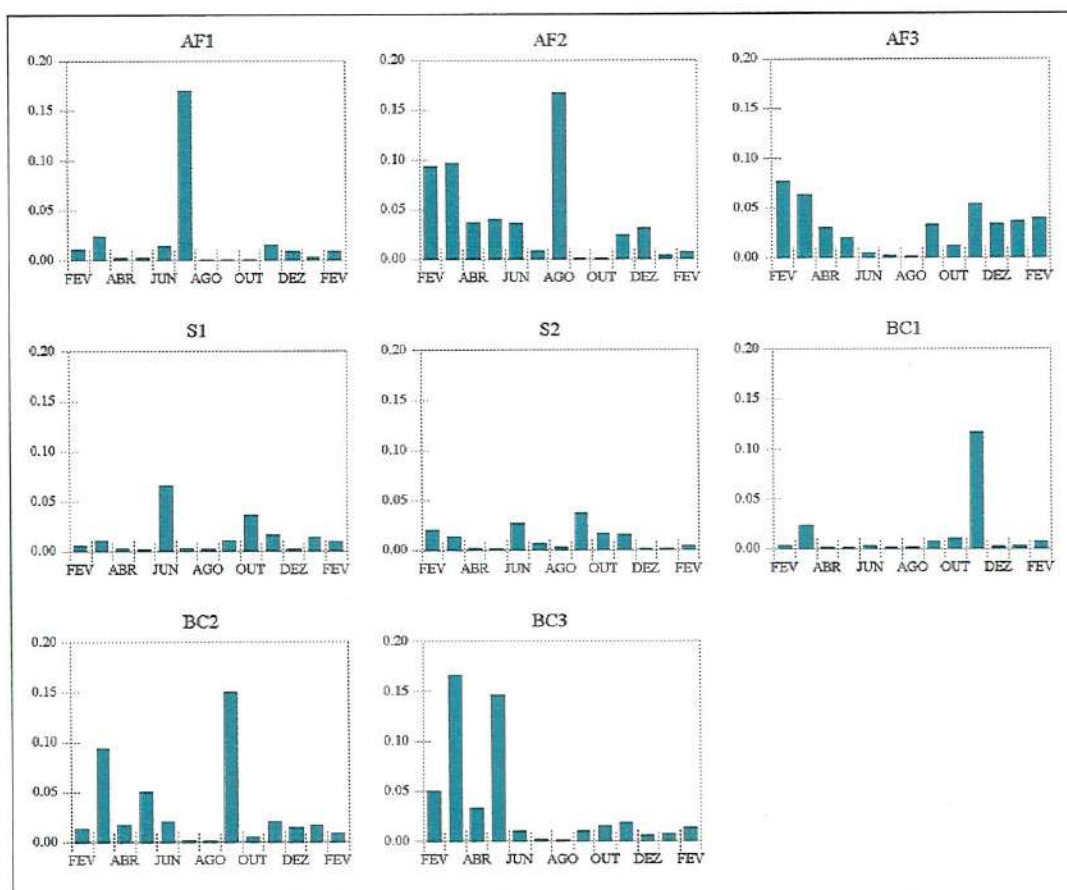


FIGURA 7.8– Valores de sólidos sedimentáveis (em ml/l) para as oito sub-bacias durante o período de estudo.

A estimativa da concentração de sólidos dissolvidos na água (FIGURA 7.9 e TABELAS 7.9 a 7.16), a qual ficou impossibilitada na primeira coleta realizada (fevereiro/98), mostrou o maior valor absoluto para a sub-bacia AF1 no mês de dezembro (13,000 mg/l), seguido pela sub-bacia AF2 também no mês de dezembro (12,000 mg/l). Com exceção feita ao meses e pontos onde os valores foram zero devido a seca dos rios, o menor valor absoluto observado (3,000 mg/l) foi constatado nas sub-bacias S1 (em abril, junho, julho e agosto), S2 (em julho e agosto) e BC1 (em setembro e outubro).

O maior valor médio anual foi obtido pela sub-bacia AF1 (6,999 mg/l), enquanto que o menor valor ficou para a sub-bacia S1 (4,055 mg/l). A sub-bacia que obteve maior variação de valores ao longo do período de estudo foi a sub-bacia AF1 (62,126%) e a menor variação ficou para a sub-bacia BC3 (21,631%).

A exemplo do que ocorreu com os parâmetros já comentados, também não houve um comportamento crescente da concentração de sólidos dissolvidos conforme decresce a altitude, ou seja, as sub-bacias que se localizam na porção onde encontram-se as cabeceiras dos principais rios

que compõem a hidrografia de cada sub-bacia nem sempre obtiveram os menores valores. Exemplo disto é a sub-bacia AF3, que é a sub-bacia de menor altitude e cujas águas no ponto de coleta já estão próximas da desembocadura no rio Tocantins. Esta sub-bacia não obteve o maior valor mensal entre os pontos em nenhum dos meses.

Assim como nos demais parâmetros, nos sólidos dissolvidos houve uma tendência de acompanhamento dos dados conforme a sazonalidade climática, onde a tendência foi de registrar-se maiores valores na época das chuvas (e cheias de rios) e menores valores na época de estiagem. Verificou-se, em alguns casos, um decréscimo de 50% entre os valores da estação seca em relação a estação chuvosa, isto é, os valores da estação da estiagem ficaram com cerca da metade em relação aos valores da estação chuvosa, especialmente na estação chuvosa ocorrida entre o final de 1998 e início de 1999.

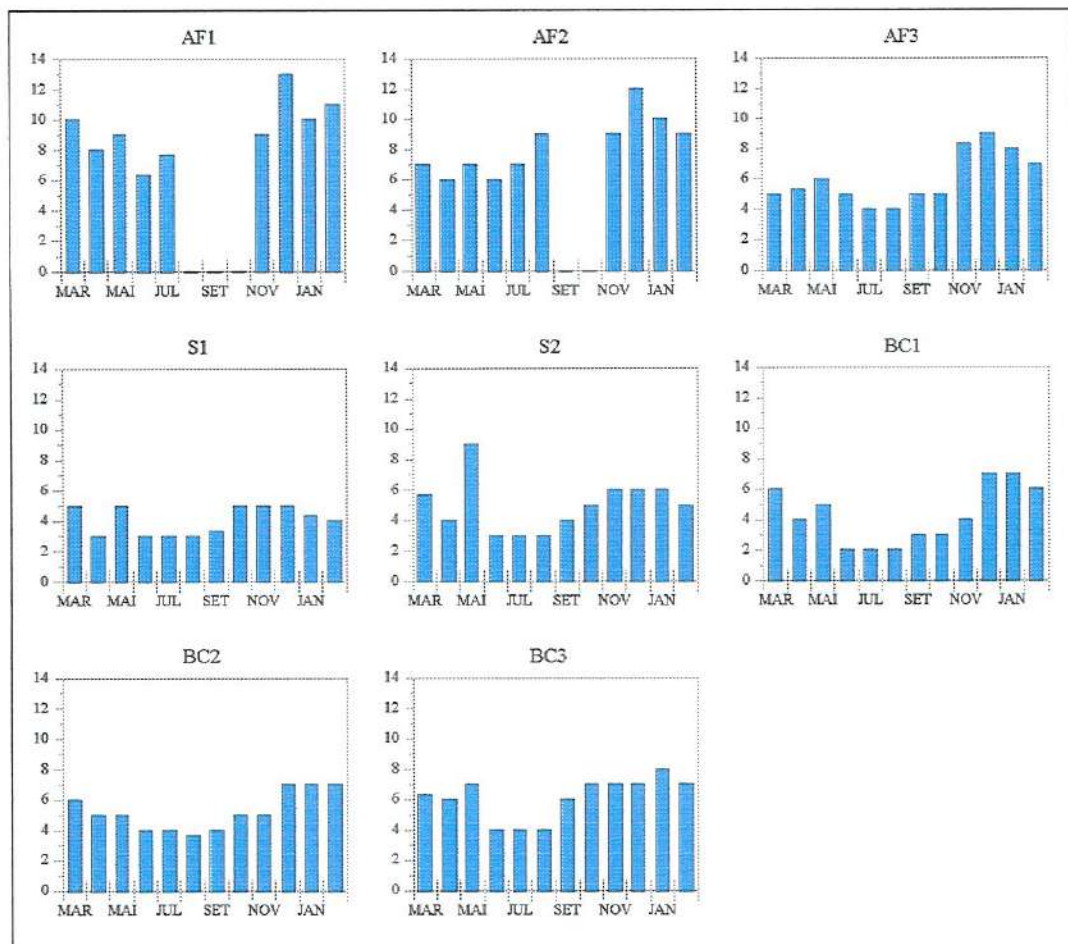


FIGURA 7.9 – Valores de sólidos dissolvidos (em mg/l) para as oito sub-bacias durante o período de estudo.

O parâmetro sólidos totais (FIGURA 7.10 e TABELAS 7.9 a 7.16) apontou os mais altos valores registrados no início do período de estudo, ficando o maior valor absoluto para a sub-bacia AF2 em fevereiro/98 (4.841,000 mg/l) já o menor valor foi obtido pela sub-bacia BC3 em dezembro (45,333 mg/l).

O maior valor médio anual foi constatado na sub-bacia BC3 (1.022,725 mg/l) e menor valor na sub-bacia BC2 (566,384 mg/l). A sub-bacia AF1 obteve o maior coeficiente de variação (151,876%) e o menor valor do coeficiente ficou com a sub-bacia S2 (76,360%).

Ainda no mês de maio, época de encerramento das chuvas, ocorreu valor relativamente alto (4.089,000 mg/l na sub-bacia BC3), porém entre maio e junho, em todas as sub-bacias registrou-se um decréscimo nos valores. A partir do mês de julho e também entrando no período de retorno da chuvas, poucos foram os meses onde as sub-bacias obtiveram valores absolutos maiores que suas respectivas médias (AF1 em novembro; AF2 em agosto, AF3 em fevereiro/99; S2 em janeiro/99; BC1 em agosto e fevereiro/99 e BC2 em agosto), parecendo não haver, portanto, forte relação entre este parâmetro, o regime pluviométrico e regime fluvial dos canais.

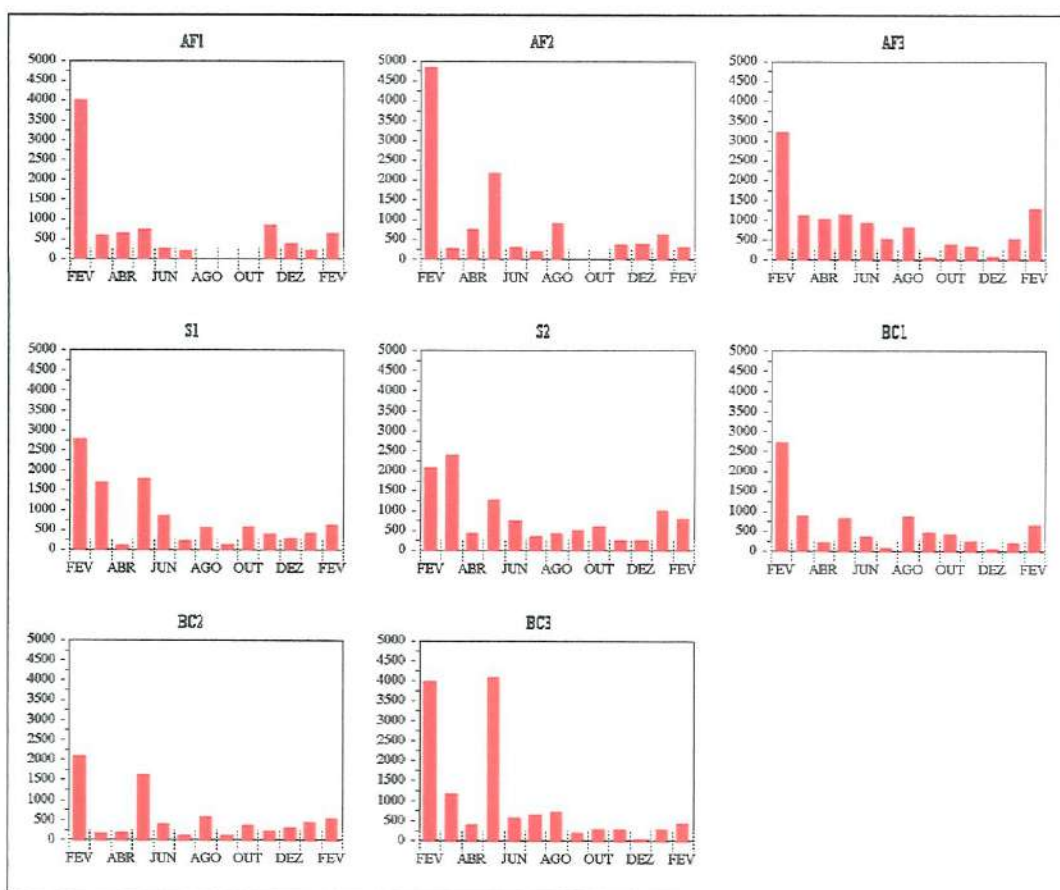


FIGURA 7.10 - Valores de sólidos totais (em mg/l) para as oito sub-bacias durante o período de estudo.



Os valores deste parâmetro foram utilizados para a estimativa da descarga sólida total, mensal e anual, descritas a seguir.

7.10 - Sedimentologia:

A seguir estão expostos os resultados dos dados coletados em campo e os cálculos realizados para obtenção de informações relacionadas com o processo sedimentológico da área de estudo. Tabelas contendo informações complementares são apresentadas no capítulo "ANEXOS".

Uma vez mais evidencia-se o fato de não haver nenhum levantamento prévio desta natureza na bacia hidrográfica do ribeirão Água Fria e que este trabalho possui caráter pioneiro na região onde foi efetuado o estudo.

7.10.1 – Vazão:

Conforme a FIGURA 7.11 verifica-se que para quase todos os meses o ponto AF3, que é o ponto hipsometricamente mais baixo de toda a bacia, ficou com os maiores valores de vazão entre todos os pontos para um mesmo mês, excetuando-se o mês de outubro onde o ponto BC3 obteve $0,395 \text{ m}^3/\text{s}$ e o AF3 obteve $0,163 \text{ m}^3/\text{s}$.

Este valor diferenciado ocorreu, provavelmente, devido a coleta d'água para fins de irrigação e dessedentação do gado de algumas propriedades do entorno do trecho do ribeirão Água Fria na sub-bacia AF3, além de haver a possibilidade de estar, simultaneamente, ocorrendo alguma infiltração de água no solo, uma vez que este encontrava-se seco em função da forte e já avançada estiagem que ocorria no mês de outubro de 1998.

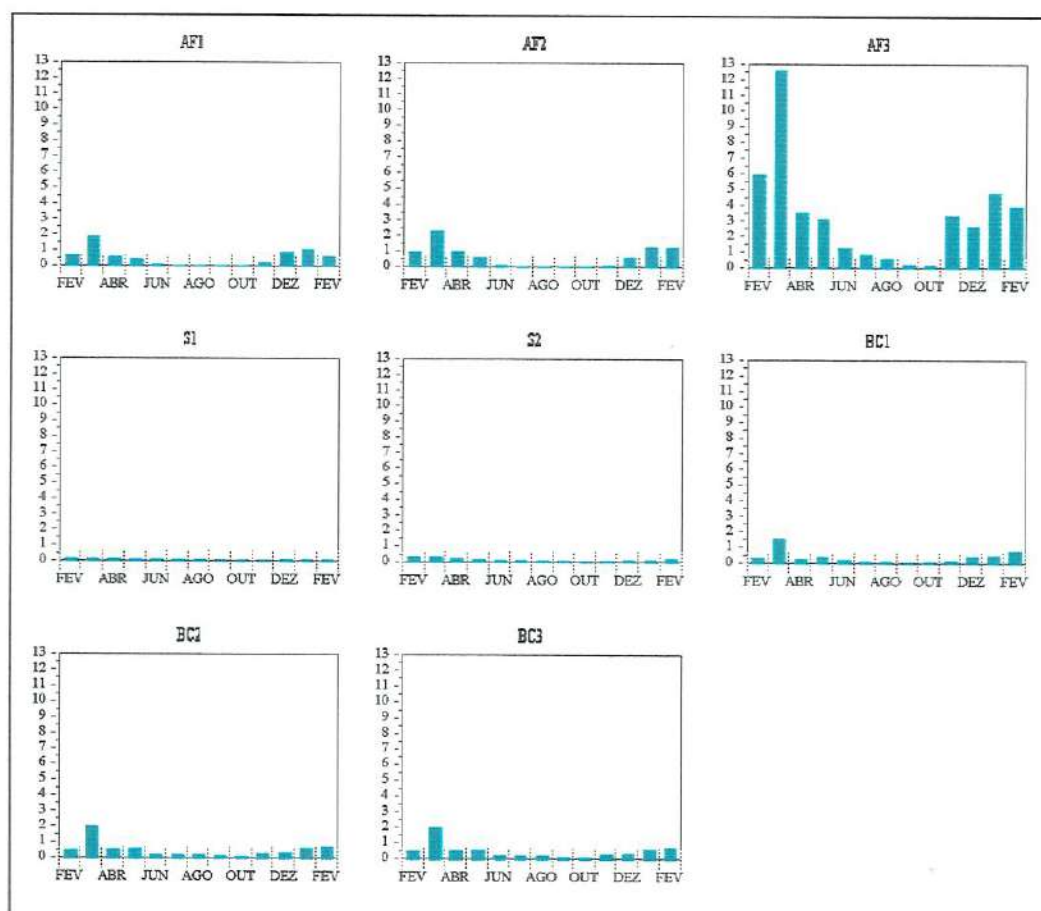


FIGURA 7.11 - Vazão líquida (em m^3/s) para cada sub-bacia em cada mês de coleta.

Para todos os pontos os maiores valores de vazão foram observados no mês de março, sendo que o ponto S1 registrou $0,180 \text{ m}^3/\text{s}$, o ponto S2 registrou $0,314 \text{ m}^3/\text{s}$, o ponto BC1 registrou $1,543 \text{ m}^3/\text{s}$, o ponto BC2 registrou $1,994 \text{ m}^3/\text{s}$, o ponto BC3 registrou $3,179 \text{ m}^3/\text{s}$, o ponto AF1 registrou $1,870 \text{ m}^3/\text{s}$, o ponto AF2 registrou $2,320 \text{ m}^3/\text{s}$ e o ponto AF3 registrou $12,610 \text{ m}^3/\text{s}$.

O ponto AF1 obteve vazão igual a zero nos meses agosto, setembro e outubro e o ponto AF2 para os meses setembro e outubro, todos os demais pontos não secaram em nenhum mês durante o período de estudo.

Os menores valores ficaram: no ponto S1: $0,064 \text{ m}^3/\text{s}$ em novembro, no ponto S2: $0,071 \text{ m}^3/\text{s}$ em outubro, no ponto BC1: $0,067 \text{ m}^3/\text{s}$ em setembro, no ponto BC2: $0,089 \text{ m}^3/\text{s}$ em outubro, no ponto BC3: $0,179 \text{ m}^3/\text{s}$ em setembro e no ponto AF3: $0,163 \text{ m}^3/\text{s}$ em outubro.

A FIGURA 7.11, juntamente com a TABELA 7.17, apontam ainda que ocorreram diferentes variações das médias de valores, ao longo do período de estudo, conforme os pontos. O ponto S1 ficou com o menor coeficiente de variação de vazão (39,587%) e o ponto AF2 o maior (105,309%).

TABELA 7.17 – Valores de média aritmética e coeficiente de variação (C.V.) dos dados de vazão, obtidos para cada ponto ao longo do período de estudo:

	S1	S2	BC1	BC2	BC3	AF1	AF2	AF3
Média (m ³ /s)	0,105	0,164	0,391	0,488	1,259	0,508	0,643	3,327
C.V. (%)	39,587	49,042	99,628	97,616	68,312	105,068	105,309	96,371

7.10.1.1 – Relação entrada x saída de água:

A FIGURA 7.12 mostra a razão, em milímetros e a TABELA 7.18 a razão, em milímetros e em porcentagem, entre o total de água que saiu da bacia sobre o total que entrou. Os dados da coluna de saída foram obtidos junto aos dados de vazão da sub-bacia AF3, cujo ponto de coleta era próximo a foz do Ribeirão Água Fria junto ao rio Tocantins e convertidos para milímetros. Os dados de entrada são os valores de altura de chuva precipitada sobre a área de trabalho durante o período de estudo. Os três intervalos onde não há valores mostram que houve saída de água numa quantidade superior em relação a quantidade que entrou.

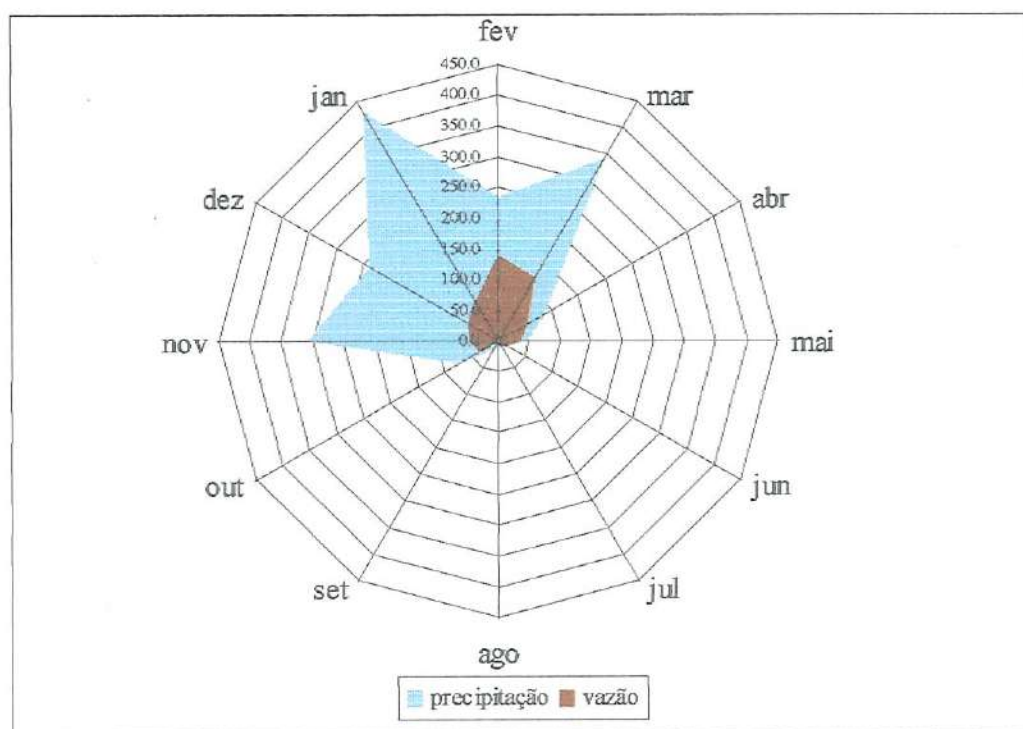


FIGURA 7.12 – Gráfico “radar” mostrando as relações (em mm) entre precipitação (entrada de água) e vazão (saída de água).

O valor final foi obtido pela razão dos totais, ficando em 33,032%, indicando que cerca de 33% do total de água que entrou no sistema saiu por meio de escoamento fluvial.

TABELA 7.18 – Relação entre entrada e saída de água no sistema:

Intervalo	Entrada (mm)	Saída (mm)	Razão (%)
FEV – MAR	232,3	139,0	59,836
MAR – ABR	338,7	116,7	34,455
ABR – MAI	84,0	51,9	61,785
MAI – JUN	45,9	37,8	82,352
JUN – JUL	14,1	16,0	---
JUL – AGO	0,0	10,9	---
AGO – SET	0,0	7,4	---
SET – OUT	15,7	2,7	17,197
OUT – NOV	69,8	29,8	42,693
NOV – DEZ	305,1	45,3	14,847
DEZ – JAN	238,0	58,0	24,369
JAN – FEV	428,6	69,9	16,308
TOTAL	1.772,2	585,4	33,032

7.10.2 - Deflúvios sólidos diários, mensais médios e anual médio:

A TABELA 7.19 mostra os valores do deflúvio sólido total obtido para o dia de coleta e para cada sub-bacia, calculado através do método simplificado de Colby.

Observa-se que a maior parte dos valores foram pronunciadamente maiores na sub-bacia AF3, ficando com valores superiores a dez vezes dos valores dos demais pontos nos meses fevereiro e março de 1998 e janeiro e fevereiro de 1999. Este ponto, que representa o escoamento de água e de sedimentos de toda a bacia do Ribeirão Água Fria, não obteve os maiores valores somente nos meses: maio, onde o ponto BC3 obteve o maior valor; setembro, onde o ponto S2 obteve o maior valor e outubro, onde o ponto BC3 obteve o maior valor.

Os valores “zero” (---, na tabela) encontrados nos meses agosto, setembro e outubro para a sub-bacia AF1 e nos meses setembro e outubro para a sub-bacia AF2 correspondem ao período em que houve seca no Ribeirão Água Fria, no qual não escoou água nestas regiões durante estes referidos períodos.

Setembro foi o mês no qual registrou-se os menores valores para todas as sub-bacias, apenas com exceção da sub-bacia S2, que registrou menor valor em novembro. Os maiores valores obtidos em cada sub-bacia foram registrados, na sua maioria, em fevereiro de 1998, sendo que para a sub-bacia BC1 registrou-se maior valor em março e para a sub-bacia BC3 registrou-se maior valor em maio.

Nota-se uma diminuição acentuada nos valores entre os meses março e abril para a maioria das sub-bacias, onde apenas a sub-bacia AF2 obteve aumento de valor com relação ao mês anterior. Novembro foi o mês no qual se registrou um aumento dos valores para todos os pontos, mostrando o retorno do período chuvoso na região, sendo que apenas as sub-bacias S1 e S2 obtiveram valores menores com relação ao mês anterior.

TABELA 7.19 - Deflúvio sólido total (em t/dia) para cada sub-bacia em cada mês de coleta:

	AF1	AF2	AF3	S1	S2	BC1	BC2	BC3
FEV	256,994	402,582	1.876,670	42,081	57,610	91,229	92,533	527,788
MAR	99,782	57,851	1.723,352	27,211	66,754	173,717	39,778	329,599
ABR	34,477	68,246	418,296	1,804	11,720	22,879	9,526	73,049
MAI	30,371	122,184	406,955	17,735	19,130	48,465	81,606	922,176
JUN	2,309	4,356	143,695	8,949	9,442	13,086	7,647	27,993
JUL	0,653	0,623	62,096	1,824	4,629	2,841	2,527	32,245
AGO	---	0,986	54,384	4,093	4,003	9,126	9,953	27,387
SET	---	---	1,711	0,927	4,334	2,793	1,341	3,425
OUT	---	---	5,623	3,575	3,887	3,016	3,117	10,910
NOV	15,162	3,218	207,493	2,432	1,780	9,378	7,248	33,847
DEZ	30,519	22,397	89,457	1,947	3,446	23,757	10,178	6,929
JAN/99	24,174	70,733	390,837	3,263	13,922	31,949	24,585	32,064
FEV/99	36,220	34,592	524,482	5,557	16,934	69,186	36,817	45,066

A TABELA 7.20 mostra o deflúvio sólido mensal para cada ponto de coleta, ou seja, a quantidade estimada de sedimento que foi carregado naquele ponto durante determinado período (mês ou ano).

Dos valores citados, o menor valor anual foi obtido pela sub-bacia S1, seguida, em ordem crescente, pelas sub-bacias S2, BC2, AF1, BC1, AF2, BC3 e AF3.

TABELA 7.20 – Valores mensais e anual (valores “brutos”) de sedimento carregado (em toneladas) para cada sub-bacia:

	AF1	AF2	AF3	S1	S2	BC1	BC2	BC3
Fev	5.173,255	6.676,273	52.200,331	1.004,729	1.803,284	3.841,709	1.918,512	12.432,112
Mar	1.879,624	1.765,349	29.983,081	406,210	1.098,641	2.752,345	690,251	5.637,076
Abr	972,719	2.856,447	12.378,760	293,077	462,754	1.070,159	1.366,978	1.492,380
Mai	539,219	2.087,916	9.085,722	440,275	471,443	1.015,591	1.472,668	15.677,786
Jun	42,945	72,199	2.983,974	156,202	204,027	230,947	147,522	873,443
Jul	9,468	23,337	1.688,964	85,797	125,152	173,526	180,964	864,652
Ago	---	17,262	981,675	87,860	145,899	208,588	197,649	539,198
Set	---	---	102,685	63,039	115,099	81,327	62,420	200,685
Out	250,173	53,103	3.516,424	99,118	93,505	204,503	171,033	738,497
Nov	662,375	371,420	4.305,775	63,498	75,778	480,453	252,679	591,261
Dez	820,393	1.396,947	7.204,408	78,164	260,526	835,589	521,445	584,903
Jan/99	936,111	1.632,529	14.187,454	136,723	478,271	1.567,599	951,729	1.195,526
ANUAL	11.286,282	16.952,782	138.619,255	2.914,691	5.334,379	12.462,337	7.933,849	54.263,520

Pela sua localização em relação a área total e em relação as demais sub-bacias, considera-se que o valor anual obtido pela sub-bacia AF3 é o valor total estimado da quantidade de sedimento carregado de toda bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria para o rio Tocantins durante o período de estudo, ou seja 138.619,255 toneladas entre 10 de fevereiro de 1998 e 10 de fevereiro de 1999. Adotando-se como densidade da partícula valor 2,65 (valor padrão, segundo CARVALHO, N. O., 1994), o valor perdido corresponde a uma camada uniforme de 0,31 milímetros de espessura por toda a área de estudo.

A TABELA 7.21 mostra os valores estimados da quantidade de sedimento carregado em cada sub-bacia, sem influência de possíveis sub-bacias que pudessem ocorrer a montante. Para o caso das sub-bacias AF1, S1 e BC1, os valores foram os mesmos daqueles citados na TABELA 7.20 pois nestes casos não há outras sub-bacias a montante destas que pudessem servir de fonte de sedimento a ser carregado pelos canais de drenagem.

Para a sub-bacia AF2 foram subtraídos os valores de cada mês da coluna AF2 da TABELA 7.20 pelos valores dos respectivos meses da coluna AF1 da TABELA 7.20, resultando na coluna AF2 da TABELA 7.21. O mesmo procedimento foi realizado para a sub-bacia BC2 perante a sub-bacia BC1 e também para a sub-bacia S2 perante a sub-bacia S1.

Para a sub-bacia BC3, somou-se os valores dos meses da coluna BC2 da TABELA 7.20 com os valores dos respectivos meses da coluna S2 da mesma tabela e os resultados foram subtraídos dos valores dos respectivos meses da coluna BC3 da TABELA 7.20, resultando nos valores citados na coluna BC3 da TABELA 7.21. Para a sub-bacia AF3, somou-se os valores dos respectivos meses da coluna AF2 da TABELA 7.20 com os valores da coluna BC3 da TABELA 7.20, subtraiu-se os valores dos respectivos meses da coluna AF3 pelos valores resultantes do cálculo

ultimamente descrito, resultando nos valores citados na coluna AF3 da TABELA 7.21. Este procedimento descrito é parte do procedimento adotado por LAJCZAK & JANSSON (1993), já mencionado anteriormente.

Os valores negativos apresentados na TABELA 7.21 ocorrem em alguns casos pois, conforme verifica-se na TABELA 7.20. Para um determinado mês o valor de uma sub-bacia foi menor que a sub-bacia localizada a montante dela. Cita-se principalmente o caso da sub-bacia BC2 com relação a sub-bacia BC1 onde, em nove dos doze meses, obteve valor menor que a sub-bacia BC1, ficando o valor do somatório de todos os valores de deposição (valores negativos) maior que o somatório dos valores de transporte (positivos). Tal fato sugere que há forte deposição de sedimento em algum trecho do Córrego Brejo Comprido nesta sub-bacia, o qual será discutido com mais detalhes no capítulo seguinte. Com exceção das sub-bacias de cabeceira (S1, BC1 e AF1), todas as demais obtiveram algum valor negativo ao longo do período de estudo. O maior valor líquido mensal observado foi na sub-bacia AF3 em fevereiro de 1998 (33.091,946 t).

Verifica-se que fevereiro/98 e março são os meses onde ocorreram as maiores taxas de transporte de sedimento para a maioria das sub-bacias, fazendo-se exceção para AF2, BC2 e BC3. Observa-se que para a sub-bacia S1, durante este período, foram carreados 48,407% do total, para a sub-bacia AF1 foi 62,490%, para a sub-bacia AF3 foi 82,596%, para a sub-bacia S2 foi 61,618%, para a sub-bacia BC1 foi 52,911%.

TABELA 7.21 – Valores “líquidos” mensais de sedimento carreado (+) ou retido (-) (em toneladas) para cada sub-bacia:

	AF1	AF2	AF3	S1	S2	BC1	BC2	BC3
FEV	5.173,255	1.503,017	33.091,946	1.004,729	798,555	3.841,709	-1.923,197	8.710,316
MAR	1.879,624	-114,275	22.580,656	406,210	692,431	2.752,345	-2.062,094	3.848,184
ABR	972,719	1.883,728	-5.406,067	293,077	169,677	1.070,159	296,819	13.098,649
MAI	539,219	1.548,698	-8.679,979	440,275	31,168	1.015,591	457,077	13.733,675
JUN	42,945	29,255	2.038,332	156,202	47,826	230,947	-83,425	521,894
JUL	9,468	13,869	800,974	85,797	39,355	173,526	7,438	558,536
AGO	---	17,262	425,215	87,860	58,039	208,588	-10,939	195,650
SET	---	---	-98,000	63,039	52,060	81,327	-18,908	23,166
OUT	250,173	-197,070	2.724,825	99,118	-5,613	204,503	-33,470	473,960
NOV	662,375	-290,955	3.343,094	63,498	12,280	480,453	-227,773	262,804
DEZ	820,393	576,553	5.222,559	78,164	182,362	835,589	-314,144	-197,068
JAN/99	936,111	696,418	11.359,399	136,723	341,548	1.567,599	-615,871	-234,473
ANUAL (transp.)	11.286,282	6.268,800	81.586,999	2.914,691	2.425,301	12.462,337	761,333	41.426,833
ANUAL (deposit.)	---	602,300	14.184,046	---	5,163	---	5.289,821	431,541

Para a sub-bacia BC3 o período com maior taxa de carreamento foi abril e maio, com 65,452% o total. Este também foi o período em que houve a maior taxa para a sub-bacia AF2, com 60,574% do total. Para a sub-bacia AF2 ocorreram dois meses consecutivos com valores negativos (outubro e novembro), meses estes que indicam o retorno do período chuvoso e que marcou o retorno de escoamento de água neste trecho do Ribeirão Água Fria.

A sub-bacia BC2 registrou apenas três meses onde os valores foram positivos (abril, maio e julho) sendo o maior valor positivo obtido em maio (457,077 t). Entre os valores negativos o maior valor foi registrado para o mês de março (- 2.062,094 t).

Menciona-se o fato de que o valor líquido obtido para uma sub-bacia em um período representa simultaneamente o processo de remoção, transporte e deposição de sedimento que ocorreu na região. Assim sendo, o valor negativo ocorrido em algumas ocasiões sugere que ocorreu um processo de deposição do sedimento removido da sub-bacia e também de uma parte do sedimento que vinha sendo transportado pelo curso d'água desde a(s) sub-bacia(s) a montante.

7.10.2.1 – Relação entre descarga sólida em suspensão e descarga sólida de arraste:

Os gráficos da FIGURA 7.13 indicam a relação percentual entre os dois tipos de descarga: a descarga sólida em suspensão (particulado + dissolvido) e descarga sólida de arraste, obtidos pelo uso do método simplificado de Colby. Verifica-se que para as sub-bacias AF1, AF2, S1, S2, BC2 e BC3 houve predominância da fração em suspensão em todos os meses. Para as sub-bacias AF3 e BC1 houve grande variação entre as frações conforme os meses, verificando-se participação expressiva da fração arraste entre os meses março e julho e entre novembro e janeiro/99 para a sub-bacia BC1 e para a sub-bacia AF3 mais notadamente entre os meses novembro e janeiro/99.

Verifica-se também que para a maioria das sub-bacias predominou a fração em suspensão ao invés da fração arraste (transporte pelo leito do rio). O maior contraste observado entre as sub-bacias foi entre BC1 e BC2. Para a sub-bacia BC1 houve notável participação da fração arraste dentro da descarga total e, por outro lado, na sub-bacia BC2, em função da existência da barragem do parque Cesamar, o valor final indicou forte deposição de material nesta sub-bacia.



FIGURA 7.13 – Relação percentual do deflúvio sólido para cada sub-bacia e para cada mês durante o período de estudo.

7.10.3 - Produção específica líquida de sedimento:

Os valores calculados para o parâmetro produção específica líquida de sedimento são mostrados na TABELA 7.22, juntamente com valores médios de concentração de sólidos totais obtido para cada sub-bacia em todo o período de estudo.

As células em branco correspondem aos meses onde ocorreram valores líquidos negativos e, portanto, não foram computados na determinação dos valores da produção específica anual para cada sub-bacia.

Verifica-se que foram computados dezoito valores mensais negativos, sendo três para a sub-bacia AF2 (março, outubro e novembro), três para a sub-bacia AF3 (abril, maio e setembro), um para a sub-bacia S2 (outubro), nove para a sub-bacia BC2 (fevereiro, março, junho, agosto, setembro, outubro, novembro, dezembro e janeiro) e dois para a sub-bacia BC3 (dezembro e janeiro).

Verifica-se um valor médio anual amplamente maior obtido pela sub-bacia AF3 (39,194 t/ha x ano) em relação às demais sub-bacias, seguido pela sub-bacia BC3 (25,874 t/ha x ano). Entre todas as sub-bacias a que obteve menor valor anual foi a sub-bacia BC2 (0,862 t/ha x ano).

TABELA 7.22 – Produção específica líquida de sedimento (em t/ha x ano) para cada sub-bacia e para a bacia total, durante o período de estudo:

	AF1	AF2	AF3	S1	S2	BC1	BC2	BC3	Total
Área (ha)	5.429,60	3.032,96	2.081,60	988,64	426,24	2.321,92	883,52	1.601,12	16.764,10
FEV	0,953	0,496	15,897	1,016	1,873	1,655	---	5,440	3,114
MAR	0,346	---	10,848	0,411	1,625	1,185	---	2,403	1,789
ABR	0,179	0,621	---	0,296	0,398	0,461	0,336	8,181	0,738
MAI	0,099	0,511	---	0,445	0,073	0,437	0,517	8,578	0,542
JUN	0,008	0,010	0,979	0,158	0,112	0,099	---	0,326	0,178
JUL	0,002	0,005	0,385	0,087	0,092	0,075	0,008	0,349	0,101
AGO	***	0,006	0,204	0,089	0,136	0,090	---	0,122	0,059
SET	***	***	---	0,064	0,122	0,035	---	0,014	0,006
OUT	0,046	---	1,309	0,100	---	0,088	---	0,296	0,210
NOV	0,122	---	1,606	0,064	0,029	0,207	---	0,164	0,257
DEZ	0,151	0,190	2,509	0,079	0,428	0,360	---	---	0,430
JAN/99	0,172	0,230	5,457	0,138	0,801	0,675	---	---	0,846
Média Anual	2,079	2,067	39,194	2,948	5,690	5,367	0,862	25,874	8,268
Conc. média (mg/l)	664,409	863,987	888,717	809,255	863,358	627,176	566,384	1.022,725	789,117

O valor obtido para a área total, ou seja, representativo para toda a bacia, foi 8,268 t/ha x ano. Este valor foi obtido dividindo-se o valor do deflúvio sólido calculado para todo o período de estudo (138.619,255 toneladas) pelo valor da área da bacia (16.764,100 ha).

Uma vez que o parâmetro produção específica de sedimento é função direta do deflúvio sólido total (valores líquidos), nota-se que o comportamento sazonal dos valores em cada sub-bacia foi idêntico ao comportamento sazonal dos valores líquidos apresentados na TABELA 7.21.

Os dados sobre a concentração média revelam que a sub-bacia BC3 foi a que obteve maior concentração média ao longo do período de estudo ($1,022 \text{ kg/m}^3$). O menor valor foi verificado para a sub-bacia BC2 ($0,566 \text{ kg/m}^3$).

O valor apresentado da concentração média para a área total é a média aritmética entre todos os valores, isto é, média aritmética entre os valores obtidos para cada mês e para cada sub-bacia. Entretanto, se for considerar a concentração média de sólidos totais que estão nas águas do Ribeirão Água Fria no momento que suas águas atingem o rio Tocantins e que vai entrar na contabilidade da carga sólida para as águas do rio Tocantins, o valor a ser considerado é aquele obtido para a sub-bacia AF3 ($0,888 \text{ kg/m}^3$), cujo ponto de coleta fica próximo a foz do Ribeirão Água Fria junto ao rio Tocantins e cujos sedimentos muito provavelmente serão transportados na sua totalidade para o canal do rio Tocantins.

7.10.4 – Estimativa do coeficiente de remoção de sedimentos:

A TABELA 7.23 compara a taxa anual de erosão esperada para cada sub-bacia com a produção líquida de sedimento. Mostra também os valores estimados para o coeficiente de remoção para o período de estudo para cada sub-bacia e também o índice médio para a bacia inteira. Verifica-se que o valor final obtido para a área de estudo (área total) foi 6,188%, utilizando-se a equação 4.19.

TABELA 7.23 – Valores da estimativa anual de solo removido e produção líquida de sedimento e estimativa do coeficiente de remoção de sedimento:

Sub-bacias	Estimativa de solo removido (t/ano)	Produção líquida (t/ano)	Coeficiente de remoção (%)
AF1	770.268,000	11.286,282	1,465
AF2	169.353,000	6.268,800	3,701
AF3	23.925,000	81.586,999	15,000
S1	101.856,000	2.914,691	2,861
S2	29.286,000	2.425,301	8,281
BC1	1.042.479,000	12.462,337	1,195
BC2	52.586,000	761,333	1,447
BC3	50.202,000	41.426,833	82,520
ÁREA TOTAL	2.239.955,000	138.619,255	6,188

Apresentando-se como uma exceção, verifica-se que o valor da produção líquida de sedimento apresentado pela sub-bacia AF3 foi superior ao valor da taxa de perdas de solo por erosão laminar esperada para esta sub-bacia. Isto impossibilitou a utilização da equação 4.19 para a estimativa do coeficiente de remoção para esta sub-bacia.

Sendo assim, como já mencionado no capítulo MATERIAL E MÉTODOS, optou-se por estimar o coeficiente de remoção pelo método da relação relevo-comprimento (FIGURA 4.9), dada a disponibilidade de dados existentes e dada também a característica topográfica e morfométrica da sub-bacia AF3. Seguindo os passos de cálculo do método da razão relevo-comprimento (sub-ítem 4.9.3.2), verificou-se que para a sub-bacia AF3 o valor do coeficiente de remoção foi 15%.

Tal fato indica que outras formas de erosão, tais como a erosão em canal (erosão em beira de rio ou “stream erosion”), estão participando numa taxa muito superior na contribuição do aporte de sedimentos do que a erosão laminar, considerando que esta sub-bacia obteve o menor valor de expectativa de erosão laminar dentre todas.

A FIGURA 7.14 mostra a reta de regressão obtida plotando-se os valores da área com os respectivos valores do coeficiente de remoção para cada bacia e para a área total. Observa-se grande dispersão dos dados, porém a reta possui tendência de regressão do coeficiente conforme aumenta-se a área da bacia.

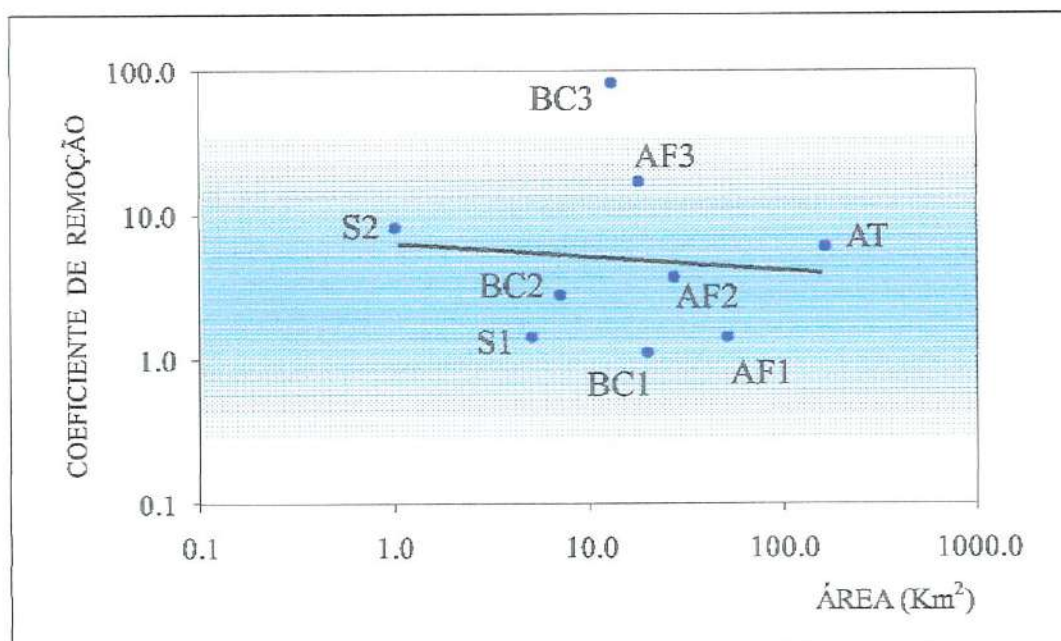
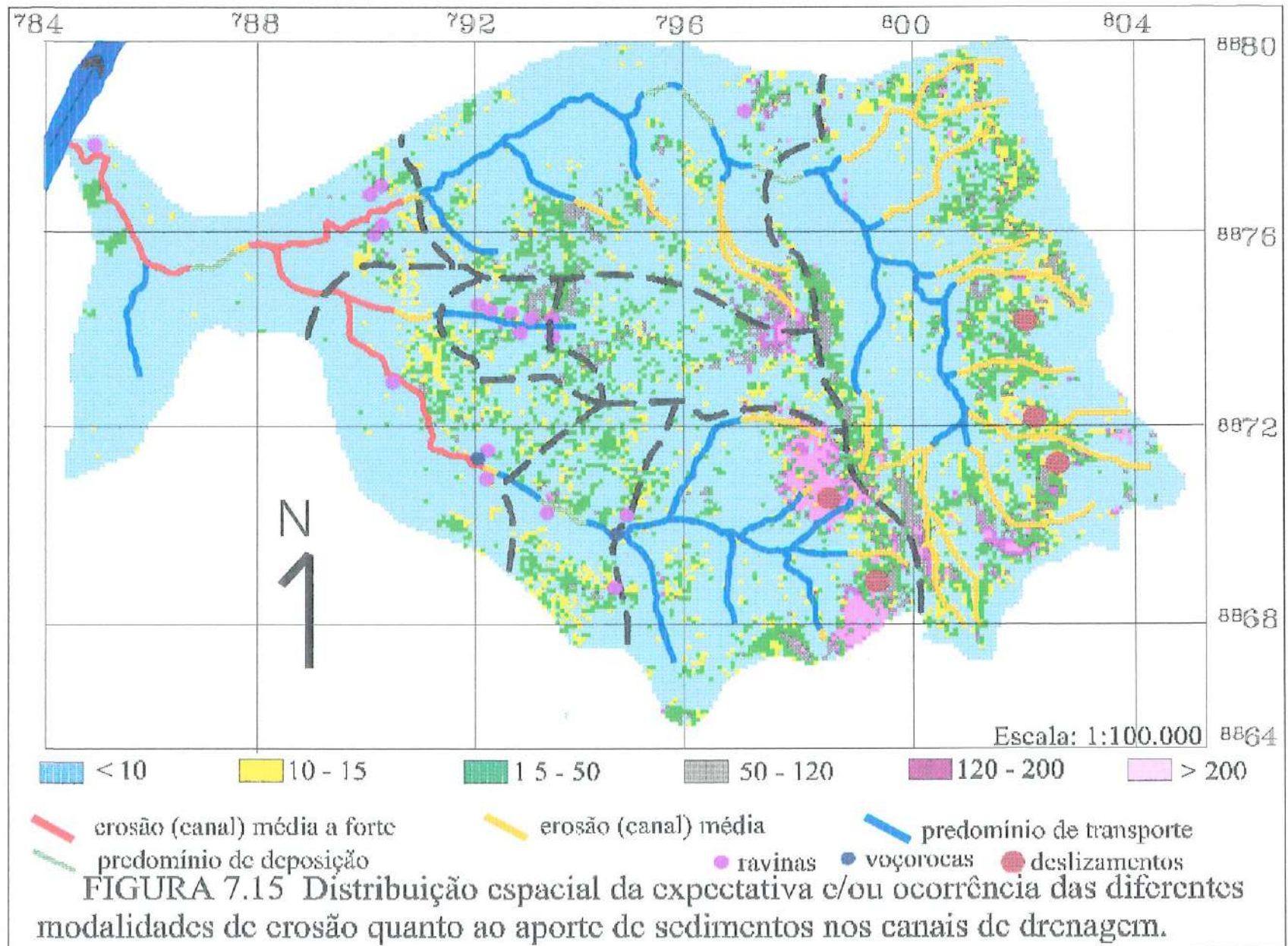


FIGURA 7.14 – Reta gerada a partir da relação entre a área e o respectivo coeficiente de remoção para cada sub-bacia e para a área de estudo.

7.11 – Estimativa do tipo de erosão predominante nas sub-bacias e na área total:

A FIGURA 7.15 mostra a distribuição espacial da expectativa das diferentes modalidades de erosão ocorrentes na área de estudo bem como a estimativa da magnitude de ação de cada modalidade prevista para cada sub-bacia e conseqüentemente para a área total. A modalidade de erosão laminar já foi explorada ao longo do texto, a seguir teceu-se uma descrição sintética das demais modalidades ainda não explorada no trabalho.

Os processos de erosão linear (ravinas e voçorocas) foram detectados em campo e, após plotados no mapa e ainda comparando a distribuição das feições erosivas lineares encontradas com o mapa geológico, verificou-se que a maioria das ravinas ocorrem em locais onde o embasamento geológico é a formação Pimenteiras. No mapa de solos verificou-se que estas feições ocorrem com maior predominância exatamente nas regiões de alteração do tipo de solo (linhas divisórias de tipos de solos), com suscetibilidade notável do solo concrecionário.



Na maior parte das ocasiões, as ravinas localizavam-se nas laterais das estradas de terra e possuíam dimensões muito diversificadas. Nota-se concentração de ravinas especialmente no córrego Suçuapara.

As voçorocas, as quais já se encontravam todas com os vales em forma de “U”, indicando estado senil de desenvolvimento, foram encontradas exclusivamente em pontos de afloramento da formação Pimenteiras, não necessariamente em locais de relevo movimentado mas sim, exclusivamente, em locais onde a superfície encontrava-se totalmente desprovida de algum tipo de cobertura.

Quanto a erosão por remoção de massa (deslizamento), foi detectado a ocorrência desta modalidade de erosão em local fora da bacia em estudo (ao lado da estrada de terra que liga Palmas a Novo Acordo). Porém, as condições vistas no local de ocorrência (relevo, solo, cobertura), são condições plenamente encontráveis na área de estudo, daí um primeiro passo para haver expectativa de ocorrência desta modalidade de erosão na área de estudo. Através de visualização das superfícies das regiões mais íngremes da Serra do Lajeado, geradas no modelo de elevação digital da área de estudo, verificou-se, na sub-bacia AF1, dois pontos cujas vertentes indicam ser de forma convexa e um ponto cuja vertente apresenta-se de forma retilínea, indicando haver probabilidade de ocorrência nestes pontos. Na sub-bacia BC1 verificou-se dois pontos cujas vertentes são francamente convexas (inclusive apresentando-se com nitidez também na fotografia do satélite). Salienta-se que outros pontos sujeitos a esta modalidade de erosão possam existir, porém não foi possível comprovar esta afirmação devido a precisão da escala da carta topográfica e ao difícil acesso às regiões íngremes da área de estudo por meio de veículo ou mesmo a pé. Nas demais sub-bacias, verificou-se a não probabilidade de ocorrência desta modalidade de erosão dadas principalmente as condições de relevo da área.

Estima-se que a erosão nos canais possua alguma variabilidade espacial, seguindo as características da área apresentadas no mapa (FIGURA 7.15). As informações sobre velocidade de escoamento nos pontos de amostragem das oito sub-bacias e ainda os mapas de classes de declividades, geologia, de solos e de uso e ocupação da área reforçam esta estimativa. As linhas vermelhas aparecem na região da média e baixa bacia (sub-bacias BC3 e AF3). Apesar das sub-bacias BC3 e AF3 possuírem, na sua maior parte, relevo plano, as classes de solo ocorrentes na bacia indicam propensão ao processo de destacamento e transporte de partículas pelas águas dos canais de drenagem. Analisando a total, a maior parte dos canais está sob a cor azul, por indicar predomínio do processo de transporte de sedimentos ao longo da bacia, mesmo nas regiões mais íngremes da serra, pois o embasamento geológico possui resistência ao processo erosivo.

Conforme exposto no capítulo MATERIAIS E MÉTODOS, elaborou-se uma tabela (TABELA 7.29) buscando apontar a potencialidade

de cada modalidade de erosão quanto ao aporte de sedimentos e qual seria a modalidade que estaria sendo a principal fonte, conforme a localidade.

Para o caso da erosão laminar, gerou-se preliminarmente uma tabela (TABELA 7.24) para permitir interpretação da modalidade. Partindo-se da TABELA 7.8, somou-se, para cada sub-bacia e para a área total, a porcentagem das classes 3 (15 – 50 t/ha * ano), 4 (50 – 120 t/ha * ano), 5 (120 – 200 t/ha * ano) e 6 (> 200 t/ha * ano). Os valores foram interpretados do seguinte modo:

TABELA 7.24 – Interpretação da potencialidade de aporte de sedimentos conforme a proporção de classes de expectativa de perdas de solo – erosão laminar:

Soma da porcentagem das classes 3, 4, 5 e 6 da TABELA 7.8	Interpretação
> 25%	Forte (Fo)
20 – 25%	Médio a forte (Me – Fo)
15 – 20%	Médio (Me)
10 – 15%	Fraco a médio (Fr – Me)
< 10%	Fraco (Fr)

A potencialidade de aporte de sedimentos das erosões lineares (ravinas) foi interpretada julgando-se a densidade de feições erosivas encontradas em cada sub-bacia (número de ravinas/km² – TABELA 7.25) juntamente com sua proximidade aos canais de drenagem e substrato geológico ocorrente na área.

TABELA 7.25 – Interpretação da potencialidade de aporte de sedimentos conforme a densidade de ravinas por km².

Densidade de ravinas por km ²	Classe
< 0,1	Fraca (Fr)
0,1 – 0,3	Média (Me)
0,3 – 1,0	Média a forte (Me – Fo)
> 1,0	Forte (Fo)

A potencialidade de erosão por voçoroca foi interpretada considerando-se a ocorrência das feições (ravinas e voçorocas) e juntamente com o substrato geológico (vide mapa geológico – FIGURA 5.3). Considerou-se a ocorrência ou não de ravinas partindo-se da condição de que toda voçoroca inicia-se com o processo de ravinamento. Ou seja, toda voçoroca uma vez já foi uma ravina e uma ravina pode ter a possibilidade de transformar-se numa voçoroca. A TABELA 7.26 expõe as classes interpretativas e as condições de classificação.

TABELA 7.26 – Interpretação de expectativa de ocorrência de voçorocas conforme as características dos fatores considerados:

Classe	Natureza do substrato geológico	Ocorrência de voçoroca	Ocorrência de ravinas
Fraca (Fr)	Cristalino	---	---
Média (Me)	Sedimentar	Não	Sim
Forte (Fo)	Sedimentar	Sim	Sim

A potencialidade de erosão nos canais (rios) foi interpretada utilizando-se o mapa de declividades, a TABELA 4.4, a FIGURA 4.3 e o mapa de solos (FIGURA 5.5). Utilizando-se os dados sobre velocidade de escoamento, pode-se ter um indicativo no trecho onde foi realizada a leitura estava ocorrendo erosão, transporte ou deposição. A TABELA 7.27 fornece as condições para a interpretação e classificação.

TABELA 7.27 - Interpretação de expectativa de ocorrência de erosão em canais conforme as características dos fatores considerados:

C. M.	Solo	Classes de declividade					
		< 3	3 - 8	8 - 20	20 - 45	45 - 75	> 75
I	(a)	Fraca	Média	Média	Forte	Forte	Forte
	(s)	Média	Média	Forte	Forte	Forte	Forte
	(ar)	Média	Média	Forte	Forte	Forte	Forte
II	(a)	Fraca	Fraca	Média	Forte	Forte	Forte
	(s)	Fraca	Média	Média	Forte	Forte	Forte
	(ar)	Média	Média	Forte	Forte	Forte	Forte
III	(a)	Fraca	Fraca	Fraca	Média	Média	Média
	(s)	Fraca	Fraca	Média	Média	Média	Forte
	(ar)	Fraca	Fraca	Média	Média	Média	Forte

Tipos de solo:(a) – argiloso / (s) – siltoso / (ar) – arenoso.
 Condições de conservação da mata ciliar (C.M.):
 I – Degradada. / II – Média. / III – Intacta

A potencialidade de ocorrência de erosão por deslizamento foi interpretada verificando o mapa de declividade e o modelo de elevação digital do terreno, este último forneceu informações sobre a forma das encostas (côncavas, retilíneas ou convexas). Aspectos da cobertura do solo também foram considerados na análise. Desta forma a interpretação foi feita conforme mostra a TABELA 7.28.

TABELA 7.28 - Interpretação de expectativa de ocorrência de erosão por deslizamento conforme as características dos fatores considerados:

CLASSE	Relevo	Forma da encosta	Cobertura vegetal
Nula	Plano a forte ondulado	---	---
Fraca (Fr)	Montanhoso	Convexa	Rala / nula
Média (Me)	Montanhoso a escarpado	Côncava a retilínea	Rala / nula
Médio a Forte (Me - Fo)	Montanhoso a escarpado	convexa	Densa
Forte (Fo)	Montanhoso a escarpado	convexa	Rala / nula

Finalmente, chegou-se ao produto final de toda esta análise, a TABELA 7.29, que mostra as estimativas de ocorrência de cada modalidade de erosão, sendo também considerada a participação da modalidade no aporte de sedimento aos canais de drenagem da bacia. Esta previsão sobre a potencialidade de cada modalidade no aporte de sedimentos conforme a localidade foi realizada comparando-se o grau de expectativa de cada modalidade entre si para cada sub-bacia e para área total, bem como sua localidade junto aos canais de drenagem.

Verifica-se que de maneira geral a sub-bacia BC1 é que possui as maiores condições para desencadear os processos erosivos e a sub-bacia AF3 a que possui menores perspectivas. A área total mostrou-se com uma periculosidade média de desencadeamento do processo erosivo e estima-se que a modalidade laminar seja a que contribui mais significativamente no aporte de sedimentos.

TABELA 7.29 - Estimativa da expectativa de erosão predominante para cada sub-bacia:

Modalidade de Erosão	Erosão laminar	Erosão em ravinas	Erosão em voçorocas	Erosão em canais (rios)	Erosão por deslizamentos
Característica quanto ao aporte de sedimentos	difusa	pontual	pontual	difusa	pontual
Sub-bacia	Expectativa de ocorrência da modalidade				
AF1	Me – Fo	Fr	Fr	Me	Me
AF2	Me	Fr	Me	Me	Nula
AF3	Fr	Me	Me	Me	Nula
S1	Me – Fo	Me	Me	Fr	Nula
S2	Me - Fo	Fo	Me	Me	Nula
BC1	Fo	Me	Me	Me	Fo
BC2	Me – Fo	Me – Fo	Fo	Me	Nula
BC3	Fr	Me	Fo	Me	Nula
ÁREA TOTAL (predomínio)	Me	Me	Me	Me	Fr
Fr – fraca expectativa / Me – média expectativa / Fo – Forte expectativa. Negrito – Modalidade de erosão que estima-se que seja responsável pela maior parte do aporte de sedimentos na área.					

8 – DISCUSSÃO:

O estudo da bacia aqui conduzido, cujos resultados numéricos e qualitativos estão apresentados no capítulo 7, permitem uma ampla discussão acerca das perspectivas de evolução da mesma. Na presente discussão são levantados os pontos considerados inicialmente como os mais relevantes. Espera-se, contudo, que a presente abordagem e análise conduza a discussões futuras que apontem para melhores soluções nesta ou em outras bacias.

8.1 – Análise morfométrica da bacia:

Menciona-se uma vez mais que toda a análise sobre a morfometria da bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria foi realizada com o intuito de caracterizar morfometricamente a área de estudo e comparar seus valores com os valores de outras bacias conforme cada parâmetro, uma vez que trata-se de uma primeira avaliação desta natureza realizada na região estudada. Também existiu o objetivo principal da análise que foi fornecer subsídios para que se pudesse avaliar se existe ou não participação de algum aspecto morfométrico da bacia que esteja influenciando a dinâmica erosivo-sedimentológica no local, uma vez integrando estas informações com as demais discutidas a seguir.

As informações obtidas na análise morfométrica das oito sub-bacias e da área total da bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria revelaram que a área de estudo é composta por um padrão de drenagem dendrítico, uma vez comparado o desenho formado pela hidrografia da área de estudo com desenhos de padrões de drenagem apresentados em BERTONI & LOMBARDI NETO (1990).

Conforme já mencionado, GANDOLFI (1971) afirma que o índice de forma “K” infere sobre a proximidade da forma da bacia em relação a um círculo, sendo mais próximo de um círculo quanto mais próximo do valor 1,0 estiver o valor obtido. Para o caso da área de estudo do presente trabalho, o valor obtido sugere que a bacia (área total) esteja longe da forma circular. Dentre as sub-bacias, BC1 foi a que apresentou maior proximidade do formato circular, enquanto que AF3 foi a que ficou mais distante.

Comparativamente, pode-se citar que para a bacia do presente estudo, o índice de forma “K” para a área total (1,83) foi mais próximo daquele obtido por GANDOLFI (1971) para a bacia do rio do Peixe (1,74), enquanto que para as outras bacias apresentaram índices mais distintos (Moji-Guaçú: 1,94; Ribeirão dos Pilões: 1,45 e Catas Altas: 1,24). O índice de forma K para a bacia do ribeirão Água Fria apresentou-se distante daquele apresentado pela bacia do Ribeirão dos Carrapatos (2,06), estimada por PIÃO (1995).

Apesar das considerações feitas sobre o índice de forma "K", verifica-se que para o índice de forma "If" o menor valor do índice "K" obtido apresentou relação normal com o índice "If", isto é, a sub-bacia BC1 obteve menor valor de "K" e enquadrou-se na forma de um círculo pelo índice "If". Entretanto as demais não seguiram a mesma regra, sendo que a sub-bacia AF2 apresentou o segundo menor valor do índice "K" e enquadrou-se na forma de um retângulo pelo índice "If". A sub-bacia BC2 apresentou o terceiro menor valor de "K" e enquadrou-se na forma de um círculo. A sub-bacia S1 foi o quarto menor valor de "K" e enquadrou-se na forma de um retângulo. A sub-bacia AF1 foi o quinto menor de "K" e a forma foi um círculo. As sub-bacias S2 e BC3 foram, respectivamente, o sexto e sétimo menores valores e a forma foi um retângulo. Finalmente, a sub-bacia AF3, maior valor registrado do índice "K", enquadrou-se na forma de um triângulo pelo índice "If". A área total, apesar de obter um valor relativamente distante de um círculo pelo índice "K", foi enquadrada como círculo pelo índice "If".

Conclui-se que tais métodos de avaliação da forma da bacia hidrográfica mostraram-se distintos com relação aos resultados que fornecem e distintos também nas prováveis considerações que permitem fazer sobre os resultados.

Apesar da aparentemente alta variabilidade apresentada pelos valores do parâmetro densidade de drenagem entre as sub-bacias (máx.=0,909 para AF1 e mín.=0,075 para a S1), verifica-se que a densidade é considerada baixa para todas as sub-bacias e também para a área total, conforme tabela de interpretação citada em CHRISTOFOLETTI (1969) (TABELA 8.1). Segundo o autor, a densidade de drenagem constitui o mais importante parâmetro de análise de sistemas de drenagem de bacias hidrográficas.

Buscando uma comparação do valor obtido no presente trabalho para a densidade de drenagem ($0,708 \text{ km/km}^2$) com valores apresentados em outros trabalhos, menciona-se que GANDOLFI (1971) encontrou valor igual a $1,01 \text{ km/km}^2$ para a bacia hidrográfica da bacia do Moji-Guaçu (SP), $0,66 \text{ km/km}^2$ para a bacia do Peixe (SP), $1,17 \text{ km/km}^2$ para a bacia do ribeirão dos Pilões (SP) e $0,67 \text{ km/km}^2$ para a bacia do ribeirão Catas Altas. PIÃO (1995) encontrou valor igual a $1,10 \text{ km/km}^2$ para a bacia do Ribeirão dos Carrapatos (SP) e BELTRAME (1994) encontrou valor 3,32 para a bacia do Rio do Cedro (SC). CHRISTOFOLETTI (1970) encontrou valores variando de $1,425 \text{ km/km}^2$ a $2,644 \text{ km/km}^2$ para bacias hidrográficas do planalto de Poços de Caldas (MG).

TABELA 8.1 - Classes de interpretação para os valores da densidade de drenagem:

classes de valores (km/km ²)	Interpretação
menor que 7,5	Baixa densidade de drenagem
entre 7,5 e 10,0	Média densidade de drenagem
maior que 10,0	Alta densidade de drenagem

FONTE: CHRISTOFOLETTI (1969).

A hidrografia apresentou-se como sendo de terceira ordem dentro do sistema de ordenamento de hierarquia fluvial de Strahler (CHRISTOFOLETTI, 1969). Nota-se, talvez por razões geológicas e de relevo, que a maior riqueza de canais está concentrada na parte alta da bacia, onde a sub-bacia AF1 já se apresenta como sendo de terceira ordem e esta ordem prevalece até a foz no rio Tocantins, ou seja, por todo o restante da bacia.

Para o presente estudo, após realização do sobrevôo, visitas realizadas a campo e ainda algumas entrevistas realizadas a moradores da região, concluiu-se desnecessário adotar a convenção sugerida por CHRISTOFOLETTI (1969) em elevar em um grau a ordem do canal, pois não foi observado nenhum canal adicional que não estivesse constando na hidrografia da carta topográfica e também na fotografia do satélite, apesar de julgar-se importante tal recomendação, principalmente para grandes bacias.

O parâmetro relação de bifurcação revelou valores nulos para as sub-bacias S1, S2 e BC2 por não possuírem nenhum afluente em seu canal principal. O valor obtido para a área total foi 5,337. Comparativamente, nas bacias de Poços de Caldas estudadas por CHRISTOFOLETTI (1970), o autor encontrou valores de médias ponderadas variando entre 3,37 e 4,96. Para as bacias estudadas por GANDOLFI (1971), o autor encontrou valores variando entre 3,71 e 3,97. Verifica-se então que a bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria apresentou maior riqueza de bifurcações do que as demais bacias citadas.

A partir da comparação de teorias sobre a relação de bifurcação com relevo ou substrato geológico feita por CHRISTOFOLETTI (1969) cita-se que para o presente estudo, observou-se a possibilidade de haver a participação simultânea de três fatores: substrato geológico, tipo de solo e relevo, sendo que a magnitude da influência de cada fator é variável conforme a região da bacia hidrográfica. Para a sub-bacia AF1, por exemplo, nota-se uma participação equilibrada entre as três partes: 1) do relevo, que na sua maior parte é movimentado; 2) do substrato geológico predominante ("Complexo Goiano" – ocorre em 81,706% da sub-bacia), a qual é formada por rochas que permitem pouca ou nenhuma infiltração e 3)

a predominância dos solos cambissolo e litólico (juntos somam 49,591% da área) os quais são rasos, não possibilitando o armazenamento de grandes quantidades de água em seus perfis.

Comparando-se as sub-bacias AF2 e BC2, verifica-se que a associação entre o substrato geológico (com a formação Pimenteirias predominando na sub-bacia AF2 e ocorrendo com exclusividade na sub-bacia BC2) e o relevo, que é ligeiramente mais movimentado na sub-bacia AF2, participam tanto no desenho (arranjo) da hidrografia quanto nas densidades (de drenagem e hidrográfica) e relação de bifurcação, as quais são maiores na sub-bacia AF2. Ainda, na sub-bacia BC2 ocorre predominância do tipo de solo latossolo vermelho escuro de textura argilosa, o qual pode talvez estar contribuindo na retenção de maiores quantias de água da chuva devido as suas características físicas (textura, profundidade, entre outras), com relação aos outros tipos de solo que ocorrem na sub-bacia AF2, tendo, portanto, grande participação no modelado da hidrografia destas duas regiões.

Assim, no presente estudo verifica-se que a relação de bifurcação muito provavelmente depende de fatores interligados, sendo difícil estabelecer um relacionamento biunívoco entre uma ou outra variável.

Para o parâmetro densidade hidrográfica, a área de estudo obteve valores sempre abaixo daqueles encontrados na literatura (valor da área total: 0,310 rios/km²). Comparativamente, PIÃO (1995) encontrou valor 0,51 rios/km², CHRISTOFOLETTI (1970) encontrou valores entre 0,9 e 2,7 rios/km². GANDOLFI (1971) encontrou valores entre 0,628 e 1,173 rios/km². Tal fato mostra que mesmo a sub-bacia BC1, que foi a sub-bacia com maior densidade hidrográfica para a área de estudo (valor 0,473 rios/km²), ainda ficou abaixo dos valores mencionados e, apesar de não ter sido encontrada nenhuma tabela interpretativa para os valores deste parâmetro, o seu valor relativo a outros estudos permite inferir que a área de estudo é servida de um médio ou mesmo pequeno número de canais por área de superfície.

O parâmetro extensão do percurso superficial revelou valores inversamente proporcionais em relação a densidade hidrográfica, mostrando haver alguma relação do tipo: quanto menor o número de canais maior a será a distância que as águas do escoamento superficial terão que correr. Comparativamente menciona-se que CHRISTOFOLETTI (1970) encontrou valores entre 189 e 350 metros, enquanto que GANDOLFI (1971) encontrou valores entre 427,3 e 757,5 metros, o presente estudo revelou valores entre 550 e 6.622,5 metros, sendo que a área total apresentou valor final de 706,2 metros.

Mesmo sendo função do parâmetro densidade de drenagem, verifica-se que a extensão do percurso superficial mostrou ter uma relação direta também com o parâmetro densidade hidrográfica. Ou seja, com

relação aos dados da literatura, os valores da densidade hidrográfica foram sempre menores, enquanto que para a extensão do percurso superficial os valores foram sempre maiores. Isto indica haver, para a bacia do ribeirão Água Fria, o que se poderia chamar “raridade” hidrográfica na bacia.

Ainda com relação ao parâmetro extensão de percurso superficial, menciona-se que duas sub-bacias (AF1 e BC1) apresentaram valores muito próximos entre si (os menores registrados dentre todos). Na sub-bacia AF1 ocorreu seca do ribeirão Água Fria entre os meses agosto e outubro. Já no ponto BC1, cuja sub-bacia obteve valor pouco superior ao da sub-bacia AF1, não ocorreu seca no rio. Assim como vem sendo discorrido ao longo do texto, isto mostra que a associação entre relevo, substrato geológico e tipo de solo imperam na determinação não só do modelado hidrográfico da bacia mas também na capacidade de retenção de água da chuva, uma vez que tanto na sub-bacia AF1 como na sub-bacia AF2 predomina o solo do tipo concrecionário (32,818% na sub-bacia AF1 e 47,879% na sub-bacia AF2), enquanto que na sub-bacia BC1 o solo do tipo latossolo vermelho amarelo textura argilosa ocorre em 26,777% da área.

Explicando a seca ocorrida no local durante a época do estudo e mencionada anteriormente (na sub-bacia AF1 entre agosto e outubro e na sub-bacia AF2 entre setembro e outubro), trata-se de uma ocorrência rara no local (segundo os moradores da região) e, segundo informações obtidas junto ao Núcleo de Meteorologia do Estado do Tocantins (NEMET), a ocorrência da seca se deu por motivo de pouca chuva no período chuvoso que antecedeu ao período da estiagem.

O parâmetro coeficiente de manutenção fornece a informação de quantos metros quadrados são necessários para a manutenção de um metro de canal com escoamento permanente. Neste parâmetro, a sub-bacia S1 apresentou valor (13.245,0 m²/m) acentuadamente maior em relação as outras sub-bacias. Nesta sub-bacia também ocorreu, predominantemente, solo do tipo latossolo vermelho escuro - textura argilosa em 84,932% da área. Talvez por estas razões foi a sub-bacia que apresentou também a maior estabilidade da vazão (menor coeficiente de variação de vazão entre todos os pontos ao longo do período de estudo), ainda que tenha apresentado o menor valor médio anual de vazão.

Comparando o valor do parâmetro coeficiente de manutenção com outros trabalhos, tem-se que em Poços de Caldas (MG), CHRISTOFOLETTI (1970) encontrou valores variando de 378,0 a 701,0 m²/m. GANDOLFI (1971) encontrou para as bacias Moji-Guaçu, Peixe, Pilões e Catas Altas valores mais altos, variando de 854,4 a 1.515,0 m²/m. Para a bacia do Ribeirão dos Carrapatos (SP), PIÃO (1995) encontrou valor igual a 908,0 m²/m. Valores variáveis, mas na sua maioria menores em relação ao valor encontrado para a área total da região do presente estudo, que foi 1.412,0 m²/m.

Fazendo referência ao parâmetro textura topográfica, menciona-se que todas as sub-bacias foram classificadas como sendo de textura grosseira, inclusive a área total (valor: 1,128), conforme verifica-se na tabela de interpretação dos valores deste parâmetro (TABELA 8.2).

Ainda com relação ao parâmetro textura topográfica, de todas as sub-bacias, a que mais chama a atenção pelo resultado e pela classificação é a sub-bacia AF3 que, embora seja de relevo plano, apresentou o quarto maior valor dentre as oito sub-bacias. Os dados mostram a possibilidade de estar havendo um forte trabalho de erosão no canal, como será discutido logo mais junto ao parâmetro “coeficiente de remoção de sedimentos”.

TABELA 8.2 - Classes de interpretação para os valores da textura da topografia:

razão de textura média	Classe de textura topográfica
abaixo de 4,0	Grosseira
entre 4,0 e 10,0	Média
acima de 10,0	Fina

FONTE: CHRISTOFOLETTI (1969).

A título de comparação, cita-se que CHRISTOFOLETTI (1970), estudando a textura topográfica das bacias de Poços de Caldas (MG), classificou oito das dez bacias como sendo de textura grosseira e as outras duas como sendo de textura média. GANDOLFI (1971) encontrou textura grosseira para as quatro bacias que estudou (Moji-Guaçu, Peixe, Pilões e Catas Altas). Verifica-se então certa similaridade entre as classificações dos trabalhos citados e as do presente estudo.

A partir das considerações sobre o valor interpretativo do parâmetro rugosidade do relevo feitas por CHRISTOFOLETTI *et al* (1981), verifica-se que as sub-bacias S1, S2, BC2, BC3 e AF3 apresentaram valores de rugosidade do relevo considerados baixos, sendo regiões de declividade moderada. Já as sub-bacias AF1, AF2 e BC1 apresentaram valores do mesmo parâmetro considerados altos e a área total (bacia inteira) também apresentou valor considerado alto, dada a influência da região da alta bacia (AF1 e BC1, principalmente).

Conclui-se então que os parâmetros morfométricos estudados na área de estudo estão estreitamente correlacionados principalmente com o substrato geológico bem como com o relevo da área, além de haver, para alguns parâmetros, relação também com o tipo de solo predominante na área.

8.2 – Erosividade das chuvas – fator R:

Analisando o valor estimado da erosividade das chuvas sobre a área de estudo ao longo do ano verifica-se, conforme mostra a TABELA 8.3, que a região possui um índice de erosividade interpretado como médio a forte. Trata-se de mais um parâmetro que está sendo estudado pela primeira vez na região, pois NEGREIROS NETO (1997) não estimou um valor específico para o município de Palmas em suas estimativas de erosividade para o estado do Tocantins.

TABELA 8.3 - Classes de interpretação para índices de erosividade:

Intervalo (tm x mm x há ⁻¹ x ano ⁻¹)	Interpretação
R < 250	Erosividade fraca
250 < R < 500	Erosividade média
500 < R < 750	Erosividade média a forte
750 < R < 1000	Erosividade forte
R > 1000	Erosividade muito forte

FONTE: CARVALHO (N. O., 1994).

Verificou-se a ocorrência de distribuição irregular das chuvas e de seu potencial erosivo ao longo do ano na região, o que faz com que cerca de 90% de todo potencial erosivo das chuvas aconteça em somente oito dos doze meses que compõem o ano. Esta irregularidade de distribuição permite inferir que exista uma influência no comportamento do balanço hídrico do solo, ocorrendo excedente hídrico na época da chuva. A influência das águas da chuva, em função do excedente hídrico, atua diretamente na formação de escoamento superficial e este atua na remoção do solo e também no aumento da vazão dos cursos d'água existentes na bacia, favorecendo também o potencial de transporte de sedimentos pelos canais de drenagem nesta época. Confirma-se este processo pela verificação do aumento do débito fluvial (FIGURAS 7.11 e 7.12) dos canais superficiais ao longo do período de estudo.

Entre os valores extremos encontrados no mapa de isoerodentes para o estado do Tocantins (linhas isoerodentes variando de 450 a 800 tm x mm x há⁻¹ x ano⁻¹ – FIGURA 6.1), verifica-se que Palmas possui valor intermediário (616,65 tm x mm x há⁻¹ x ano⁻¹) e próximo ao valor médio (média aritmética) entre os dois extremos (625 tm x mm x há⁻¹ x ano⁻¹).

A título de comparação com outras regiões do Brasil, cita-se que BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) apresentam curvas geradas para diversas regiões do estado de São Paulo, as quais foram divididas conforme a semelhança de comportamento de distribuição da erosividade entre as localidades que foram utilizadas os dados pluviométricos. Estes autores observaram curvas com mesmo formato daquelas apresentadas por WISCHMEIER & SMITH (1978) (formato aproximado de um “j”, enquanto outras apresentam-se com formato inverso), sendo que estas variações das curvas variam conforme a localização geográfica das estações climatológicas.

Conclui-se então que quanto mais verticalizado estiver o segmento da curva numa certa época do ano, maior agressividade terão as chuvas nesta época, apontando também maior concentração quanto maior for a verticalização. Épocas do ano (com número variável de meses conforme a localidade) onde a curva tende a uma horizontalização, indicam menor agressividade das chuvas e, quanto mais largo for o trecho de linha horizontal, mais íngreme serão os trechos das curvas das outras épocas, isto porque pode ocorrer um espaçamento grande entre as épocas de chuvas conforme a localidade, sendo este o caso da área de estudo (bacia do ribeirão Água Fria).

Comparando-se resultados, tem-se que o valor da erosividade encontrada para a região de Palmas (616,65 tm x mm x ha⁻¹ x ano⁻¹) foi maior daquele encontrado na região de Juazeiro (BA) por LOPES & BRITO (1993) (210 tm x mm x ha⁻¹ x ano⁻¹) e menor daquele encontrado para Manaus (AM) por OLIVEIRA Jr. & MEDINA (1990) (815 tm x mm x ha⁻¹ x ano⁻¹). Foi também intermediário daqueles encontrados para a bacia hidrográfica do alto Paraguai (parte dos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) (entre 600 - 950 tm x mm x ha⁻¹ x ano⁻¹, conforme a localidade, citados em M.M.A. (1997).

Estes dados mostram uma tendência de aumento do valor médio anual do índice de erosividade no sentido leste→oeste na porção centro-norte do Brasil, fato também verificado no mapa de erosividade do estado do Tocantins entre as latitudes 09° e 10° sul.

8.3 – Fator topográfico da EUPS – fator LS:

Observa-se que o relevo da área de estudo possui movimentação topográfica fraca na maior parte da bacia e forte movimentação de forma concentrada (grande variação vertical em pouca variação horizontal). A análise descritiva do mapa de declividades revela que a região de maior movimentação topográfica é a sub-bacia AF1, coincidindo ser esta área também de maior valor para a densidade de drenagem, além do alto número de canais considerados e já apresentar-se de terceira ordem.

Para o caso desta sub-bacia, fica claro que os fatores que contribuem mais fortemente para a alta densidade de drenagem é o substrato geológico e o relevo movimentado. A região abrangida pela sub-bacia BC1 também enquadra-se dentro destas considerações, uma vez que apresentou o segundo maior valor de densidade de drenagem e condições de relevo semelhantes.

O comentário feito a seguir trata da discussão de alguns problemas encontrados na metodologia empregada. Estes comentários poderão servir de base e de alerta para outros trabalhos a serem feitos não só na bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria mas em qualquer outra bacia cuja análise topográfica esteja sendo realizada pela primeira vez:

Na análise do fator topográfico (fatores LS da EUPS), realizada através de técnicas de geoprocessamento, uma das dificuldades encontradas foi a obtenção de um resultado não satisfatório do Modelo de Elevação Digital obtido com dados somente da carta topográfica. Isto se deve a dois motivos principais:

1) A escala da carta topográfica que serviu de fonte de informação (1:100.000), é considerada pequena ou exploratória, ocorrendo curvas de nível somente em intervalos de 40 metros. Isto provavelmente leva ao "mascaramento" de fatores possivelmente importantes do ponto de vista da aplicação de conhecimentos sobre a participação do parâmetro topografia na elucidação do fenômeno da erosão ocorrente na área de estudo.

2) A peculiaridade da topografia da bacia estudada: nas partes consideradas média e baixa bacia (áreas que compreendem as sub-bacias AF2, AF3, S2, BC2 e BC3), predominam áreas de ocorrência de relevo pouco acidentado, fazendo que ocorra um grande distanciamento entre as curvas de nível na carta topográfica (documento que serviu de fonte de informações). Neste caso, o software IDRISI, sendo um sistema que trabalha com limitações internas próprias, realizou uma interpolação de tal forma que gerou um produto (mapa do modelo numérico de elevação do terreno) que distorceu a imagem em relação à realidade da topografia da área de estudo.

Devido a isto, optou-se por inserir uma massa complementar de dados de outras fontes, principalmente do mapa topográfico da área urbana de Palmas (escala: 1:25.000, da qual faz parte do plano diretor do município), para que, após efetuar-se a interpolação das curvas e duas filtragens, este pudesse gerar mapas com informações as mais próximas possíveis da realidade, principalmente o mapa de declividades.

Ainda sobre a metodologia, menciona-se que o software "USLE-2D" elaborado por DESMET & GOVERS (1996) apresentou bom

desempenho e mostrou ser um instrumento muito prático e de rápida geração de resultados, uma vez que a elaboração de mapas de valores do fator L são extremamente custosos do ponto de vista de mão-de-obra e geralmente os produtos (mapas) não obtêm satisfação plena por parte do técnico (DESMET & GOVERS, 1996; TAVARES, 1986). A compatibilidade de trabalho com o software IDRISI também foi um aspecto que facilitou a operacionalidade. Uma vez que o software requer o modelo de elevação digital da área de estudo para posterior aplicação nas rotinas de cálculo, considera-se relevantes, também neste caso, os comentários já feitos sobre a importância da qualidade da informação importada ao software, no sentido de permitir a execução e elaboração de um produto final (mapa do fator LS) de boa qualidade.

Buscando uma base comparativa, cita-se que em M.M.A. (1997) os autores, em trabalho realizado na bacia do alto Paraguai, utilizaram o mesmo algoritmo utilizado no presente trabalho (equação 4.4 citada no sub-ítem 4.6.1.1), com uso de metodologia e software diferentes mas utilizando cartas topográficas também na escala 1:100.000. No método utilizado, os autores consideraram o regime hidrológico de uma vertente e consideraram, no modelo numérico do terreno, células quadradas com 1.500 m de lado, enquanto que para o presente trabalho as células também foram de forma quadrada, porém com 30m de lado.

Menciona-se aqui as principais vantagens sobre o uso do geoprocessamento no presente estudo: rapidez de execução e produção de resultados e ainda boa capacidade de trabalhar com informações teóricas, propiciando cenários simulados. Vantagens que constam também na maioria das referências bibliográficas citadas neste trabalho contendo abordagens sobre esta tecnologia. O uso conjugado da técnica de geoprocessamento com o modelo “Equação Universal de Perda de Solo”, fato também freqüentemente noticiado entre os pesquisadores, proporcionou informações importantes e claras sobre cada fator que influencia o processo erosivo bem como os fatores estudados simultaneamente.

Baseado nesta experiência conclui-se que o geoprocessamento é uma ferramenta muito útil, uma vez que se tenha informações adequadas as quais possibilitem o bom desempenho do software, correndo o risco de obter resultados medíocres e até insatisfatórios caso as informações necessárias de entrada não forem adequadas, principalmente quanto ao aspecto da análise do relevo de uma região.

8.4 – Erodibilidade – fator K:

Para o parâmetro erodibilidade do solo, parâmetro que reflete a inversa da resistência à erosão, observa-se, pela TABELA 8.4, que os tipos de solos cambissolo, latossolo vermelho escuro - texturas argilosa e

média e latossolo vermelho amarelo texturas argilosa e média, foram classificados como sendo de erodibilidade média. O solo concrecionário e o solo hidromórfico foram enquadrados com erodibilidade baixa, isto é, pouco erodível. O solo litólico foi enquadrado na classe alta, sendo o de maior suscetibilidade à erosão entre todos. Dentro deste contexto infere-se que predomina na área de estudo solos com média suscetibilidade à erosão, fato verificado pelos valores médios obtidos para a área total. Para a classe rocha exposta, como trata-se de um corpo que não é solo, optou-se por não enquadrá-la neste tipo de classificação.

TABELA 8.4 – Classes de interpretação para os valores do fator K (erodibilidade do solo):

Intervalos de valores de K (erodibilidade) ($t \times ha \times ano \times tm^{-1} \times ha^{-1} \times mm^{-1}$)	Classes de interpretação
< 0,15	Erodibilidade baixa
0,15 – 0,30	Erodibilidade média
> 0,30	Erodibilidade alta

Fonte: CARVALHO (N. O., 1994).

Chama a atenção o fato do solo litólico ser o mais suscetível à erosão, principalmente considerando sua região de ocorrência, cujo relevo é predominantemente muito declivoso. Isto perfaz um forte argumento técnico que contribui para evidenciar a necessidade de se utilizar a área de ocorrência deste solo apenas para preservação da vida silvestre e ainda endossa a atitude de instituir a área de Serra do Lajeado como sendo Área de Preservação Ambiental, instituído pelo órgão estadual de defesa do meio ambiente do estado do Tocantins.

Comparando os resultados de erodibilidade obtidos no presente trabalho com os resultados de erodibilidade determinados para solos semelhantes localizados em outras regiões do país, cita-se que em M.M.A. (1997) os autores apresentaram valores de erodibilidade para solos da região da bacia do Alto Paraguai, sendo que para o solo litólico o valor encontrado foi $0,50 t \times ha \times ano \times tm^{-1} \times ha^{-1} \times mm^{-1}$, superior ao do presente estudo ($0,32 t \times ha \times ano \times tm^{-1} \times ha^{-1} \times mm^{-1}$). MARGOLIS *et al* (1985) encontraram, na região de Caruaru (PE) valor de K para o solo litólico igual a $0,10 t \times ha \times ano \times tm^{-1} \times ha^{-1} \times mm^{-1}$, sendo muito diferente aos valores encontrados no presente trabalho e também naquele apresentado em M.M.A. (1997).

Comparativamente, a maior diferença ocorreu para o grupo cambissolo, que foi registrado valor $0,55 t \times ha \times ano \times tm^{-1} \times ha^{-1} \times mm^{-1}$ em M.M.A. (1997) contra $0,24 t \times ha \times ano \times tm^{-1} \times ha^{-1} \times mm^{-1}$ do presente estudo. Para o solo concrecionário, em M.M.A. (1997) encontrou-se valor $0,12 t \times ha \times ano \times tm^{-1} \times ha^{-1} \times mm^{-1}$, sendo semelhante ao valor

encontrado no presente estudo ($0,10 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$). Para o solo hidromórfico os valores foram os mesmos nos dois trabalhos ($0,08 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$).

Ainda em M.M.A. (1997), cita-se que para o grupo latossolo vermelho escuro (textura não divulgada) o valor foi $0,16 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$, desta vez sendo inferior ao do presente estudo ($0,25 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$ para ambas as texturas). ANGULO *et al* (1984) apresentaram valor de erodibilidade para o grupo latossolo vermelho escuro textura média (município de Paranaíba - PR) igual a $0,44 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$, muito superior ao do presente trabalho. Apresentaram também valor de K igual a $0,22 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$ para o mesmo grupo de solo porém com textura argilosa, este sendo próximo ao valor do presente trabalho. Também no sul do país (Ponta Grossa - PR), BISCAIA *et al* (1981) encontraram valor de K igual a $0,23 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$ para latossolo vermelho escuro - textura argilosa.

Comparando a erodibilidade dos solos paulistas e tocantinenses, tem-se que para o estado de São Paulo BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) encontraram valores de K para os latossolos que variou entre $0,22 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$ e $0,11 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$. Para a área de estudo, enquadrando-se nesta faixa encontra-se apenas o latossolo de textura média ($0,20 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$), sendo que os demais latossolos apresentaram valores superiores ($0,25 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$).

Finalmente, na região de Ibiapaba (CE), TÁVORA *et al* (1985) encontraram valor de K igual a $0,28 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$ para latossolo vermelho amarelo - textura areia franca. Embora a textura mostrou-se diferente em relação aos latossolos vermelho - amarelos do presente trabalho, o valor do trabalho de TÁVORA *et al* (1985) foi próximo ao de textura argilosa ($0,25 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$) e pouco mais distante ao de textura média ($0,20 \text{ t x ha x ano x tm}^{-1} \text{ x ha}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$) em relação ao obtido no presente trabalho.

A fim de promover discussão sobre o método de estimativa utilizado no presente estudo, menciona-se que SILVA *et al* (1986) fazem comentário sobre o risco de utilização de métodos indiretos de estimativa de determinação da erodibilidade, principalmente em casos de solos com certo teor de cascalho e/ou calhaus, tais como os litólicos, mencionando a ocorrência dos fragmentos rochosos que estão presentes no solo desde a superfície, os quais não são computados na determinação da textura. Contudo, há uma efetiva participação deste grupo de partículas na resistência aos processos erosivos, como por exemplo: o aumento da rugosidade do terreno mesmo com a superfície estando desprovida de vegetação. Os autores citam ainda que, nestes casos, há o risco de haver uma superestimativa do valor do fator K nestes tipos de solo, apesar de serem solos rasos e com baixa velocidade de infiltração d'água. Para o caso

do presente estudo foi detectado, em algumas visitas a campo, presença de fragmentos rochosos no solo litólico (em todo o perfil), cambissolo (proporções variáveis conforme a profundidade) e hidromórfico (seixos trabalhados em zona sob influência do rio Tocantins), além das concreções detectadas no solo concrecionário.

A alta variabilidade observada nos valores do fator K encontrado para um mesmo grupo de solo dentro das referências citadas e comparadas com o presente estudo, ocorre em função da variação do grau de participação de cada fator intrínseco na natureza do solo (textura, teor de matéria orgânica, estabilidade de agregados, permeabilidade, são os principais). Estes fatores, quando atuando juntos, resultam num solo com propriedades peculiares para cada região. Também, estes fatores variam em função do relevo, material de origem, clima, vegetação ocorrente bem como do manejo a ele imposto.

Observa-se que os diferentes métodos utilizados na determinação da erodibilidade resultam em diferentes valores finais, afirmação também enfatizada por BISCAIA *et al* (1981), principalmente comparando-se valores obtidos entre os métodos indiretos com o método direto de determinação proposto por WISCHMEIER & SMITH (1978).

Dentro deste contexto, conclui-se que, apesar da possibilidade de uso de métodos indiretos de estimativa da erodibilidade do solo, especialmente em locais ainda sem nenhuma estimativa anterior, como é o caso do presente estudo, é necessário que haja também a execução de experimentos em parcelas padronizadas, especialmente sob condições de chuva natural, a fim de obter-se, a longo prazo, valores mais precisos e talvez definitivos do fator K para cada tipo de solo ocorrente na área de estudo.

8.5 – Aspectos sociais, econômicos e culturais ligados ao uso e ocupação da área de estudo. Cobertura do solo – “fator C” e práticas conservacionistas – “fator P”:

Na discussão sobre estes fatores, procurou-se tecer alguns comentários e observações que pudessem explicar a causa do processo de alteração e/ou degradação da cobertura do solo, visto que o agente fator deste processo é o ser humano e visto também que muitas vezes este processo está intimamente ligado a aspectos econômicos, sociais e culturais da região e de sua população, conforme previamente fundamentado no item 4.4.

O texto discorrido busca explicar algumas das causas que estão implicitamente embutidas no mapa de “cobertura do solo” e de “uso e ocupação do solo” e também responder alguns “por quês?” de alguns indicadores, tais como: da alta porcentagem de área com queimada, da não

adoção de práticas conservacionistas, entre outros que são citados e comentados.

Os mapas de uso e ocupação e de cobertura do solo citados no capítulo anterior, usados para determinação do fator C da EUPS, mostram que a situação da ocupação antrópica na bacia e a conseqüente exposição do meio aos impactos é devido ao rápido crescimento populacional da cidade e que os processos de assentamento e uso do solo nem sempre vem acontecendo de forma aceitável dentro de padrões de sustentabilidade ambiental.

Embora não foi ainda realizada uma análise temporal do processo de alteração da cobertura do solo da área de estudo desde a fundação do município, estes mapas sugerem que esteja ocorrendo a diminuição de algumas classes de cobertura e o aumento expressivo de outras e ainda o surgimento de outras as quais não havia antes, tais como pavimentação e edificações.

A classe mata, composta por vegetação de encosta, mata ciliar e cerrado fechado (cerradão) mostrou-se de ocorrência mais larga na região alta da bacia (sub-bacia AF1, principalmente). Nas demais sub-bacias, há predominância desta classe de cobertura do solo apenas nas regiões próximas aos cursos d'água, ocorrendo poucas manchas esparsas em alguns locais fora desta região. Comparativamente, GARCIA & ZAINÉ (1996) encontraram, na bacia hidrográfica do Rio Passa-Cinco (Rio Claro - SP), um padrão similar de distribuição desta classe de cobertura vegetal, observando um alto grau de degradação da mata ciliar e verificando que esta classe ocupava apenas 10,5% da área total (52.450 ha), indicando avançado estágio de degradação ambiental. Neste contexto, frisa-se então o perigo de que este tipo de padrão passe a ser comum na região amazônica e circunvizinha, tornando os estudos e as medidas corretivas urgentes.

Verifica-se pelas informações obtidas pelo documento do projeto RADAMBRASIL (1981), que a classe "mata" era a classe de cobertura do solo que tinha maior ocorrência na área de estudo antes da fundação do município, fato verificado também através de consultas em fotografias de satélite de anos anteriores (fotografia de 23 de maio de 1989, por exemplo, época do início da construção da capital). Após esta época, esta classe vem rapidamente perdendo área para classes de cobertura menos efetiva no sentido de proteção do solo.

A classe água, que ocupou 0,163% da área total, é um tipo de cobertura do solo onde, evidentemente, não há perda de solo pois a água da chuva atingirá a lâmina d'água e não o leito da represa. Entretanto, notou-se, em visitas realizadas a campo, que o entorno das represas ocorrentes na área de estudo (faixa de 5m aproximadamente) geralmente era desprovido de vegetação ciliar e, na melhor das hipóteses, possuía uma cobertura de grama. Sendo assim, esta situação faz com que haja remoção de quantidades apreciáveis de solo do entorno para o fundo da represa,

acelerando ainda mais o processo de assoreamento. O transporte de grandes quantidades de sedimento dos taludes para o fundo das represas ocorre porque 1) geralmente estes taludes possuem declividades superior a 10%, o que favorece tanto a remoção quanto o transporte e 2) proximidade entre o ponto de destaque da partícula de solo e o ponto de sua decantação (geralmente não dá tempo de ocorrer a sedimentação da partícula antes de chegar até a água e, portanto, praticamente todo de solo que é removido chega até as águas da represa).

Em decorrência destes fatos discorridos e, somando-se ainda o fato de haver uma barragem na represa do Parque Cesamar, verifica-se que há o bloqueio e conseqüentemente o acúmulo daquele sedimento removido e transportado desde a montante da bacia. Com isso é esperado que ocorra, como já mencionado acima, o assoreamento acelerado deste canal de drenagem.

Para o caso da represa localizada no córrego Brejo Comprido (represa pertencente ao parque Cesamar), sabe-se que houve um investimento expressivo de recursos por parte da prefeitura no sentido da rápida implantação desta área verde (a qual ainda não está totalmente concluída mas já está em funcionamento desde 1997), sendo a represa a principal atração do local. Uma vez a represa sendo extinta pelo processo de assoreamento, este empreendimento provavelmente deixará de ser atração recreativa para a população e será então mais uma obra comprometida pela falta de monitoramento ambiental e aplicação de ações preventivas na área de abrangência (bacia a montante da barragem). Este processo poderá ser evitado somente se forem adotadas medidas de recuperação do impacto como promover a dragagem da represa, o que seria algo extremamente oneroso aos cofres públicos.

O parque Cesamar, juntamente com sua represa, está localizado na sub-bacia BC2 e a montante está a sub-bacia BC1, onde aparecem manchas de áreas com uma expectativa de altas taxas de perdas de solo. Também, pouco acima do parque, no cruzamento entre a rodovia TO-050 e o córrego Brejo Comprido, ocorrem erosões lineares (voçorocas) em estágio já avançado (vales em forma de "U"), indicando que já foram e ainda estão sendo removidas grandes quantidades de terra, as quais por sua vez caem no canal do rio e parte é transportada até a represa, havendo então mais este agravante que possivelmente encurtará a vida útil da represa do parque, fato verificado através de visitas realizadas a campo durante o período de estudo.

Portanto, o que se observa no presente trabalho, é a intervenção na bacia sem o conhecimento da dinâmica da mesma. Os resultados aqui apresentados podem (e devem, porque não dizer) ser utilizados para balizar futuras tomadas de decisão.

A classe edificações apresentou-se ocorrendo em 0,338% da área total, em função das considerações feitas sobre a classificação da imagem de satélite no capítulo Metodologia.

Andando pela cidade durante o período de estudo, verificou-se que o processo de construção civil na região está acontecendo de forma aleatória, isto é, notou-se que não há um ritmo de construção nitidamente mais intensa na região central da cidade e menos intensa na periferia, mas sim um ritmo de construção com uma intensidade variável no tempo e no espaço.

Sob o ponto de vista sócio-econômico observa-se que a cidade conta ainda com poucas indústrias, sendo a construção civil talvez a indústria que mais emprega trabalhadores no momento. No geral, o serviço público, mais expressivamente a máquina do estado, é o principal empregador local e o setor terciário é, dentro da esfera privada, expressivo dominador em termos de geração de receita e empregos no local, sendo o comércio de pequeno porte (pequenas lojas), a maior fatia do setor.

Também, com uma população que, na sua maioria, é carente de qualificação profissional, leva muitos a cair no estilo informal de garantir o sustento, como trabalhar como ambulantes ou mesmo atividades como capinar quintais, limpeza de residências, lavar/passar/costurar roupas, trabalhos informais na construção civil, "moto-taxi", entre outras.

Verificava-se que o poder público (governos estadual e municipal), em certos momentos, manifestava-se no sentido de tentar promover geração de empregos e fornecer subsídios para melhoria da qualidade de vida aos moradores locais. Porém, dada a contínua falta de recursos, a injeção normalmente ineficiente destes recursos e ainda, a existência de corrupção na máquina governamental, este pouco tem feito em termos efetivos neste sentido.

Palmas foi criada, segundo ouve-se de seus fundadores, com o objetivo de alavancar o processo de desenvolvimento da região do antigo norte goiano (hoje estado do Tocantins). O motivo da escolha do local onde hoje é a cidade, não aparece muito claro nos materiais de divulgação da região que são confeccionados. Talvez o motivo tenha sido o seu relevo e sua localização geográfica (aproximadamente o centro geográfico do estado).

BEASLEY (1972) e WISCHMEIER & SMITH (1978) mencionam que uma construção civil requer que toda a área onde será feita a obra e mais seu entorno estejam limpos durante a construção, geralmente deixando o solo totalmente desprovido de cobertura durante todo o período da construção, sendo assim o valor do fator C seria igual a 1,0. Dentro deste contexto, no caso da área de estudo, inserem-se principalmente as construções realizadas pelo estado, as quais geralmente são de médio a grande porte e demoram meses ou até anos para serem concluídas.

Verifica-se então, olhando a área de estudo numa escala maior que a escala da fotografia do satélite, que o perfil sócio - econômico do município de Palmas e de sua população são fatores que regem o ritmo e o modo com que a cidade vem sendo construída e, em certas ocasiões, fornecem alguns indicadores das possíveis causas que originam os impactos ambientais que estão ocorrendo (alguns ainda não foram tecnicamente comprovados, como a alteração da qualidade da água dos canais de drenagem da área de estudo sob o aspecto químico, por exemplo) e daqueles que poderão vir a surgir em função deste modo de desenvolvimento (degradação da qualidade do ar por excesso de veículos automotores, por exemplo).

A classe pavimentação põe em evidência somente aquelas regiões que estão cobertas por asfalto e ocorreu em 1,072% da área total, sendo o maior valor relativo observado na sub-bacia S2 (6,681%). É uma classe que claramente vem aumentando a cada dia, dada a alta taxa de asfaltamento das ruas e avenidas que a prefeitura vem realizando, principalmente na região central da cidade.

Salienta-se o fato de que no local onde há o asfalto não ocorre erosão, pois há um perfeito recobrimento da superfície do solo, não permitindo assim a ação erosiva das gotas de água de chuva. Entretanto, ao mesmo tempo que não ocorre erosão no local, a infiltração de água é zero, favorecendo ao máximo o escoamento superficial e, em função de também possuir baixa rugosidade, favorece também a formação de enxurradas nas rampas declivosas. E, por outro lado, há o fato de geralmente haver uma faixa de alguns metros de largura em cada lado das ruas e esta faixa geralmente possui como cobertura campo ralo ou mesmo solo exposto.

Na área de estudo, em função do já citado alto ritmo de asfaltamento de ruas, julgou-se oportuno mencionar a observação feita por WISCHMEIER & SMITH (1978), os quais comentam que na época de pavimentação de uma rua, além da limpeza do terreno, há também a remoção da camada superficial do perfil do solo (primeiros 20 a 30 cm, geralmente), o que contribui ainda mais para o aumento da taxa de perdas de solo, uma vez que, em situações normais, o solo, quando limpo, apesar de muitas vezes ficar com sua superfície totalmente desprotegida, ainda possui certo grau de resistência à erosão devido às características físicas e químicas da camada superficial, principalmente o seu maior teor de matéria orgânica, a qual confere maior estabilidade das partículas de solo (PRIMAVESI, 1987). Quando é removido esta camada, está perdida toda e qualquer proteção que antes poderia contribuir na redução do processo erosivo, pois coloca em exposição a camada sub-superficial do solo, a qual geralmente é mais suscetível ao processo erosivo. Tal situação foi vista em várias ocasiões pela área de estudo, onde verificou-se que, em alguns casos, a camada removida chegava a 40 cm.

Em termos de manutenção das estradas, já foi mencionado o grave problema citado por RODRIGUES (1995) que é o costume de preocupar-se com a manutenção somente do corpo da estrada, julgando-se muitas vezes não necessária a manutenção da superfície do solo paralelo próximo a estrada, sendo que muitas vezes a erosão já se encontra nestas localidades e em estágios avançados. Apesar dos impactos causados por este tipo de cobertura, logicamente é mais sensato promover o asfaltamento das ruas do que deixá-las eternamente desprotegidas e ganhando inúmeros buracos, o que, além de favorecer o processo erosivo, também reduziria a vida útil dos veículos, demandaria maior tempo em viagens e ainda sempre contribui no levantamento de poeira, que em Palmas é bem grave na época da estiagem. Apenas caberia investir-se algo mais na manutenção dos acostamentos e entornos das estradas asfaltadas a fim de minimizar os impactos e zelar pela manutenção delas próprias.

A classe gramado urbano, com fator C igual a 0,05, apresentou-se ocupando 0,577% da área total. Trata-se de uma classe que notadamente vem aumentando sua ocorrência dentro do plano diretor, conforme procede o avanço do asfaltamento das ruas.

Diferentemente dos outros tipos de vegetação, a grama urbana conserva-se verde por todo o ano graças ao serviço de operadores de caminhões-pipa que regam os canteiros em época de ausência de chuva e, sendo assim, quando as chuvas retornam, os canteiros geralmente estão com a superfície ainda coberta e protegida.

Dentre as classes de cobertura do solo na qual está inserido algum tipo de intervenção antrópica, esta classe é, provavelmente, a classe que representa menores riscos de erosão. Inicialmente pelo fato desta classe ocorrer, na grande maioria dos casos, em locais de pouca ou muito pouca declividade. Também verificou-se que a grama, após algumas semanas da data do seu plantio, forma um emaranhado de raízes sobre a superfície do solo, o que sugere que haja algum reforço adicional de proteção contra o impacto das gotas de chuva e desagregação das partículas de solo.

A classe solo exposto, pelo valor do fator C que lhe é atribuído (1,0) e também por mostrar a total exposição da superfície do solo à ação erosiva da chuva, pressupõe que nestas áreas a taxa de erosão ocorrente é exatamente aquela prevista no cálculo do potencial natural de erosão (PNE) da região, ou seja, máxima. A classe ocorre em 1,174% de toda a área, sendo sua maior ocorrência relativa na sub-bacia AF3 (3,807%). Conforme a área de ocorrência desta classe, surge então a questão, ora difícil de responder: Qual o motivo do solo estar totalmente nu?

Buscando responder esta questão, menciona-se que, para o caso da sub-bacia AF3, foi verificado, em visitas realizadas a campo, que nas áreas de solo exposto havia a possibilidade da área estar sendo explorada para plantio de culturas de pequeno porte (melancia e

horticultura, esta última sendo para consumo próprio) e, não raramente, tratava-se de áreas que tinham sido limpas pelo processo da queimada. Também nesta sub-bacia observou-se, em alguns pontos, a extração de areia e de seixos para utilização na construção civil, promovendo a limpeza de grande área em volta ao ponto da extração do(s) produto(s), além do uso de pesadas máquinas: tratores para escavação e caminhões para transporte.

Na região do plano diretor de Palmas ocorreu várias manchas da classe “solo exposto” e em diferentes tamanhos, muitas vezes confundida com a classe “campo ralo”. Nesta região, constatou-se que geralmente ocorria solo exposto imediatamente ao lado das principais ruas e avenidas, cujos locais geralmente têm como destino serem usados como estacionamento, mas ainda não havia sido realizada a pavimentação. Este quadro era verificado também nas rodovias que cortam a cidade.

Também fazendo parte da classe “solo exposto”, as ruas sem asfalto (“ruas de chão”, é como são conhecidas na região) apareceram em proporção variável conforme a região da bacia hidrográfica. Notou-se também uma intensidade de uso variável da estrada conforme o local e a época do ano. Contudo, geralmente eram ruas carentes de obras de conservação e, nas visitas a campo, freqüentemente verificava-se a ocorrência de erosões lineares no local onde seria a “sarjeta” (escoamento das águas pluviais), especialmente nas regiões mais íngremes. Como previsão de impacto, volta-se a citar o trabalho de ANDERSON & MACDONALD (1998) que chamam a atenção de que ruas não asfaltadas são as principais fontes de sedimento em alguns locais nos EUA. Tal fato pode ser verídico também em muitos locais da área de estudo, conforme maior ou menor proximidade da estrada com os corpos d’água.

Na região da Área de Proteção Ambiental (APA) verificou-se que a classe solo exposto ocorreu em 0,974% da área e a classe queimada ocorreu em 6,178%, pondo em evidência o fato de haver uso indevido do solo na região onde deveria haver mais critérios de uso da área. Entretanto, a classe solo exposto parece ser, na maioria dos casos, uma classe temporária pois, se se tratar de uma área onde está havendo a construção, ela um dia será concluída, ou ainda, se se tratar de um local onde sofreu queimada, a vegetação com o tempo irá recobrir o solo. Sendo assim parece serem poucos os casos onde prevê-se que o solo ficará descoberto por longo prazo (vários anos ou mais).

Para a classe campo limpo, embora muitas vezes este tipo de cobertura ocorre de forma natural, em alguns casos poderia trata-se de locais onde a vegetação estaria reabilitando-se do processo de queimada que sofreu tempos atrás. Isto foi verificado através de visualização de alguma vegetação de maior porte que sobrevivera ao processo, mas que ainda apresentava o tronco escurecido, evidenciando tal ocorrência. Sendo assim, trata-se do mesmo caso já comentado em linhas atrás sobre a troca da vegetação natural por outro tipo de cobertura do solo que vem ocorrendo

na área de estudo. Muitas vezes, a vegetação que enquadrava-se na classe mata, com eficiente proteção do solo (valor do fator C igual a 0,001), foi substituída por uma vegetação que pode permitir maior ação erosiva das gotas de água de chuva (fator C igual a 0,01).

A classe campo limpo foi a classe de mais larga ocorrência dentre todas (25,951% da área total), sendo que na sub-bacia AF3 ela ocorreu em 36,335% da área e foi nesta sub-bacia o único local onde era visto algumas cabeças de gado alimentando-se desta vegetação, em algumas ocasiões. Dentro da APA esta classe ocupou 25,390%. Ainda que não exista informações numéricas exatas, provavelmente esta classe tenha ganho dimensões de ocorrência após a inicialização do processo de ocupação da área, dado o intenso processo de ocupação do solo que vem ocorrendo.

A classe campo sujo foi a classe de segundo maior grau de ocorrência na área estudo (23,490% da área total) e a sub-bacia BC1 foi a que obteve maior índice relativo de ocorrência (29,320%). O mesmo comentário feito para a classe campo limpo vale para a classe campo sujo, ou seja, para alguns locais tratava-se de vegetação natural e para outros tratava-se de uma vegetação que estaria em processo de reabilitação após algum impacto sofrido, geralmente a queimada, sendo esta antrópica ou natural, porém num estágio de reabilitação mais avançado que a vegetação citada na classe anterior.

A classe rocha exposta ocorreu em apenas duas sub-bacias (AF1 e BC1). Como já mencionado, trata-se de um tipo de superfície onde geralmente não há cobertura, salvo em casos onde possa haver colônias de líquens e/ou musgos, sendo que estes organismos podem atuar na conservação da superfície rochosa, atuando como barreira aos impactos das gotas de água de chuva, vento (o qual, na época da estiagem, é muito intenso e freqüente na região) e na amenização da temperatura, reduzindo o grau de dilatação térmica da rocha e retardando o processo de fratura. Por outro lado podem agir como decompositores do substrato, através de ácidos que secretam, os quais têm o poder de corroer a rocha (LEINZ & AMARAL (1989); VIEIRA,(1988)), promovendo o processo de degradação química do material. Outro processo que provavelmente agiria como acelerador do processo decompositor seria a ocorrência de chuvas ácidas, devido aos problemas das queimadas. Contudo a região ainda não dispõe de informações desta natureza, não permitindo assim alguma inferência sobre o assunto.

A classe queimada aparece ocupando 6,645% da área total, com predominância na sub-bacia BC1 (26,571%). Trata-se de uma classe de ocorrência provavelmente temporária, ou seja, haveria o rebrotamento da vegetação após a ocorrência da queimada e, principalmente após as primeiras chuvas, esta voltaria a fornecer certo grau de cobertura à superfície do solo, daí a atribuição do valor do fator C igual a 0,1 para esta classe. Contudo, o fenômeno ocorre todo ano na época da seca e em

intensidade cada vez maior, havendo, portanto, cada vez menos tempo para que ocorra a recomposição (ACIESP, 1987) da vegetação impactada pelo fogo.

Conforme a afirmação feita por INBAR *et al* (1998) e já apresentada, espera-se que, para o caso da área de estudo, as áreas que tenham sofrido a queimada há algum tempo atrás sejam fontes de produção de sedimento em maior grau do que áreas que nunca sofreram tal processo.

A velocidade com que vem acontecendo as queimadas na região é surpreendente. Frequentemente são noticiados pela mídia casos de focos de queimadas, principalmente na Serra do Lajeado. Como indicador do processo na região de estudo, cita-se o trabalho feito por SANTANA (1997), o qual realizou uma análise multitemporal da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Ribeirão São João, localizada próxima a área de estudo. O autor verificou que a classe mata nativa (composta por cerradão, mata ciliar e mata de encostas) ocupava cerca de 48,43% da bacia em 1989 e em 1996 o valor mudou para 21,54%. Já a classe queimada não ocorreu nas fotografias de satélite de 1989 e 1995 mas apareceu ocupando 22,20% da bacia em 1996.

Tentando dar uma explicação desta atitude de queimar, talvez de cunho cultural entre os praticantes, PRIMAVESI (1987) menciona em sua obra que todos os fazendeiros goianos sabem que o cerradão, por onde o fogo passa anualmente, se transforma em "tabocal". Onde cresce taboca a terra é mais produtiva, por ser melhor enraizada e bem grumosa, graças ao sistema radicular desta *Bambusa*. O pasto instalado produz bem nos primeiros anos. Por outro lado, onde perdura o uso do fogo, perde-se a produtividade das pastagens. A vegetação herbácea torna-se muito rala, aparecendo "invasoras" lenhosas, muitas vezes espinhosas e desaparecendo as forrageiras implantadas. Forma-se então o "campo sujo", sendo o termo campo sujo visto por PRIMAVESI (1987) como cobertura distinta daquela considerada no presente trabalho.

Na área de estudo, a classe campo ralo foi, provavelmente, a classe que mais refletiu o grau de ocupação antrópica. Ocorreu em 18,119% da área total, não sendo muito expressivo dentro da área total, mas ocorreu em média a larga escala nas sub-bacias que são ocupadas pelo plano diretor: AF2: 22,182%; S1: 27,868%; S2: 49,549%; BC2: 44,186% e BC3: 37,353%. A sub-bacia AF3, que possui pouca ocorrência na área do plano diretor, apresentou-se ocupada em 20,559% por esta classe e as sub-bacias AF1 e BC1, as quais localizam-se fora da área abrangida pelo plano diretor (AF1 fica 100% inserida na APA), apresentaram ocorrência, respectivamente, de 1,485% e 16,420% da classe campo ralo.

Como já mencionado anteriormente, o campo ralo é um tipo de cobertura que pode variar bastante o grau de proteção ao solo num mesmo local ao longo do ano. Não se descarta a possibilidade dos números aqui apresentados virem a ser diferentes caso seja feito o mesmo tipo de

estudo mas utilizando-se uma fotografia cuja data de passagem do satélite seja na época das chuvas, o que provavelmente mostraria uma vegetação com maior vigor.

É ainda oportuno mencionar que esta classe de vegetação (campo ralo) pode também indicar algum estágio já avançado de degradação na área de estudo, dadas as sucessivas queimadas que vem ocorrendo no local e cujas conseqüências são descritas no parágrafo transcrito de PRIMAVESI (1987) na página anterior. Também, mesmo que haja uma rebrota da vegetação nestes locais, o principal problema está mirado nas primeiras chuvas após o encerramento da estiagem, o que fará com que haja carreamento de grandes quantidades de sedimentos aos canais de drenagem da bacia.

Assim como já foi discutido o problema da escala na obtenção dos parâmetros topográficos da EUPS no software de geoprocessamento, menciona-se que tal problema foi encontrado também na obtenção dos fatores K (erodibilidade do solo) e C (cobertura do solo).

Para o fator K, o problema foi a fonte cartográfica (carta de solos do município de Palmas), elaborada em 1998 pelo Dr. Guido Ranzani, a qual resultou num material ainda com escala considerada exploratória (1:100.000), necessitando de revisões futuras sobre a atribuição dos valores do fator K conforme forem gerados mapas de escalas mais detalhadas e com possibilidade de haver novos tipos de solo ou mesmo tipo com variações distintas na área de estudo. Apesar deste problema, considerou-se um grande avanço o surgimento desta carta de solos pois até então, existiam somente os mapas do projeto RADAMBRASIL (1981), os quais são confeccionados numa escala inviável para a realização de trabalhos como o presente estudo.

Para o fator C, o problema maior foi a inexistência de produtos de um recobrimento aerofotogramétrico da região (fotografias aéreas em escala de 1:25.000 ou maiores), o que deixou como única opção o trabalho com imagens de satélite e, sendo estas imagens elaboradas em escala de 1:100.000, não permitiu precisão absoluta na classificação, necessitando assim de visitas a campo para eliminação das dúvidas mais grosseiras. Mesmo atualmente havendo a opção de imagens digitais em "compact disk" (CD), tal produto já permite facilidades de manipulação em computadores, porém ainda não permite análises e classificações detalhadas.

Através da pesquisa feita para verificar se ocorria a adoção ou não de práticas conservacionistas na área de estudo para posteriormente contabilizar o fator P da EUPS, verificou-se que não há nenhum esforço por parte dos ocupantes e usuários no sentido de promover a conservação do solo e da água da bacia, independentemente do tamanho da área da propriedade rural, embora a taxa de uso do solo para fins agrícolas na área de estudo não ocorria em larga escala.

Além de não promover a adoção de práticas conservacionistas, verificou-se na área práticas rudimentares de manejo, tais como a queimada, sem praticamente nenhuma tecnologia adotada, esta última pelo fato dos ocupantes da área geralmente não possuírem acesso ao conhecimento técnico, bem como pela falta de recursos para a aquisição de implementos agrícolas adequados e modernos.

Buscando elucidar algumas das “raízes” culturais da população regional no sentido de tentar explicar a não utilização de práticas conservacionistas, menciona-se o fato do governo do estado freqüentemente promovia campanhas de doação de máquinas agrícolas (tratores e demais implementos como arados e grades de disco) para produtores por todo o estado. Porém nunca mencionara nada sobre dar orientação de uso e/ou prestação de assistência técnica que pudessem vir a auxiliar os produtores rurais e assim contribuir com o aproveitamento mais otimizado e racional dos solos da região.

Uma das causas de cunho social que refletia no modo de ocupação do solo não só da área de estudo mas de toda a capital, é o fato de que vinha ocorrendo uma maciça campanha publicitária promovida pelo governo do estado em escala nacional e em função disso vinha ocorrendo um grande fluxo migratório para a região. BEASLEY (1972) menciona a teoria de que à expansão de uma população há também a expansão da demanda por novas casas, centros comerciais, estradas, sistemas de abastecimentos de água e tratamentos de esgotos, áreas de recreação, entre outros, promovendo uma forte pressão sobre o ambiente. Tal fato ocorria durante o período de estudo em Palmas.

Em alguns pontos, além de não promover a prática da conservação do solo, havia exploração peculiar do solo que era a retirada clandestina de “terra preta”, nome popular dado ao solo superficial de regiões próximas aos rios, a qual poderia trazer riscos de desencadeamento de processos erosivos, como efetivamente já ocorria nos entornos do parque Cesamar. A retirada geralmente era feita por pessoas que trabalhavam na ramo de jardinagem/paisagismo e que retiravam este tipo de solo para uso como adubo em locais onde seriam implantados jardins. No entanto, verificava-se o uso deste produto tanto em locais públicos como em particulares, apesar de ser proibido a sua retirada.

Um outro aspecto social que estava evidentemente influenciando na questão ambiental da área de estudo era o fato de que a maior parte da população migrante ainda não possuía emprego, aliás esta era atraída pela possibilidade de arrumar um e, além de normalmente não possuir qualificações profissionais, também não dispunham de elevada reserva financeira. Uma vez ocorrendo a demora de arrumar um emprego, a baixa reserva financeira esgotava-se e a pessoa (não raramente a família inteira) via-se obrigado a transferir-se para regiões periféricas da cidade, ocorrendo problemas de moradia, saneamento, privação de acesso à

educação, violência, entre outros males. É uma classe que contribui em nada ou em muito pouco em questões tributárias à órgãos como prefeitura (pagamento de IPTU, por exemplo), porém sempre carecem de ajuda destes órgãos.

Ainda que, segundo M.M.A. (1997), o fator P da EUPS só é aplicado em áreas cuja cobertura sejam cultivos, sendo considerado um ponderador do fator C em situações especiais de uso e manejo, na área urbana também não ocorria nenhum tipo de adoção de técnica de prevenção/combate à erosão. Talvez a única prática de conservação dos recursos hídricos prevista no plano diretor de Palmas seja a preservação das faixas de mata ciliar, ainda que na prática, em alguns trechos dos rios as matas já encontravam-se em certo estágio de degradação.

Verificou-se que alguns trechos de mata ciliar dentro da área do plano diretor estavam sendo degradados principalmente pelo motivo da construção de passagens (atalhos para quem circula a pé ou com bicicleta). Também, na área rural, algumas áreas próximas aos canais eram procuradas em função dos produtores encontrar solo mais úmido e fértil, além de ser mais fácil seu manejo, principalmente por possuírem pouca ou nenhuma pedregosidade.

Dentro do exposto conclui-se que o processo de degradação ambiental na área de estudo vem seguindo o rápido processo de ocupação da área de estudo. A falta de informação e, muitas vezes, a ânsia de estabilidade de vida são fatores antrópicos que explicam, em parte, tanto a situação da cobertura do solo da área de estudo como o próprio estado de degradação que existia na área no período de estudo.

8.6 – Potencial natural de erosão e expectativa de perdas de solo:

O mapa de Potencial Natural de Erosão (FIGURA 7.5), elaborado pela primeira vez para a área de estudo, já é um primeiro parâmetro de estudo que necessita da integração de alguns dos fatores já discutidos anteriormente e de forma separada. Mostrou as taxas de perdas de solo dentro de condições onde não considera-se nenhuma cobertura vegetal e nenhuma prática conservacionista, contemplando os fatores: topografia, solo e clima. A TABELA 8.5 mostra as faixas de valores e classes interpretativas.

TABELA 8.5 – Valores de perdas de solo para interpretação do parâmetro “potencial natural de erosão”:

Intervalo (t/ha x ano)	Classe interpretativa
< 400	Fraco
400 – 800	Moderado
800 – 1600	Moderado a forte
> 1600	Forte

FONTE: VALÉRIO FILHO (1994).

Assim como já ressaltado no capítulo anterior, verifica-se que as linhas divisórias de classes do mapa de potencial natural de erosão segue com certa semelhança as linhas divisórias de classes do mapa de relevo.

Seus valores são expressivamente aumentados após o momento que considera-se o fator R (erosividade), evidenciando a periculosidade que a chuva da região possui no sentido de promover e potencializar o processo erosivo. Verifica-se que 73,562% da área total possui um potencial de perdas de solo considerado baixo. As demais classes somam juntas 26,438 % da área.

Segundo VALÉRIO FILHO (1994), a partir das informações obtidas com o mapa de potencial natural de erosão, é possível estipular quais seriam os tipos de cobertura recomendados conforme a classe de periculosidade. Deste modo, por exemplo, para as localidades enquadradas na classe de menor potencial de perdas de solo, uma cobertura cujo fator C seria 0,05, já reduziria as perdas de 400 t/ha x ano para 20 t/ha x ano, isto ainda mantendo-se o fator P igual a 1,0, ou seja, sem adoção de nenhuma prática conservacionista.

Sendo assim, verifica-se neste tipo de produto resultante da integração de informações o aparecimento de áreas onde recomenda-se usos com moderadas restrições, usos com fortes restrições e uso somente como área de preservação, conforme o grau de potencialidade a desencadear o processo erosivo na área.

O mapa de expectativa de perdas de solo (EPS) (FIGURA 7.6), no qual foi integrado também os fatores cobertura do solo e uso e manejo antrópico (fatores C e P da EUPS) além daqueles já contemplados no mapa do PNE, aponta a criticidade do processo erosivo no momento, em função do seu uso e ocupação no qual resulta o padrão de cobertura.

Buscando dar uma breve explicação sobre cada classe interpretativa, menciona-se que as áreas onde ocorrem a classe “nula a pequena” mostram, segundo a tabela de interpretação (TABELA 8.6), que a pressão ambiental de uso está dentro das conformidades do potencial de perdas do solo e é esperada uma taxa anual de erosão dentro dos limites de sustentabilidade, embora esta classificação sirva apenas para indicar impactos ambientais sob o ponto de vista da erosão laminar, não podendo

generalizar o índice, uma vez que pode estar havendo outras formas de impacto ambiental na área, até mesmo no próprio solo, como por exemplo a contaminação por produtos químicos.

TABELA 8.6 – Classes de interpretação para o parâmetro expectativa de taxas de erosão, elaborada a partir daquela apresentada por CARVALHO (N. O., 1994):

Taxa de perdas de solo (t / ha x ano)	Interpretação
< 10	Nula a pequena
10 – 15	Moderada
15 – 50	Média
50 – 120	Média a forte
120 – 200	Forte
> 200	Muito forte

A classe “moderada” indica estar havendo um uso e manejo o qual está acarretando taxa de perda de solo pouco superior a taxa de formação do solo, porém não comprometendo severamente o recurso e isto serve de indicativo de que algo precisa ser feito para reduzir esta perda aos limites sustentáveis (até cerca de 10 t/ha x ano).

As outras classes indicam estar havendo taxas de perdas bem acima do tolerável, indicando formas inadequadas de uso em relação a capacidade uso do solo conforme a área e já estar tendo reflexos em relação a perda de solo.

Verifica-se, assim como no parâmetro anterior, que a classe “muito forte” está associada principalmente ao relevo fortemente movimentado, assim como também foi observado por SILVA (L. P., 1997) na serra dos Parecis (RO). Esta classe está concentrada na região de cabeceira do Córrego Brejo Comprido e alguns de seus afluentes, sendo que também ocorre em alguns trechos da região alta das vertentes de nascentes de alguns afluentes do Ribeirão Água Fria.

Dentro da área abrangida pelo plano diretor, verificou-se a freqüente ocorrência de manchas das classes “média” e “forte”. A ocorrência destas classes está associada, na sua maior parte, a classes do fator C, ou seja, ao modo como que estava sendo utilizado o espaço e o solo durante o período de estudo. Certamente, em boa parte desta área estava uma vegetação de baixo porte (campo ralo, campo limpo e, provavelmente em menor ocorrência, campo sujo), a qual podia ser consequência de queimadas que eram normalmente praticadas, inclusive dentro da área urbana do município, sendo que após a limpeza dos terrenos nem sempre havia a sua ocupação, permanecendo, em muitos casos, o terreno desprotegido e sujeito a ação erosiva da chuva.

Menciona-se o fato de que, pelo comportamento climático da região, principalmente no tocante a sazonalidade das chuvas, na época da seca a maior parte da vegetação sofre com a deficiência hídrica do solo e parte desta acaba sucumbindo, especialmente a vegetação de menor porte (gramíneas, por exemplo). Esta ocorrência acarreta então a diminuição da densidade da vegetação e conseqüentemente redução da cobertura do solo, expondo-o naturalmente à ação erosiva da chuva. Após os primeiros eventos chuvosos, ocorre o rebrotamento desta vegetação, retornando o recobrimento e nova proteção à superfície do solo.

Conclui-se que o mapa de EPS reflete com fidelidade o modo de como vinha sendo ocupada a área de estudo bem como vinha sendo manejado o solo, refletindo maior ou menor periculosidade de erosão e conseqüente perda de solo ao longo da bacia conforme o tipo de solo, a topografia e a época do ano, a qual reflete a sazonalidade da erosividade das chuvas.

8.7 – Parâmetros físicos da água – caracterização e classificação sob o ponto de vista sanitário:

Uma vez mais reforça-se que o objetivo desta análise foi caracterizar as águas dos canais de drenagem da área de estudo sob o ponto de vista físico-hidrossedimentológico. Buscou-se também detectar uma possível alteração na qualidade da água (sob o aspecto físico, posteriormente a classificação das águas) dos corpos d'água que drenam a área de estudo e também buscar saber se a causa desta alteração estava sendo o processo de erosão, ou seja, entrada de sedimentos nos canais.

Ainda, considerando as afirmações de AZEVEDO NETTO (1991) “a água transporta substâncias e organismos, fruto de onde passou” e considerando também os diversos tipos de usos da água dos ribeirões e córregos que se distribuem pela área de estudo: captação de água para irrigação de jardins urbanos, recreação (banho e pesca), captação para abastecimento público, lavagem de roupas, entre outras; julgou-se oportuno percorrer algumas linhas, ora com interpretações e comparações com outras bibliografias, ora com observações adicionais buscando explicar alguns números apresentados e a possível causa do fato ocorrido; envolvendo também o enquadramento das águas dentro do ponto de vista sanitário, uma vez que trata-se da influência direta de um impacto ambiental (a erosão) sobre a vida dos moradores locais e também trata-se de uma das formas mais eficazes de evidenciar as conseqüências deste impacto sobre um recurso natural, mais especificamente a água.

Para o parâmetro turbidez, os resultados apresentados no presente trabalho (médias anuais, sendo a maior 38,985 NTU) mostram que a turbidez das águas foi baixa. Com isto enquadra-se as águas na classe I, conforme tabela de classificação apresentada por MOTA (1995). Contudo,

ressalta-se que em alguns meses algumas sub-bacias apresentaram valores acima deste limite, mais notadamente as sub-bacias do córrego Brejo-comprido (BC1, BC2 e BC3) e AF3, sendo casos pontuais dentro do tempo. Em alguns casos as águas ultrapassaram o valor de 100 NTU, o que impossibilitaria o uso para recreação e irrigação de hortaliças e as águas necessitariam de um tratamento mais refinado para atingir a condição de estarem próprias para abastecimento público. Isto foi inferido a partir da afirmação feita por AZEVEDO NETTO (1991) e referida no sub-ítem 4.6.1.

Tratando-se da possível relação que poderia haver entre o índice de turbidez com a concentração de sólidos na água, confirma-se a menção feita por RILEY (1998) no sub-ítem 4.8.3, onde, para o presente estudo, o índice "r" de correlação entre estas variáveis foi 0,2045 (significativo $\alpha = 10\%$), indicando haver pouca relação entre turbidez e concentração de sedimentos. Sendo assim, endossa-se as recomendações feitas pelo autor sobre o uso de estimativa da concentração de sedimentos por outros métodos que não sejam a turbidez.

Para o parâmetro sólidos dissolvidos, as águas da área de estudo sempre apresentaram valores baixos, com a média anual não ultrapassando o valor de 7,0 mg/l e, isoladamente, foi verificado valor máximo de 13,0 mg/l. Estes valores apontam a classificação das águas sempre na classe I (MOTA, 1995), onde o limite máximo é 500 mg/l.

Segundo a teoria apresentada por CHRISTOFOLETTI (1981) e já exposta anteriormente, haveria uma correlação inversa (negativa) entre vazão e concentração de sólidos dissolvidos. No entanto, foi verificado correlação positiva ($r = 0,223$, significativo $\alpha = 5\%$). Isto pode ser caracterizado como alteração do regime hidrossedimentológico natural dos cursos d'água da área de estudo em função do uso do solo e da água.

Ainda que os valores dos sólidos dissolvidos sempre foram baixos, verificou-se, em alguns casos, um decaimento de 50% entre os valores da estação seca em relação a estação chuvosa, isto é, os valores da estação da estiagem ficaram com cerca da metade em relação aos valores da estação chuvosa, especialmente na estação chuvosa ocorrida entre o final de 1998 e início de 1999. Isto sugere que pode haver uma participação maior no processo de diluição de substâncias por parte da água do escoamento superficial e que há pouca contribuição subterrânea.

Mencionou-se também que, segundo CHRISTOFOLETTI (1981), a composição química das águas fluviais varia conforme a litologia, vegetação e utilização da bacia hidrográfica. Em termos quantitativos, dentro do contexto do sólido dissolvido *total*, não foi verificado diferenças expressivas entre as sub-bacias. A diferença maior foi notada entre os valores médios anuais da sub-bacia AF1 e da sub-bacia AF2, na qual na primeira ocorre, na maioria da área, o embasamento geológico Complexo Goiano e a segunda possui embasamento exclusivamente sedimentar mas

recebe as águas vindas da sub-bacia AF1. Também, são as duas sub-bacias cujos canais secaram na época da estiagem e cujos valores de sólidos dissolvidos ficaram relativamente altos em relação as outras sub-bacias quando as chuvas retornaram. Talvez uma análise química detalhada de vários elementos químicos (sílica, cálcio, nitrogênio, ferro, potássio, entre outros julgados importantes) apontaria alguma diferenciação maior e mais clara entre as águas de cada sub-bacia.

Sobre a variação da proporção existente entre sólidos dissolvidos e sólidos particulados apontada por CHRISTOFOLETTI (1981), na qual o autor afirma que há a predominância da fração particulada sobre a dissolvida ocorrente nos rios brasileiros, verifica-se concordância desta afirmação em relação ao presente estudo, pois julgou-se que na bacia do ribeirão Água Fria foi pequena a contribuição de sólidos dissolvidos com relação aos sólidos totais (cerca de 2%).

Embora a participação da fração dissolvida ocorreu de forma bastante discreta, chama-se a atenção da importância que esta pode vir a ter sob o ponto de vista sanitário, principalmente quanto ao aspecto de transporte de pesticidas pelas águas e/ou pelos sedimentos do escoamento superficial e que depois seriam liberados nas águas, já colocado por AZEVEDO NETTO (1991). Ainda neste contexto, menciona-se que BARROS (1997) detectou que em Palmas estava sendo comercializado, sem nenhuma espécie de controle, cerca de dezesseis tipos de produtos fitossanitários, entre eles dois tipos de inseticidas considerados extremamente tóxicos, dois altamente tóxicos, um herbicida extremamente tóxico e um herbicida altamente tóxico. Pesquisas desenvolvidas nos EUA mostraram que somente 0,1% do total de agrotóxicos lançados atingem a praga para a qual foi utilizado (YOUNOS & WEIGHANN, 1988 *in* TUCCI, 1997). Talvez estas informações possam enfatizar o alarme no sentido de prever prováveis conseqüências de contaminação ambiental e/ou humana em função do uso d'água contaminada por agrotóxicos agregados aos sedimentos ou em solução na água.

Os valores obtidos na análise do parâmetro sólidos sedimentáveis caracterizaram-se como sendo baixos, sendo que as médias anuais ficaram entre 0,011 e 0,041 ml/l e o maior valor registrado foi 0,170 ml/l. Comparando os resultados do presente estudo com outros trabalhos, menciona-se que nas bacias do rio Moji-Guaçu, rio Ribeira e rio do Peixe, GANDOLFI (1971) encontrou, respectivamente, valores entre 0,00 e 0,40 ml/l, 0,05 e 0,20 ml/l e 0,05 e 0,50 ml/l, também considerados baixos.

Sob o ponto de vista sanitário menciona-se que o valor máximo permitido em esgotos é até 1 ml/l em São Paulo (SP) e no Rio de Janeiro (RJ) (MOTA, 1995). Parece que altos valores deste parâmetro são relacionados com a emissão de esgotos nas águas superficiais. Na área de estudo ainda não há captação e tratamento de esgoto, sendo o sistema de

fossa séptica o utilizado na maior parte da área urbana da bacia. Talvez por este motivo os valores ainda não se apresentam “explosivos”.

CHRISTOFOLETTI (1981) cita que, em geral, a carga em suspensão é a fração mais fina do material do leito e esta é mantida suspensa pela ação de turbulência do fluido. O gráfico apresentado pelo autor (FIGURA 4.5) mostra a velocidade deposicional em relação ao diâmetro das partículas. O cone de Inhoff utilizado para a estimativa dos sólidos sedimentáveis possui altura de 42,5 cm e as amostras d'água foram colocadas para decantação dos sedimentos durante uma hora (3.600 segundos). A razão altura/tempo resultou num valor de 0,0118 cm/s. Verificando este valor neste gráfico, observa-se que o diâmetro correspondente é 0,01 mm. Logo, partículas com diâmetro menor que 0,01 mm levariam mais de uma hora para se depositar, enquanto que partículas com diâmetro igual ou superior a este valor depositar-se-iam a tempo de efetuar-se a leitura e entrariam na quantificação da concentração de sólidos sedimentáveis.

Observando os dados obtidos de sólidos sedimentáveis, os quais sempre se apresentaram com baixos valores e, associando-se isto às considerações feitas sobre a velocidade de queda das partículas no cone de Inhoff, conclui-se que é pequena a proporção de sedimentos com diâmetro maior que 0,01 mm dentro do total de sólidos particulados conduzidos em suspensão pelas águas dos canais da área de estudo e que a maciça maioria é composta pela fração de diâmetro menor que 0,01 mm.

Ainda que a fração granulométrica da carga total em suspensão possivelmente seja praticamente siltosa e/ou argilosa, foi observado alta relação entre as variáveis velocidade de escoamento e sólidos sedimentáveis (coeficiente de correlação $r = 0,97$, significativo $\alpha = 1\%$). Ou seja, conclui-se que a quantidade de sólidos sedimentáveis varia conforme varia a velocidade do fluxo de água no canal.

Contudo, menciona-se o caso da relação entre as sub-bacias BC1 e BC2. Entre os pontos de coleta há a barragem do parque Cesamar, a qual é, seguramente, um obstáculo que retém alguma porcentagem do sedimento que é removido e transportado da sub-bacia BC1 até a barragem, devido a quase estagnação, temporária, da massa d'água. Entretanto, a concentração média anual de sólidos sedimentáveis foi maior na sub-bacia BC2. Tal fato deve-se, possivelmente, a forma e intensidade de uso d'água, que neste trecho é relativamente intenso na maior parte do ano (recreação – banho – na represa do parque e também captação de água por caminhões-pipa, os quais causam ressuspensão do sedimento do leito do canal.

Também não deve ser descartada a hipótese mencionada em CARVALHO (N. O., 1994) a qual diz que as águas de um rio, após passar por um trecho de quase estagnação onde ocorreu a deposição de parte do sedimento que vinha sendo transportado, ficam com a concentração de sedimento diminuída e recuperam a capacidade de erodir as paredes dos

cursos d'água, removendo sedimento das paredes dos canais em trechos após a barragem. O mesmo comentário vale para a relação das sub-bacias AF1 e AF2, na barragem existente no ponto de cruzamento entre a rodovia TO-010 (Palmas↔Lajeado) e o Ribeirão Água Fria, o qual está localizado na sub-bacia AF2 e fica entre os pontos de coleta AF1 e AF2 e a concentração média anual de sólidos sedimentáveis para a sub-bacia AF2 foi maior que para a sub-bacia AF1.

O parâmetro sólidos totais apresentou valores bastante variáveis entre cada sub-bacia e entre os meses de coleta. O valor médio final foi 789,117 mg/l, porém atingindo valores extremamente altos em alguns momentos. AZEVEDO NETTO (1991) menciona que dentro dos padrões de qualidade das águas, o valor máximo desejável é 500 mg/l e o valor máximo permitido é 1.500 mg/l. O mesmo autor cita ainda que as normas de água potável fixam o teor máximo de sólidos totais (dissolvidos + particulados) pela possibilidade de quanto mais sólidos houver, maior a probabilidade de uma água possuir substâncias não desejáveis. Também, WARD & ELLIOT (1995), afirmam que "o sedimento é, provavelmente, o mais significativo de todos os poluentes em termos de sua concentração na água, seus impactos no uso da água e seus efeitos no transporte de outros poluentes". Sendo assim, pelo valor médio apresentado (789,117 mg/l) infere-se que, dentro deste parâmetro, as águas ainda podem ser consideradas de qualidade satisfatória.

Comparativamente, cita-se que GOMES & CHAUDHRY (1981) *in* MOTA (1995) observaram, em estudos realizados com águas de escoamento superficial em São Carlos (SP), valores de sólidos totais oscilando entre 171,0 e 3.499,0 mg/l, sendo que os maiores valores foram observados no início do escoamento superficial. Como já citado, não há ainda despejo de grandes quantidades de águas residuárias nos cursos d'água da área de estudo, contudo já há ligações para escoamento das águas pluviais, as quais, na sua maioria, desembocam no córrego Suçuapara. Isto pode ser, possivelmente, uma potencial fonte de sedimentos na época das chuvas, principalmente pelo fato, como já mencionado anteriormente, de haver, mesmo na região central do município, áreas com a superfície do solo exposta ou contendo uma rala cobertura vegetal, de baixa estatura e baixa densidade, expondo-o à ação erosiva da chuva e, conforme o local, permitindo a formação de escoamento superficial.

Ainda comparando resultados do parâmetro sólidos totais, tem-se que GANDOLFI (1971) encontrou valores entre 41,03 e 145,86 mg/l para o rio Moji-Guaçu, 53,66 e 76,07 mg/l para o rio Ribeira e 108,11 e 188,20 mg/l para o rio do Peixe, valores estes obtidos numa mesma época, variando somente em função da localização do ponto de coleta em relação ao curso d'água. Para os cursos d'água localizados na alta bacia do rio Paraguai, os autores de M.M.A. (1997) apresentaram concentrações médias anuais variando entre 97 e 486 mg/l. AZEVEDO *et al* (1996) observaram



ligeiro aumento na concentração de sólidos totais nos cursos d'água de bacia ocupadas predominantemente por pastagens (111,00 mg/l) e reflorestamento de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) (110,000 mg/l) em relação a bacias ocupadas predominantemente por mata nativa (98,666 mg/l).

Com relação aos valores acima mencionados, verifica-se que os extremos das médias anuais do presente estudo (566,384 mg/l e 1.022,725 mg/l) ficaram sempre acima dos valores citados nos trabalhos. Isto pode ser explicado por dois motivos: 1) o método de quantificação de sólidos totais empregado no presente estudo (evaporação) considerou material particulado mais material dissolvido, enquanto que para os demais trabalhos os pesos provavelmente estejam considerando apenas o material particulado. 2) Também é importante considerar a afirmação de CHRISTOFOLETTI (1981) que menciona que os afluentes oriundos de regiões onde ocorre vegetação de cerrados apresentam carga detrítica muito elevada em relação aos afluentes que drenam áreas dominantemente cobertas por florestas.

Discorrendo sobre a forma de como se apresentava o sedimento na massa de água dos córregos, cita-se que VIEIRA (1988) menciona: "nos solos concrecionários há, ao longo do perfil, concreções de arenito ferruginoso com diâmetros variados". ACIESP (1987) menciona que estas concreções são formadas por óxidos de ferro na forma de grãos ou nódulos e variam, além do diâmetro, na forma, dureza e cor. LEINZ & AMARAL (1989) afirmam que as principais partículas coloidais que são transportadas pelas águas correntes são os hidróxidos de ferro, hidróxidos de alumínio, argilas, siltes e, às vezes, colóides orgânicos. Também, segundo BRIGAGÃO (1992), existe a possibilidade de ocorrer a floculação deste material, isto é, ocorrer a formação de agregados de partículas finas em suspensão em um líquido, geralmente impurezas na água que se aglutinam antes de assentarem no leito do canal, lago ou tanque.

Considerando a linha de raciocínio exposta no parágrafo anterior, menciona-se que o presente trabalho mostrou-se confirmativo com esta, fato visualizado principalmente durante os trabalhos de laboratório. Em laboratório verificava-se, nos recipientes de secagem, a presença de pequenos flocos de cor marrom após a evaporação total da água. O mapa de solos contribui na confirmação desta teoria pois verifica-se que grande parte dos canais de drenagem estão dispostos sobre o solo concrecionário, os quais são provavelmente potenciais fornecedores de substâncias coloidais, principalmente por parte das concreções ferruginosas.

A fim de reforçar a explicação deste fato, menciona-se que foi observado também, principalmente na região urbanizada da área de estudo e cujo relevo é pouco movimentado, a ocorrência de áreas cuja superfície do solo apresentava-se com aspecto "lavado" (não necessariamente os solos concrecionários), restando somente as concreções (ou cascalhos) maiores e,

muitas vezes, as concreções (ou cascalhos) menores foram roladas a alguns metros do seu ponto de origem. Também nas caixas coletoras de águas pluviais notava-se certa acumulação de sedimentos. Sendo assim, deduz-se que apenas a fração mais fina era efetivamente transportada até o canal e, se não sofresse a precipitação após possível floculação ou ainda total estagnação d'água em algum ponto, seria transportada para fora da bacia atingindo as águas do rio Tocantins. Verificou-se ainda, principalmente na época da estiagem, quando a água do córrego estava mais límpida, a constante presença destes flóculos, dando a nítida impressão de que havia realmente a condução de material em suspensão pela água, porém a presença deste material estava afetando pouco a transparência da coluna d'água.

Como já mencionado, as águas da área de estudo foram enquadradas na classe I. Alguns dos usos possíveis para águas enquadradas nesta classe estão expostos na TABELA 4.6. Sendo assim, somando-se as informações dos parâmetros analisados e comentados no presente estudo junto ao trabalho desenvolvido por CONSTANTIN (1998), conclui-se que, de forma geral, sob o ponto de vista sanitário, as águas superficiais da área de estudo encontravam-se, no período de estudo, ainda em boa qualidade, permitindo utilização dentro das modalidades previstas para a "classe I".

Também já foi discorrido ao longo do texto sobre os principais usos da água que vinham ocorrendo por parte da população na área de estudo. Verifica-se que há uma compatibilidade entre os usos da água perante a sua qualidade. Porém julga-se que tal fato é certamente ocasional, isto é, a população não dispunha de conhecimentos sobre as condições das águas (se é boa ou ruim) nem tão pouco dos possíveis prejuízos em função da degradação da qualidade da água que acarretaria caso o uso não fosse disciplinado ou, por outro lado, prejuízo para a saúde caso decaísse a qualidade da água. Neste sentido acredita-se que o presente trabalho traz uma contribuição pioneira para a bacia do ribeirão Água Fria e seus usuários da água no sentido de evidenciar o fato na atualidade e alertar para possíveis conseqüências no futuro.

8.8 - Dinâmica sedimentológica:

Os comentários tecidos a seguir são referentes à dinâmica sedimentológica, salientando uma vez mais o pioneirismo do trabalho realizado na região e, assim como nos itens anteriores, constam comentários sobre métodos utilizados nesta parte do trabalho, observações adicionais colocadas visando dar base para reforçar alguma teoria, fato ocorrido ou parâmetro estudado, além de interpretações e comparações dos resultados com outras bibliografias.

8.8.1 – Vazão e relação “entrada e saída” de água na bacia:

Os valores mensais de vazão da área total estiveram altamente relacionados com a precipitação de cada mês, verificando-se valor de correlação “r” entre as variáveis de 0,717 (significativo $\alpha = 1\%$).

A relação de perdas de água do sistema por fluxo superficial obteve índice estimado de 0,33 (33,032%). Mencionando comparação, autoridades do assunto citam que o índice médio de perdas de água por esta forma no mundo é aproximadamente 0,2 (20%) (ODUM, 1988; TUCCI, 1997) e, mais especificamente para a América do Sul, o índice é 0,22 (22%) (ESTEVES, 1988). LEPRUN (1993) menciona que para o rio Tocantins a taxa de escoamento é de cerca de 23% do total que entra. Comparativamente, DAJOZ (1978) cita que para uma bacia hidrográfica localizada na Alemanha, onde a evapotranspiração é menos intensa, o índice de perda por este modo foi cerca de 0,47 (47%).

LEPRUN (1993) coloca que a relação de perda tende a aumentar em bacias que sofrem o processo de desmatamento. Para a área de estudo tal fato deve ser considerado como importante não só pelo desmatamento em si que vem ocorrendo mas também pelo processo de impermeabilização que vem acontecendo em função da construção civil e da pavimentação, as quais, segundo BEASLEY (1972) e HOGGLAND (1994), contribuem para o aumento do escoamento superficial. Entende-se que estas transformações ambientais provavelmente possam ser algumas das causas do índice de perdas de água ser ligeiramente superior para a área de estudo em relação aos outros índices citados.

Outro fato que pode ter contribuído para a obtenção deste índice é que no ano de 1998 ocorreu a maior seca dos últimos 40 anos (segundo informações de moradores). Isto provavelmente leva os valores (tanto os de precipitação como os de vazão), a ficarem com certa distorção em relação as médias de outros anos, fato que será claramente explicado somente quando houver massa de dados suficiente para obter médias para a região.

Verificou-se relação positiva, mas não fortemente significativa do ponto de vista estatístico entre o parâmetro coeficiente de variação da vazão e os parâmetros morfométricos da bacia: número de canais ($r=0,625$, significativo $\alpha = 10\%$), densidade hidrográfica ($r=0,689$, significativo $\alpha = 10\%$) e densidade de drenagem ($r = 0,771$, significativo $\alpha = 5\%$). Conclui-se então que estes parâmetros exercem alguma influência, mas não crucial, na variação anual da vazão em cada sub-bacia. Para os parâmetros extensão do percurso superficial e coeficiente de manutenção, a relação com o parâmetro coeficiente de variação da vazão foi inversa e também não fortemente expressiva, obtendo-se valor de “r” igual a -0,708 (significativo $\alpha = 5\%$) para a extensão do percurso superficial e “r” igual a -

0,696 (significativo $\alpha = 10\%$) para o coeficiente de manutenção, permitindo a mesma conclusão acima mencionada.

8.8.2 – Deflúvio sólido e relação entre descarga sólida em suspensão e de arraste:

Discorrendo alguns comentários sobre o método de estimativa de descarga sólida utilizado no presente trabalho (método simplificado de Colby), menciona-se que este método apresentou-se como uma ferramenta simples e eficiente para alcançar os objetivos traçados. Para a área de trabalho do presente estudo, ainda que não haja dados sobre sedimentologia para fins de comparação, os resultados finais, principalmente aqueles sobre produção específica de sedimentos, apontam regularidade satisfatória no desempenho deste método. Logicamente que futuros estudos, empregando este mesmo método e outros - e também não só nesta bacia hidrográfica, mas em outras da região, são necessários para obtenção de índices mais exatos, detalhados e, talvez, definitivos para a região. Comparativamente cita-se que TAVARES (1986), que também efetuou a estimativa da descarga sólida total diretamente pelo método de Colby, também considerou satisfatório o desempenho do método em função dos resultados obtidos nas suas estimativas.

Verificou-se relação positiva entre os parâmetros erosividade e produção mensal bruta de sedimentos da área total ($r = 0,612$, significativo $\alpha = 5\%$). Durante os dois primeiros meses do período de estudo foram carreados 59,297% do total carreado durante todo o período de estudo, havendo distribuição temporal irregular da quantidade de sedimento carreado e havendo concordância com as afirmações feitas por CARVALHO (N. O., 1994) no item 4.9.1. Mencionando uma comparação, cita-se que FROEHLICH (1972) *in* LAJCZAK & JANSSON (1993), notificou que para uma bacia hidrográfica localizada na Europa, poucos dias de intensas chuvas durante o verão foram responsáveis pelo carreamento de 95% da quantidade total de material carreado (sólidos suspensos) durante o ano todo.

Conforme os resultados apontam, verifica-se que para algumas sub-bacias, em alguns meses, predominou o processo de deposição de sedimentos ao invés de transporte. Comparando resultados, em M.M.A. (1997) os autores também citam valores negativos indicando predomínio de deposição de sedimentos durante a época de estudo em trechos da bacia do alto rio Paraguai, mais especificamente num trecho do rio Cuiabá (médio Cuiabá) e num trecho do rio Paraguai (área pantaneira, região de Aquidauana (MS)).

Houve participação mais intensa da fração arraste na sub-bacia AF3, fato que parece ser pouco comum segundo as considerações feitas por CARVALHO (N. O., 1994). Segundo o autor, na região da parte

baixa da bacia normalmente há menor taxa de erosão, ocorrendo formação de depósitos com forte processo de aggradação. Contudo, na sub-bacia AF3, em função da média/alta velocidade de escoamento das águas e, somada a fácil destacabilidade das partículas do solo (que para esta sub-bacia é na sua maior parte formado por areias hidromórficas), verificou-se como processo resultante uma expressiva participação da fração arraste, resultando num aumento expressivo da quantidade total de sedimentos carreados.

8.8.3. – Produção específica líquida:

O parâmetro produção específica líquida de sedimento, isto é, a produção média por unidade de área, sendo estimada através da taxa de carregamento de sedimento medida numa seção transversal de um canal, foi estimada, para a área de estudo (área total) como sendo 8,268 t/ha x ano (826,815 t/km² x ano), havendo uma grande variabilidade entre as sub-bacias, sendo a menor taxa anual 0,862 t/ha x ano (sub-bacia BC2) e a maior taxa anual 39,194 t/ha x ano (sub-bacia AF3). Como já mencionado, ENGER & SMITH (1995) apontam, para a região amazônica e entornos, uma taxa média de 612 t/km² x ano, sendo pouco menor da taxa média verificada para a área de estudo (área total). Citam também que a região de estudo situa-se numa área que, segundo os autores, possui potencial médio a forte de contribuição de sedimentos ao Oceano Atlântico.

A título de comparação, cita-se que em M.M.A. (1997) verificou-se, para diversas sub-bacias localizadas no alto rio Paraguai, valores entre 66 e 305 t/km² x ano, sendo que nesta área a erosividade das chuvas foram classificadas de média a forte intensidade e a declividade variou conforme a localização das sub-bacias (escarpado nas regiões de cabeceira a suave nas regiões próximas a desembocadura dos canais).

A FIGURA 8.1 já foi apresentada no item 4.8.3 e mostra alguns valores de produção específica líquida obtidos junto a literatura. Contudo, optou-se por repetir a figura pois nesta segunda mostra adicionou-se também o valor obtido para a área do presente estudo, a fim de comparação. CARVALHO (N. O., 1994), autor que apresenta o gráfico, cita que KHOSLA, o elaborador do gráfico, apresentou a reta que julgou ser “normal” para a produção de sedimentos conforme a área de drenagem. Entretanto, não raramente, observa-se taxas de produção totalmente fora destes padrões, como é o caso, por exemplo, da bacia localizada em Java (Indonésia), onde KUSUMANDARI & MITCHELL (1997) encontraram valor médio de 9.891,45 t/km² x ano para uma área de 25,92 km². Apesar disto observa-se que o ponto representando a área do presente estudo mostra boa proximidade com a reta normal.

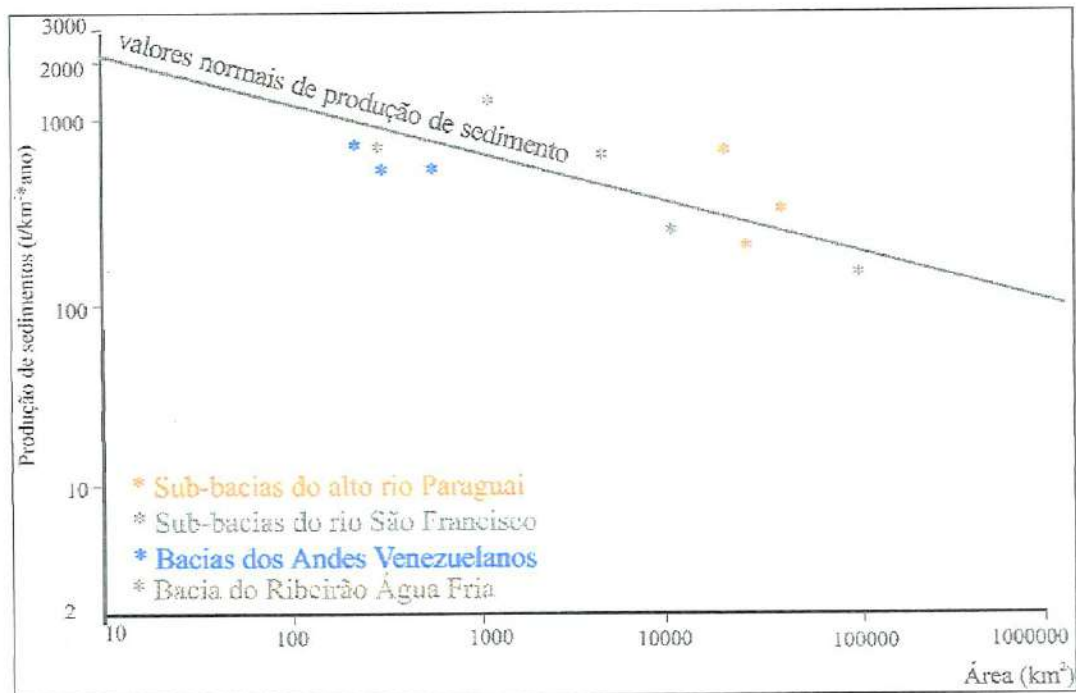


FIGURA 8.1 – Produção específica líquida de sedimentos em função da área de drenagem (FONTE: CARVALHO (N. O. (1994))), com alguns pontos conforme a literatura e agora também com o valor obtido para a área do presente estudo.

A título de comparação de resultados, menciona-se que CARVALHO (N. O., 1994) apresenta dados de produção específica de muitas sub-bacias da bacia do rio São Francisco, alguns sendo valores médios de campanhas sedimentológicas realizadas em diferentes épocas e por diferentes períodos. Os resultados apontam alta variação quanto ao tamanho da área de drenagem e também quanto aos valores da produção específica de sedimentos. Os valores extremos encontrados foram $2,5 t/km^2 \times ano$ para o rio Verde Grande e $1.059,0 t/km^2 \times ano$ para o rio Indaiá.

Salienta-se que este parâmetro retrata a situação média de remoção de solo, a qual efetivamente é perdida pela área de drenagem para áreas a jusante. Contudo não permite saber, por exemplo, qual o tipo de erosão que está predominando na área e também não permite saber o grau de eficácia de remoção de sedimentos por parte da área estudada. Enfim, trata-se de uma informação importante mas ainda incompleta.

A FIGURA 8.2, também já mostrada anteriormente, mostra agora o enquadramento da área de estudo conforme a relação: débito fluvial \times carga anual em suspensão \times concentração de sólidos. Embora os rios que constam no gráfico são de grandes dimensões, julgou-se interessante situar também a bacia do ribeirão Água Fria a fim de tentar mostrar mais claramente a relação entre estas variáveis.

Ainda sobre a FIGURA 8.2, foi mencionado anteriormente que as águas dos canais de drenagem do ribeirão Água Fria mostraram, no período do estudo, estar em boas condições dentro do ponto de vista de parâmetros físicos indicadores da qualidade da água. Contudo, houve dificuldade de situar a bacia do ribeirão Água Fria dentro das três dimensões do gráfico, ou seja, não aconteceu um “encaixe” perfeito dos valores apresentados para a área de estudo, o que pode ser indicador de algum desequilíbrio ocorrente na dinâmica hidrossedimentológica da área de estudo, podendo servir como indicador de impacto na área. Tal inferência foi baseada na informação de WILSON Jr. (1996), já anteriormente mencionada.

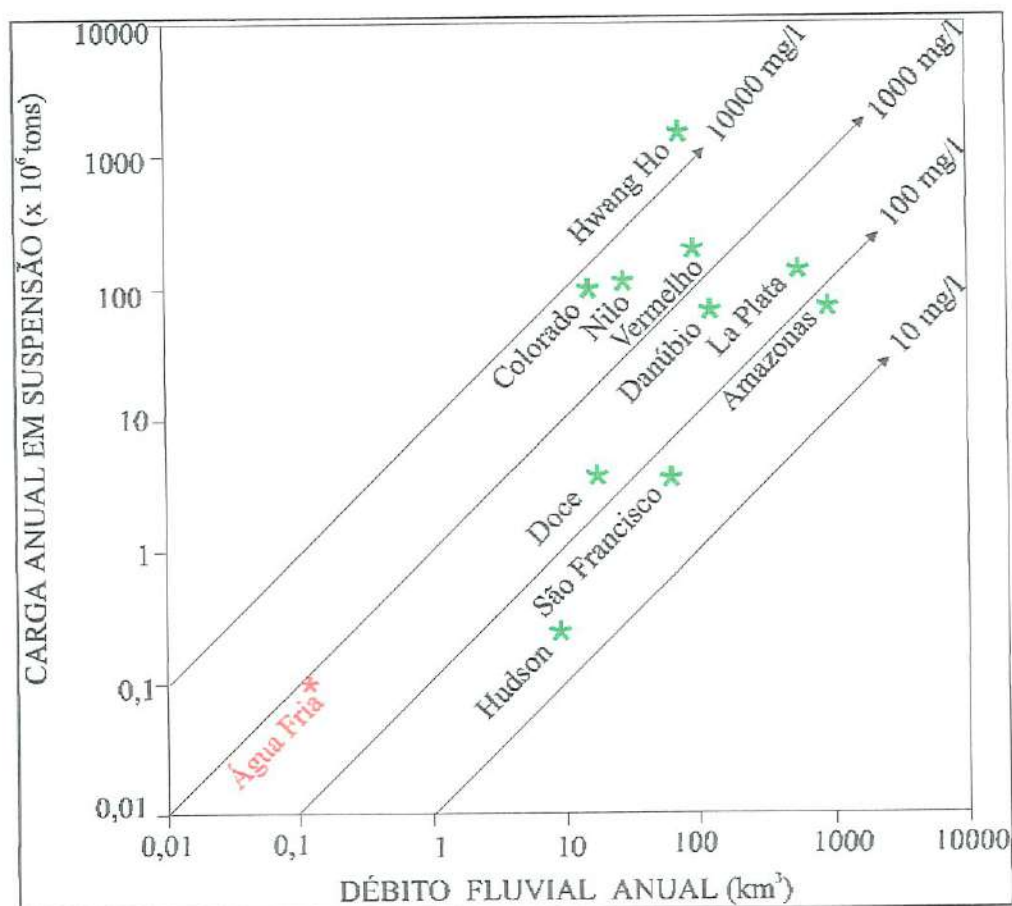


FIGURA 8.2 – Comparação entre o escoamento, a carga em suspensão e a concentração de sólidos na água para alguns rios do mundo (FONTE: CHRISTOFOLETTI (1981)) e enquadramento aproximado da área de estudo.

8.9. – Coeficiente de remoção de sedimentos – análise final:

Neste sub-ítem da discussão dos resultados, objetivou-se explicar toda a dinâmica do processo erosivo-sedimentológico ocorrente na bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria. Esta explanação requer uma descrição e análise integradas e cuidadosas de todos os processos que poderiam estar ocorrendo, de forma simultânea ou não, conforme o local considerado. Buscando clarear os comentários a fim de que o discurso não se torne maçante, teceu-se comentários sobre cada sub-bacia em particular, resgatando, quando necessário, informações de outras sub-bacias a fim de elucidar o processo ocorrente que estiver sendo explicado e/ou comentado.

Quanto aos valores do parâmetro coeficiente de remoção obtidos para as sub-bacias e também para área de estudo, verifica-se a participação de vários fatores atuando de forma desigual sazonal e espacialmente na área de estudo. Salienta-se novamente que esta foi a parte do trabalho que mais exigiu a busca de integração de todas informações de diferentes fontes e que originou ainda novas informações, diretas ou indiretas, nem sempre relacionadas entre si, mas que ora vem explicar a dinâmica hidrossedimentológica do local. Menciona-se ainda que, assim como em vários dos sub-ítens anteriormente discutidos, o texto a seguir é constituído de informações interpretativas e comparativas de coeficientes gerais e de observações adicionais. Com isto buscou-se criar base para, quando pertinente, inferir sobre o processo que está sendo discutido.

- *Sub-bacia AF1:*

Para a sub-bacia AF1, verificou-se que é esperado, de forma geral, uma alta taxa de erosão laminar em locais muito concentrados, mais especificamente na região compreendida pela área declivosa da Serra do Lajeado, isto devido principalmente ao relevo ser altamente movimentado. Também os tipos de solo ocorrentes na região são considerados frágeis, favorecendo a gravidade do processo. Contudo, o relevo na região do vale do ribeirão Água Fria (porção inferior das vertentes da serra do Lajeado) é pouco movimentado e, em função disto, provavelmente ocorra fraca erosão nos canais de drenagem. Ainda, em algumas épocas, provavelmente ocorra deposição de parte do sedimento removido nas altas e médias vertentes. A forma das encostas parece ser mais um fator contribuinte para este processo, pois são, segundo o mapa do modelo de elevação digital, de forma predominantemente côncavas.

Um outro fator que parece influenciar na produção/transporte de sedimentos é o embasamento geológico. Na sub-bacia AF1 predomina o Complexo Goiano, cuja formação mineralógica apresenta certa resistência ao intemperismo e com isso possa acontecer uma reduzida produção de sedimentos. LEINZ & AMARAL (1989) mencionam que rochas de

natureza metamórfica são comparativamente mais resistentes ao processo do intemperismo do que rochas sedimentares. Sendo assim, provavelmente devido também ao embasamento geológico não foi verificada ocorrência erosão linear nesta sub-bacia.

O tipo de cobertura do solo predominante na área (mata) e o estado de conservação em que atualmente se encontra, principalmente na região de mata ciliar, indica que a vegetação possa estar também atuando, de forma efetiva, como uma barreira de retenção de sedimento, impedindo que estes cheguem ao canal do rio através da deposição antecipada de sedimentos, mesmo havendo alta densidade hidrográfica, alta densidade de drenagem e uma reduzida extensão do percurso. Supõe-se que estes parâmetros morfométricos da bacia, teoricamente, contribuiriam para uma maior transferência de sedimentos, mas não ficou clara sua influência.

Fato também a se considerar é a competência de transporte de sedimentos pelas águas do ribeirão: a velocidade média anual verificada foi 0,18 m/s e os extremos registrados foram 0,013 e 0,516 m/s, indicando então que as águas possuem competência para transportar, na forma de suspensão, apenas a fração mais fina dos sedimentos (silte e argila). De acordo com a FIGURA 4.3, esta faixa de velocidade aponta que esteja ocorrendo, de forma dominante, o processo de transporte de sedimentos e que o processo de aprofundamento/alargamento dos canais esteja acontecendo muito paulatinamente. Apesar deste fator não ter sido diretamente contabilizado na estimativa da erosão total, acredita-se que o baixo valor do coeficiente de remoção obtido para esta sub-bacia (1,465%) deve-se a estas características hidrológicas dos canais.

Parece então que a modalidade de erosão que atua de forma comparativamente mais agressiva na maior parte da sub-bacia AF1 é a erosão laminar e esta modalidade explica a maior parcela do rendimento sólido total da área. A erosão por deslizamento está sujeita a acontecer em locais específicos e também, provavelmente, apenas em casos de sucessivas chuvas de muito alta intensidade.

- Sub-bacia AF2:

Para a sub-bacia AF2 as classes de expectativas de erosão laminar consideradas alarmantes (classes dois a seis na FIGURA 7.15) ocorreram numa proporção menor que na sub-bacia AF1. O valor estimado de solo removido pela erosão laminar para a sub-bacia AF2 (169.353,0 t) foi cerca de quatro vezes menor que na sub-bacia AF1 (770.268,0 t). A produção líquida de sedimento foi cerca de duas vezes menor na sub-bacia AF2 (6.268,800 t) em relação a sub-bacia AF1 (11.286,282 t), resultando num valor de coeficiente de remoção mais elevado (3,701%).

Esta sub-bacia (AF2), cujo embasamento geológico é de natureza exclusivamente sedimentar, mostrou predominância de solo concrecionário e o grau de uso e ocupação é nitidamente mais intenso que na sub-bacia AF1, inclusive quanto ao uso da água, que é de forma não consumível, isto é, usa-se a água no próprio rio sem retirá-la e isto mostra que os usuários deslocam-se até o rio e também promovam a degradação da mata ciliar dos trechos mais visitados.

Estes fatores parecem mostrar a razão do aumento do coeficiente de remoção para a sub-bacia AF2. Ainda, os locais mais visitados pelos usuários da água do ribeirão possuem relevo mais suave, favorecendo então, como já mencionado antes, o transporte de material fino e/ou coloidal até o canal, fato verificado também pelo aumento da concentração média anual de sólidos totais.

Neste contexto, observa-se que a competência de transporte de material pelas águas do ribeirão no ponto AF2 mostraram-se similares ao caso da sub-bacia AF1, ficando com velocidade média anual de 0,18 m/s e extremos de 0,409 e 0,02 m/s, possuindo, portanto, competência para transportar material de fina granulometria, havendo apenas um trecho (trecho do "Y" na sub-bacia AF2, próximo ao cruzamento das coordenadas UTM 887600m sul e 796000m oeste) o qual é esperado alguma remoção de material do leito e das bordas dos canais (devido ao relevo ser mais movimentado) e havendo trecho que, de acordo com o modelo de elevação digital da área, parece favorecer o processo de deposição de sedimentos, em certas épocas.

- Sub-bacia S1:

Na sub-bacia S1, onde a vazão obteve maior estabilidade dentre todas as sub-bacias, a produção líquida anual de sedimentos (2.914,691 t) foi menor que nas sub-bacias AF1 e AF2, mas a produção específica foi ligeiramente superior (AF1: 2,079 t/ha; AF2: 2,067 t/ha; S1: 2,948 t/ha). Esta informação, considerada junto ao valor de solo removido (101.856,0 t), explica o coeficiente de remoção obtido por S1 (2,861%), sendo maior que a sub-bacia AF1 e menor que a sub-bacia AF2.

Menciona-se o fato desta sub-bacia apresentar um alto valor do parâmetro morfométrico "extensão do percurso superficial", o que mostra uma longa distância a ser percorrida pelas águas do escoamento superficial até alcançarem o canal de drenagem, sendo este único na sub-bacia (córrego Suçuapara).

Na sub-bacia S1 predomina solo de textura argilosa, fato que muito provavelmente contribuiu para a obtenção do valor final da concentração de sólidos totais ser mais elevada que na sub-bacia AF1 (664,409 mg/l para a sub-bacia AF1 e 809,255 mg/l para a sub-bacia S1), sendo que a sub-bacia AF1 possui área expressivamente maior e com

relevo bem mais movimentado. É uma sub-bacia que vem sofrendo forte processo de alteração ambiental, inclusive já ocorrendo tubulações para escoamento de águas pluviais a serem despejadas no córrego Suçuapara.

Entretanto, todo o córrego Suçuapara e sua faixa de mata ciliar estão dentro da chamada “área verde” prevista no plano diretor de Palmas. Verificou-se que em alguns trechos da mata há “picadas” (trilhas) feitas por transeuntes, favorecendo o processo de remoção de solo e do aporte de sedimentos até as águas do córrego, sendo que são nestes trechos que aparecem a maioria das ravinas encontradas na área. Contudo, em pontos ao longo do córrego onde a mata encontra-se num melhor estado de preservação, infere-se seguramente que esta atua como uma barreira de sedimentos, principalmente no sentido de reduzir a velocidade de escoamento e conseqüentemente age como um filtro d’água, retendo parte dos sedimentos.

Devido ao baixo débito fluvial, bem como a sua baixa velocidade de escoamento (valor médio anual = 0,104 m/s), infere-se que haja predominância do processo de transporte de sedimentos na maior parte do ano. Apesar disto, este foi um caso do qual observou-se que, na época de chuva, sempre haviam “amostras” da força que as águas do canal tomavam devido a observação de alguns indicadores deste processo (pedaços de plástico que ficavam presos nos troncos das árvores localizadas próximas ao canal e também da marca marrom que havia nestas (sedimentos finos agregados que ficavam no tronco acima da altura das raízes), evidenciando a afirmação feita por Baulig (*in* CHRISTOFOLETTI, 1981) e já mencionada anteriormente. Nestes casos, as águas certamente tinham o poder não só de transportar mas também de erodir as laterais e o leito do rio, podendo transportar também materiais de maiores dimensões do que normalmente transporta, seja por arraste ou em suspensão. Tal fato foi visto no ponto de coleta, o qual situa-se próximo a uma ponte e que era, naquele trecho, totalmente desprovido de vegetação ciliar.

Trata-se de uma sub-bacia (S1) onde há apenas um canal de escoamento e cuja nascente localiza-se na própria sub-bacia. Nesta sub-bacia o uso do recurso hídrico se dá não só pelo despejo de águas pluviais mas também pela retirada de água por parte de caminhões-pipas em quantidade muito variável conforme a época do ano.

Verifica-se então que a erosão em canal é pouco atuante na área e que nitidamente predominam as modalidades de erosão laminar e erosão por ravinamento. A probabilidade de ocorrer erosão por deslize é extremamente baixa mesmo na parte mais íngreme da bacia e não foi verificada a ocorrência de voçorocas na área.

- *Sub-bacia S2:*

A menor sub-bacia, S2, apresentou predomínio da classe de menor intensidade de erosão laminar e nela não ocorreu a classe seis (FIGURA 7.15), sendo que as classes quatro e cinco ocorreram de forma concentrada numa região da sub-bacia. A produção líquida anual de sedimentos foi inferior a sub-bacia S1 (S1: 2.914,691 t e S2: 2.425,301 t) e a produção específica líquida de sedimentos foi nitidamente maior que as sub-bacias anteriormente citadas (AF1: 2,079 t/ha, AF2: 2,067 t/ha, S1: 2,948 t/ha e S2 5,690 t/ha), obtendo um coeficiente de remoção (8,281%) mais acentuado que as demais sub-bacias.

Em parte desta sub-bacia está a região mais densamente urbanizada de Palmas, que é o trecho compreendido entre o córrego Brejo Comprido e o córrego Suçupara. Também, observou-se que esta sub-bacia apresenta-se com a mata ciliar num estado de degradação bem mais avançado que a sub-bacia S1. A sub-bacia S2 foi a que apresentou maior índice relativo da classe de cobertura “campo ralo” e também forte predominância de solo de textura argilosa, além da ocorrência de solo concrecionário no canal de drenagem e da predominância de um relevo pouco movimentado.

No ponto de coleta “S2” do córrego Suçupara a velocidade de escoamento mostrou ser mais expressiva, ficando com valor médio anual de 0,432 m/s e extremos de 0,233 a 0,637 m/s. Principalmente devido a faixa de valores compreendida entre a média e o extremo superior e devido também as cheias ocasionais ocorridas na época das chuvas, há fortes indicadores de que ocorra erosão do canal de forma mais agressiva que na sub-bacia S1, pois devido a reduzida mata ciliar, a ação redutora da velocidade de escoamento é diminuída. Ainda, no ponto de coleta desta sub-bacia, também foram observados objetos transportados pela correnteza, os quais estavam pendurados e/ou colados nos troncos das poucas árvores dispostas próximas ao córrego.

Verificou-se ainda a ocorrência de várias erosões lineares em vários estágios de desenvolvimento, localizadas especificamente nas regiões de solo concrecionário, sempre perpendiculares ao canal de drenagem e algumas ravinas tendo contato com suas águas, sendo certamente fontes pontuais e potenciais de produção de sedimentos de diversas granulometrias, uma vez que esta modalidade de erosão é pouco seletiva na remoção e transporte de partículas. Neste caso verificou-se que a fração mais grosseira permanecia arrastada dentro do córrego e poucos centímetros abaixo da linha de contato da erosão com a água. É, seguramente, uma região onde há necessidade de ação rápida no sentido de mitigar a degradação ambiental oriunda do processo erosivo.

Assim sendo, verifica-se que, à exceção da modalidade deslizamento, que é de probabilidade zero de ocorrência na área, todas as

demais modalidades apresentaram-se em proporções alarmantes, especialmente a modalidade ravinas. Estima-se que esta modalidade seja a maior fonte de sedimentos ao único canal de drenagem desta sub-bacia.

- Sub-bacia BC1:

A sub-bacia BC1 apresentou as maiores áreas de classe de altas perdas de solo por erosão laminar (classe 6 – FIGURA 7.15) dentre todas as sub-bacias e um valor intermediário de produção específica (5,367 t/ha), resultando num coeficiente de remoção de 1,107%. Assim como na sub-bacia AF1, os fatores que contribuíram para a obtenção desta expectativa de elevada perda de solo foram principalmente a ocorrência de relevo movimentado e de solos pouco resistentes à erosão.

Fato agravante nesta sub-bacia foi o alto valor de ocorrência da classe de cobertura “queimadas” (ocupou 26,571% da área da sub-bacia), a qual certamente contribuiu no valor da taxa de erosão. Sendo assim, apesar desta sub-bacia estar localizada, em sua maior parte, dentro da área de proteção ambiental (APA), verificou-se alto grau de intervenção antrópica, não necessariamente utilizando o solo ou o espaço físico, mas quanto ao grau de modificação ambiental que vem sendo promovido na área.

A produção líquida anual de sedimentos foi mais elevada do que na sub-bacia AF1 (BC1: 12.462,337 t/ano e AF1: 11.286,282 t/ano). Um dos fatores que pode ter contribuído para isto é uma menor distância entre o ponto de remoção dos sedimentos e o ponto de coleta. As características morfológicas da sub-bacia, principalmente a densidade hidrográfica e a relação de bifurcação, parecem contribuir para esta situação, além da intervenção antrópica, como já mencionado. Devido a isto, acredita-se que ainda não houve oportunidade de ocorrer deposição do sedimento antes das águas do escoamento superficial atingirem algum canal de drenagem, fato visto também na grande participação da carga de arraste verificada nesta sub-bacia.

Exatamente no local do ponto de coletas BC1 (ponte sob a rodovia TO-50) há a ocorrência de várias voçorocas em estágio avançado de desenvolvimento, todas perpendiculares a linha do canal do córrego Brejo Comprido. O desenvolvimento destas voçorocas é favorecido pelas águas de enxurradas vindas da rodovia, as quais passam pelas erosões, removem partículas de solo e atingem as águas do córrego. É um ponto onde há o afloramento do substrato geológico “formação Pimenteiras” e cujo material constitui-se principalmente de argilitos arroxeados. O fato coloca em evidência a fragilidade deste embasamento aos processos erosivos, mais notadamente quanto a formação de voçorocas.

Como formas de uso local, cita-se que havia no ponto de coletas BC1 uso do córrego para recreação (verificou-se, em várias

ocasiões, a presença de pessoas banhando-se nas águas do córrego) e lavagem de roupas. Também havia, em alguns pontos (e provavelmente ainda há) a retirada clandestina de solo da mata ciliar (“terra preta”) transportada por caminhões e utilizada principalmente para adubação em áreas onde seria plantada grama.

A velocidade de escoamento das águas (extremos: 0,172 e 1,170 m/s) e média anual (0,771 m/s) apontam a predominância do processo de transporte fluvial. Há trechos dos canais, especialmente nas cabeceiras dos afluentes que, devido ao relevo ser mais movimentado, haja ocorrência de alguma erosão do leito e das bordas dos canais, pois a maior parte do embasamento geológico da área é de natureza sedimentar, indicando haver fragilidade ao processo de remoção de materiais.

Devido ao fato de algumas vertentes da sub-bacia BC1 possuírem alta declividade e ainda forma convexa, estima-se que nestes locais há probabilidade de remoção de massas de solo (erosão de modalidade deslizamento) em épocas de intensas e sucessivas chuvas.

Comparativamente, verifica-se que para a sub-bacia BC1, a classe de maior valor de perdas de solo do mapa de potencial natural de erosão (mapa PNE - FIGURA 7.5 e TABELA 7.7) ocupou 16,345% da sub-bacia, enquanto que para a sub-bacia AF1 o valor foi 38,240%. Por outro lado, verifica-se que o mapa de expectativa de perdas de solo (FIGURA 7.6 e TABELA 7.8) apontou, para a classe de maior valor, ocorrência em 1,305% da sub-bacia AF1 e 9,151% da sub-bacia BC1. Deste modo evidencia-se o manejo incorreto que vem sofrendo a sub-bacia BC1 através destas conseqüências apontadas.

Finalizando, para a sub-bacia BC1 evidenciou-se que todas as modalidades de erosão possuem probabilidade de ocorrer com média a forte intensidade e parece ser a modalidade laminar a modalidade de erosão que participa, de forma mais abrangente por toda a área, em maior proporção no aporte de sedimentos nesta sub-bacia.

- Sub-bacia BC2:

A sub-bacia BC2 apresentou expectativa de erosão predominantemente da classe de menor valor (ocupou 67,139% da sub-bacia, FIGURA 7.15 e TABELA 7.8), mas a classe três obteve o mais alto valor relativo dentre todas as sub-bacias (21,640%). As classes quatro a seis apareceram em pequenas proporções mas de forma espacialmente concentradas. A produção específica de sedimentos (0,862 t/ha) foi a menor dentre as sub-bacias, resultando num valor do coeficiente de remoção de 1,447%, verificando-se uma redução proporcional da expectativa de erosão e da produção de sedimentos entre as sub-bacias BC1 e BC2 e resultando num valor semelhante de coeficiente de remoção, fato não ocorrente entre

as sub-bacias AF1 e AF2 e entre as sub-bacias S1 e S2, as quais possuem conexão entre si pelos respectivos canais de drenagem que passam por elas.

Com relevo pouco movimentado e predomínio de solos de textura argilosa, a grande diferença observada nesta sub-bacia com relação as demais foi a existência da barragem do parque Cesamar, com confirmação de forte atuação na alteração da dinâmica sedimentológica do córrego Brejo Comprido; uma vez que na sub-bacia AF2 também há uma barragem no ribeirão Água Fria, mas cuja intervenção não foi clara no processo sedimentológico entre as sub-bacias AF1 e AF2.

Também foi verificado, em vários pontos desta sub-bacia, a existência de erosões lineares em vários estágios de desenvolvimento (desde ravinas até voçorocas) e com várias dimensões e formas (algumas apresentando vale em "U" outras em "V", localizadas quase que exclusivamente em solos concrecionários. Isto seguramente se deve ao fato de haver nesta região amplo processo de uso e ocupação do solo.

Assim como o córrego Suçuapara, o córrego Brejo Comprido e sua respectiva faixa de mata ciliar, fazem parte da "área verde" prevista no plano diretor, uma vez que passam por dentro da área abrangida pelo plano diretor e cuja área deveria ser preservada.

Há, ao longo do córrego, um ponto de captação de água por parte da Saneatins (empresa responsável pelos serviços de água e esgoto no estado do Tocantins), logo em seguida vem o parque Cesamar, no qual, entre outras opções de recreação que oferece à população, há os tanques formados pelas águas do próprio córrego imediatamente após a represa. Pouco abaixo dos limites do parque há o principal ponto de captação de água na cidade por parte dos caminhões-pipas, cuja função é irrigar os jardins públicos existentes pela cidade. Estes caminhões trabalham durante todo o período de estiagem (aproximadamente de abril a outubro) vinte e quatro horas por dia. A existência destes tipos de atividades neste trecho da sub-bacia salienta a necessidade de haver água de boa qualidade e maior esforço na preservação desta.

Sendo assim, a sub-bacia conta com apenas um único canal para escoamento das águas e detritos (já sendo de segunda ordem por toda a sub-bacia, enquanto que para as sub-bacias S1 e S2 o córrego Suçuapara é de primeira ordem). A situação de conservação da mata ciliar é muito variável conforme o trecho do córrego, havendo trechos onde o estado de conservação é plenamente satisfatório e outros onde há intensa remoção de árvores para uso da porção ribeirinha do solo. Por isso estima-se que há pontos onde possa ocorrer entrada mais intensa de sedimentos no córrego e pontos onde a situação está mais próxima das condições naturais.

A velocidade média obtida para o escoamento deste trecho do córrego (0,284 m/s), mostra tendência maior para o processo de transporte de sedimentos e, somente em casos excepcionais parece ocorrer erosão de forma mais intensa nas margens e leito do córrego. Na parte represada do

córrego onde se forma a represa do parque Cesamar há, certamente, o processo de deposição de sedimentos.

Deste modo, as erosões lineares (voçorocas e, principalmente ravinas) parecem ser as modalidades que mais notadamente atuam no aporte de sedimentos e as modalidades laminar e em canal participam em proporções menores.

- Sub-bacia BC3:

A sub-bacia BC3 foi uma das duas sub-bacias que apresentou valor de coeficiente de remoção bastante alto (82,520%). Obteve o segundo maior valor de produção líquida anual de sedimentos (41.426,833 t/ano) e somente o sexto maior valor de expectativa anual de solo removido (50.202,0 t/ano).

O relevo é plano na sua maior parte e o solo é de textura média a argilosa. Obteve o maior valor médio anual de sólidos totais (1.022,725 mg/l). A situação da mata ciliar é similar àquela descrita para a sub-bacia BC2. Entretanto, verificou-se que nesta sub-bacia há trechos do córrego Brejo Comprido com curvas fechadas, o que aponta a existência de erosão de canais (stream erosion), ainda que os dados sobre a velocidade de escoamento indicam haver competência, na maior parte do ano, para transportar material de fina granulometria.

Nesta sub-bacia há erosões lineares com diferentes estágios de desenvolvimento (algumas já avançado e com grandes dimensões e formas de "U") em pontos de afloramento da formação Pimenteiras e algumas destas erosões atingem as águas do córrego Brejo Comprido.

Sendo assim, há fortes probabilidades de que nem todo o sedimento removido pelo processo de erosão laminar chega aos canais de drenagem da sub-bacia, mas, por outro lado, há fortes indícios de que esteja ocorrendo erosões lineares e, principalmente, erosão de canal, numa taxa substancial, apesar de não haver dados sobre quantificação do aporte de sedimentos destas modalidades de erosão no presente estudo.

Dentro deste contexto há indicadores de que nesta sub-bacia os processos erosivos estejam sendo um impacto ambiental expressivo, indicando ser as modalidades lineares (ravinas e voçorocas) as que contribuem mais expressivamente no aporte de sedimentos da área.

- Sub-bacia AF3:

A sub-bacia AF3, cuja dinâmica de saída de água e sedimentos representa o resultado dos processos erosivos e sedimentológicos ocorrentes em toda a área de estudo, mostrou ser uma área cujo processo de erosão laminar parece atuar de forma branda, obtendo o menor valor esperado de volume de solo removido por esta modalidade

de erosão (23.925,0 t), mas obteve o maior valor de produção líquida anual de sedimentos, havendo deposição nos meses abril, maio e setembro. A erosão laminar apareceu com as classes de maiores taxas de perdas de solo concentradas em três regiões (FIGURA 7.15), sendo duas delas onde o relevo é suave ondulado. O relevo é, na sua maior parte, plano e na área predomina solo de textura arenosa, este sendo de fácil destacabilidade. A ocupação do espaço é notada predominantemente por propriedades agrícolas.

As erosões lineares foram notificadas com maior raridade que nas sub-bacias vizinhas desta, sendo que apareceram somente ravinas rasas, mesmo em áreas totalmente desprovidas de vegetação devido a queimadas realizadas em épocas anteriores e cuja vegetação ainda não havia se reabilitado.

Fato surpreendente foram os indicadores que apontavam possibilidade de haver forte processo de erosão no leito e nas margens dos canais da sub-bacia. A velocidade média anual de escoamento do ponto AF3 foi 1,169 m/s, com extremos 1,930 e 0,223 m/s. Esta faixa de velocidade de escoamento aponta, conforme a FIGURA 4.3, que haja um dinamismo de oscilação entre os processos de transporte e remoção de material do canal de drenagem conforme o trecho do canal de drenagem e a época do ano. Observando-se a hipsometria da área junto ao modelo de elevação digital e também alguns trechos de densa mata ciliar ao longo do ribeirão Água Fria junto a fotografia do satélite, verifica-se que os trechos com estas duas características parecem ser favoráveis ao processo de deposição de sedimentos, especialmente na época da estiagem.

Apesar disto, a erosão em canais parece ser a modalidade de erosão que contribui no aporte de sedimentos para os canais de drenagem desta sub-bacia em maior proporção, daí o fato de haver uma produção de sedimentos numa quantidade maior do que a quantidade de solo removido pela erosão laminar, o que necessitou estimar o coeficiente de remoção de sedimentos através de um método diferente daquele utilizado para as demais sub-bacias e para a área total, conforme exposto no item 7.10.4.

- Área total:

Para a área total, o coeficiente de remoção estimado foi de 6,188%, isto é, de todo o solo que é removido, 6,188% sai da bacia hidrográfica por meio das águas de drenagem superficial.

Apesar de nesta bacia hidrográfica haver indicadores que a modalidade erosão laminar é efetivamente a maior fonte de sedimentos, julga-se que não podem ser descartadas, nem do ponto de vista acadêmico/científico, nem do ponto de vista técnico - visando o planejamento de uso da área, as outras modalidades de erosão, as quais

parecem ocorrer em intensidades alarmantes em regiões específicas da área de estudo.

Comparando os valores do coeficiente de remoção entre a área de estudo (valor da área total) com coeficientes de outras bacias hidrográficas, cita-se que em M.M.A. (1997) foram apresentados valores da razão de transferência de sedimentos para oito sub-bacias localizadas na bacia do alto rio Paraguai, valores estes que oscilaram entre 1,9 e 7,0%. CARVALHO (N. O., 1994) mostra um gráfico sobre algumas retas geradas em pesquisas internacionais (FIGURA 8.3), gráfico já mostrado anteriormente (FIGURA 4.8), mas agora incluindo a reta gerada para a bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria e mostrada no item 7.10.4.

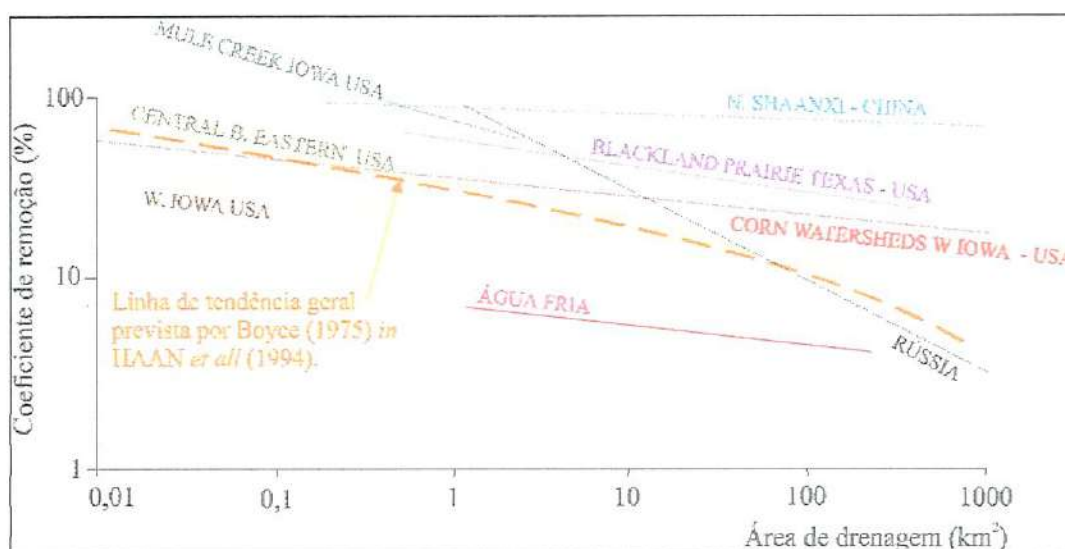


FIGURA 8.3 – Coeficiente de remoção de sedimento *versus* área de drenagem (para uso com a EUPS), agora incluindo a reta gerada para a área de estudo. (FONTES: gráfico: CARVALHO (N. O., 1994), reta de tendência geral: HAAN *et al* (1994).

Verifica-se na FIGURA 8.3 que a reta de tendência gerada para área do presente estudo situa-se abaixo das retas apresentadas no gráfico. Considerou-se tal fato normal pois, como foi visto e comentado na relação vazão-precipitação, para regiões tropicais, grande parte da água que entra no sistema (bacia hidrográfica) sai dele sob a forma de vapor d'água (por evaporação ou evapotranspiração), diminuindo a quantidade que sai por escoamento sob a forma líquida. Já nas regiões de clima temperado, a taxa de perdas de água sob a forma de vapor é menor devido ao clima e então as perdas por escoamento fluvial provavelmente são maiores, especialmente na época do descongelamento da neve, carreando também maiores quantidades de sedimento por unidade de área e resultando em maiores valores do coeficiente de remoção.

Contudo, salienta-se que tanto o parâmetro produção específica líquida de sedimentos como o coeficiente de remoção são indicadores do resultado do processo erosivo/sedimentológico de uma área e estes são parâmetros dinâmicos, isto é, podem variar de ano para ano conforme o comportamento das chuvas e das vazões dos canais de drenagem ao longo do ano, bem como variar em função do grau de intensidade de uso e ocupação do solo, o qual, conforme a área em questão, pode ser uma variável importante e que muitas vezes possui alta oscilação de forma e intensidade no tempo.

Já mencionou-se anteriormente que o valor coeficiente de remoção de sedimentos tende a ser alto na região de cabeceira e baixo na região de desembocadura (CARVALHO, N. O., 1994). O presente trabalho apresenta-se discordante com esta teoria pois, verifica-se que nas sub-bacias de cabeceiras os valores do coeficiente de remoção foram menores que os valores dos coeficientes das sub-bacias baixas, sempre aumentando conforme decresce-se a hipsometria. Muito provavelmente o fator que pode estar mais intimamente ligado a isto é o substrato geológico, o qual passa a ser mais frágil nas regiões de média e baixa bacia. Também nota-se uma intensificação do uso do solo nestas regiões, sendo também um fator importante a ser considerado na explicação do comportamento dos valores do coeficiente.

Deste modo, seguindo-se a linha de estimativa da equação 4.19, observou-se que o processo de transferência de sedimentos poderia ser quantificado mais detalhadamente se a equação 4.19 fosse desmembrada conforme mostra a equação 8.1. Cada termo da equação ainda consiste numa “caixa preta”, onde dentro de cada termo “E” (referente a cada modalidade de erosão) existe uma complexa relação: “entrada x saída” de matéria e energia, além de fatores físicos e antropogênicos (econômicos, sociais e culturais) implícitos em cada termo.

$$CR(\%) = \frac{PI}{E_{iam} + E_{rio} + E_{rav} + E_{voç} + E_{des}} * 100 \quad (8.1)$$

onde:

CR – coeficiente de remoção (%).

PI – produção líquida de sedimentos (t/ano).

E – erosões (laminar, rio, ravinhas, voçorocas, deslizamentos) – quantidade estimada de solo removido por cada modalidade de erosão e posteriormente somadas (t/ano).

Cabe dizer que, apesar de ser algo extremamente oneroso em todos os sentidos, se se conseguisse quantificar, detalhadamente, a quantidade de solo removido por cada modalidade de erosão ocorrente, muito provavelmente o valor final de perdas de solo seria maior e,

conseqüentemente, o coeficiente de remoção seria menor, além de provavelmente diminuir as chances de impossibilidade de estimativas por este método, conforme ocorreu na sub-bacia AF3.

9 – COMENTÁRIOS ADICIONAIS E ALGUMAS RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS:

O processo de erosão que vem ocorrendo na bacia hidrográfica do ribeirão Água Fria traz uma série de conseqüências ambientais, tanto no sentido da remoção do solo como no sentido do aporte de sedimentos aos canais de drenagem.

No entanto, no sentido deste problema afetar o dia-a-dia da população da área de estudo, em termos práticos e diretos, parece ainda ter pouca influência. A modalidade erosão por ravinas é a que talvez afete mais diretamente a vida das pessoas devido, muitas vezes, aos locais em que se desenvolvem (ruas de terra, algumas cortando a rua no sentido transversal e prejudicando a passagem de automóveis e bicicletas). Ainda que já houve matérias em noticiários de jornal (escrito e televisivo) sobre o desenvolvimento de voçorocas em outras regiões da cidade fora da área de estudo e com protestos e reclamações por parte da população, na área de estudo o problema não possui magnitude de proporcionar riscos à vida humana, nem tão pouco de ocasionar algum tipo de catástrofe, como desmoronamento de terras sobre moradias, por exemplo.

Um dos locais que nitidamente está sofrendo fortes conseqüências com o processo erosivo é a represa do Parque Cesamar devido à barragem que lá existe. Em função de barrar parte do sedimento carregado, a represa provavelmente estará assoreada em breve, deixando de ser uma atração turística e/ou recreativa para a população para ser um cenário de mais um descaso, caso não seja tomada nenhuma providência corretiva.

Verificou-se que a área de maior periculosidade de ocupação antrópica de toda a área de estudo é a região da Serra do Lajeado por apresentar altos índices de rugosidade topográfica, declividade acentuada, predomínio de solos altamente suscetíveis à erosão, devendo esta área ser destinada para preservação natural permanente, dada também a riqueza de cursos d'água que esta área contém, dos quais a população, tanto rural como urbana, depende. Dentro deste contexto, a criação da APA Serra do Lajeado é uma atitude bastante razoável. No entanto, como já foi discorrido anteriormente, ocorrem nesta área modalidades de uso do solo e do espaço que não deveriam ocorrer. Fruto, provavelmente, de um mau monitoramento da área pelos órgãos competentes, dando a impressão, muitas vezes, de que a atitude de criação da APA não saiu do papel. Resta então colocar em prática a existência da APA e atacar de forma mais vigorosa as atividades de preservação desta área.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria constitui-se, juntamente com a bacia hidrográfica do Ribeirão Taquarussú (localizada ao lado da área de estudo), o ponto de captação de água para abastecimento público na cidade de Palmas. Daí um primeiro e fortíssimo argumento favorável para a preservação dos mananciais destas bacias, a fim de obter-se água em quantidade e qualidade satisfatórias.

Em termos quantitativos, salienta-se uma vez mais que a região possui uma distribuição pluviométrica muito irregular e, se a isto forem somados os impactos ambientais que comprometem a vida dos cursos d'água, certamente em tempos não muito distantes serão noticiadas situações de grande escassez de água para consumo em Palmas, pois a população crescerá e a quantidade de água potável diminuirá.

Segundo TUCCI (1997): "a qualidade de água de mananciais que compõem uma bacia hidrográfica está relacionada com o uso do solo na bacia e com o grau de controle sobre as fontes de poluição". Esta frase põe em evidência toda a importância da necessidade de realizar estudos integrados e alertar as autoridades competentes da importância do planejamento do uso do solo também quando se objetiva obter água de boa qualidade.

Áreas que foram enquadradas tendo médio a alto risco à erosão laminar (áreas enquadradas nas classes dois, três e quatro do mapa de potencial natural de erosão) são as que requerem maiores cuidados no sentido preventivo, isto é, requerem maiores esforços de toda a comunidade para manter boa cobertura do solo e minimizar as perdas por erosão, além de um uso que se adeqüe à capacidade de uso dos solos existentes área. Deste modo, a tabela apresentada por RODRIGUES (1982) (TABELA 4.2) fornece informações úteis de serem aplicadas nas etapas de planejamento de uso da terra, tanto para fins rurais com para fins urbanos.

Matas ciliares são, sem sombra de dúvida, os principais sistemas de proteção dos recursos hídricos desde as nascentes até a desembocadura, atuando não só como barreira ao aporte de sedimentos vindos de áreas mais distantes como também na prevenção da erosão acelerada em canais nas áreas próximas aos canais de drenagem.

Uma característica bastante peculiar da região é de que na época da estiagem, principalmente nos meses junho e julho, ocorrem freqüentemente fortes rajadas de vento por toda a cidade, sendo que em locais onde o solo é desprotegido, há uma intensa formação de poeira. Sendo assim, sugere-se que, como complementos de estudos de erosão hídrica, seja estudada também a participação do vento na remoção de partículas de solo nesta época do ano.

Conforme visto no mapa de quadras residenciais do Plano Diretor de Palmas, está previsto um crescimento da cidade nos sentidos: sul←centro→norte, pois a oeste estará o futuro lago e a leste está a APA. Se forem respeitados os limites de ocupação previstos no plano diretor e

ainda respeitadas as áreas destinadas a preservação ambiental dentro do perímetro urbano e também no seu entorno, provavelmente a cidade enquadrar-se-á numa situação de boas condições de conservação ambiental e boas condições de qualidade de vida da população.

O processo erosivo/sedimentológico é de complexa compreensão do ponto de vista científico e muitas vezes árdua e morosa do ponto de vista da execução de campanhas de coletas de dados e estimativas de parâmetros, principalmente no sentido de agir na prevenção contra a aceleração do fenômeno da erosão. Dada esta complexidade, verificou-se, neste estudo, a necessidade da aplicação obrigatória sempre de mais de um método de estimativa dos processos para que se possa ter uma compreensão a mais clara possível do processo como um todo e fornecer subsídios os mais “palpáveis” possíveis para aplicação em programas de planejamento de uso do solo e/ou recuperação de áreas degradadas.

Neste contexto verificou-se que a técnica de geoprocessamento mostrou ser a ferramenta mais versátil dentre todas utilizadas para compreensão, de modo holístico, do processo erosivo – sedimentológico e houve casos onde, se ela não foi o principal recurso usado, foi então de grande importância para a estimativa de magnitude de ação das diferentes modalidades de erosão ocorrentes na área de estudo.

Apesar de FIGUEIREDO (1994) corretamente mencionar que em médio – longo prazo a atitude de conservar fica mais barata do que a atitude de não conservar, dentro da realidade atual e local cita-se a afirmação, não errônea, feita por TAVARES (1986): para o agricultor geralmente fica mais barato e mais prático repor os nutrientes do solo do que mantê-los e esta diferença é paga pela sociedade. Para as áreas rurais, infelizmente, julga-se esta afirmação ainda muito atual e real, dadas as condições estruturais, políticas e culturais do nosso país, sendo que para o caso da bacia hidrográfica do ribeirão Água Fria (Palmas, Tocantins) esta também parece ser uma regra em validade.

10 - CONCLUSÕES:

As seguintes conclusões são ressaltadas:

Considera-se que o objetivo geral mencionado no início deste trabalho foi atingido, ou seja, os produtos gerados no presente estudo são frutos de um processo de integração de informações sobre os processos erosivos e sedimentológicos ocorrentes na área de estudo, sendo que as informações levantadas foram sobre as características físicas e de uso do solo da bacia e o recurso de integração utilizado foi principalmente o geoprocessamento.

Considera-se alcançados também os objetivos específicos, em maior ou menor detalhe. Dentre estes objetivos, discorre-se a seguir, em algumas linhas, a sintetização, de forma conclusiva, das principais informações geradas e trabalhadas neste estudo:

Todos os parâmetros morfométricos da bacia estudados tiveram relação com dois fatores principais: movimentação do relevo e embasamento geológico.

A erosividade das chuvas da região foi considerada média a forte.

A erodibilidade dos solos (média ponderada para a área total) foi considerada média.

O relevo apresentou-se predominantemente plano com forte movimentação concentrada na alta bacia.

Enquadrou-se o potencial natural de erosão como predominantemente fraco, sendo médio a forte nas áreas de maior declividade.

A cobertura do solo, de forma geral, evidencia alteração do quadro natural da área por ação antrópica. Verificou-se que, tanto no âmbito de influência natural como no âmbito da influência antrópica sobre o local, ocorre uma diminuição da cobertura da superfície do solo na época da seca, expondo a superfície do solo à ação erosiva das gotas d'água dos primeiros eventos chuvosos, fato evidenciado pelo comportamento dos valores dos parâmetros sedimentológicos estudados.

Constatou-se que a queimada nas áreas central e periférica da parte urbana do município de Palmas constitui o principal processo de diminuição da cobertura vegetal da região e que esta é feita geralmente por motivos culturais, sendo freqüentemente detectadas áreas com queimadas onde, seguramente, não havia necessidade nenhuma da limpeza da área.

O quadro caótico de ocupação do espaço encontrado na área da periferia urbana parece influenciar na aceleração do processo erosivo exclusivamente pelo modo que a área vem sendo ocupada, com muitas ruas em terra (passagens para veículos não prevista pelos órgãos públicos),

queimadas e ainda construções, nem sempre de alvenaria, feitas em locais impróprios.

O processo de degradação de mata ciliar é muito variável ao longo dos cursos d'água, aparecendo trechos com boas condições de conservação e trechos em situação de degradação já avançada. Os principais motivos da destruição, variável conforme a localidade, são: 1) para facilitar o trânsito entre as regiões da cidade ("atalhos"); 2) para aproveitar a porção de solo mais fértil e úmido para plantar; 3) Para aproveitar as águas dos córregos para alguma atividade, seja lavagem de roupas e/ou carros, seja para recreação (banho e pesca) ou para captação de água de maneira informal.

Praticamente inexistem práticas conservacionistas no sentido de prevenção do processo erosivo por toda a área.

Estimou-se a expectativa de erosão laminar como sendo, de um modo geral, de média intensidade. É predominantemente fraca mas apresenta regiões quase que pontuais no mapa com expectativa de altas taxas de perdas anuais.

O embasamento geológico da região é fator determinante principalmente no sentido de desencadear o processo da erosão linear, sendo o embasamento formado pelas formações sedimentares notadamente mais erodíveis que o embasamento de natureza metamórfica.

As águas superficiais da área de estudo mostraram um quadro sanitário de classe I, dentro dos parâmetros estudados no presente trabalho.

Março foi o mês de maior vazão observada para todas as sub-bacias. Os menores valores de vazão foram observados principalmente nos meses de setembro e outubro.

A estimativa do transporte de sedimento, realizada nesta bacia hidrográfica pela primeira vez, resultou no índice de produção específica líquida de sedimentos considerado pouco acima dos valores médios estimados mundialmente. Porém são considerados normais dadas as condições do tipo de cobertura vegetal predominante (do tipo cerrado), bem como dos tipos de solo ocorrentes, especificamente daquele ocorrente nas calhas dos cursos d'água (predominantemente solo concrecionário).

Infer-se que a relação erosão – aporte de sedimentos ocorrente na bacia ocorra da seguinte forma: a erosão laminar é, em termos gerais, a principal modalidade de erosão contribuinte, em taxas variáveis sazonal e espacialmente, do total de sedimentos carregados para os canais de drenagem, mais notadamente da fração fina, especialmente de natureza coloidal. A relação material em suspensão – material de arraste, junto com as informações de sólidos sedimentáveis, reforçam a validade desta proposição.

As erosões lineares ocorrem geralmente próximas aos canais de drenagem e contribuem com a fração fina e grosseira, esta última dificilmente é transportada pelas águas dos córregos dada a baixa

competência que as águas geralmente possuem para transporte de material grosseiro.

As erosões de canais (rios) parecem ocorrer com intensidades expressivas em trechos onde a curvatura do canal é abrupta, com pouca proteção de mata no local e onde o solo possui natureza granulométrica que proporciona alta destacabilidade. Esta modalidade de erosão contribui com as frações fina e grosseira de sedimentos.

A EUPS mostrou ser no presente estudo, um poderoso e útil modelo de integração de dados oriundos de diferentes bases, uma vez que foi aplicada através de recursos de geoprocessamento, o que permitiu resultados em curto espaço de tempo e de forma abrangente dentro do contexto do espaço geográfico, ecológico e ainda de uso e manejo antrópico, que é a bacia hidrográfica.

O parâmetro coeficiente de remoção de sedimentos foi bastante variável entre as sub-bacias devido a variabilidade da modalidade de erosão que contribui, de forma predominante, no aporte de sedimentos, conforme a sub-bacia.

A bacia do ribeirão Água Fria obteve a reta de tendência, bem como seu valor final do coeficiente de remoção, pouco abaixo daqueles previstos em bacias de climas temperados, provavelmente devido a relação precipitação-vazão-evaporação ocorrente na área, a qual é diferente daquela geralmente reportada nas regiões de clima temperado.

- Observação adicional:

Ainda que grande parte de todo o trabalho tenha sido feita com técnicas de geoprocessamento e dados informatizados, sendo uma etapa crucial no trabalho, crucial também foi a etapa de levantamento de dados obtidos em campo, sendo este estudo mais uma prova daquilo que os cientistas vem falando há tempos e ainda falarão: "Por mais que os recursos tecnológicos se desenvolvam, nós, cientistas, seremos eternos escravos de trabalhos no campo".

11 - BIBLIOGRAFIA REFERENCIADA:

- ACIESP (ACADEMIA DE CIÊNCIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO) - 1987 - Glossário de Ecologia. 1ª edição (definitiva). Publicação ACIESP nº 57 - ACIESP/CNPq/FAPESP/Secretaria da Ciência e Tecnologia, 271 p.
- ANDERSON, D. M. & MACDONALD, L. H. - 1998 - Modeling road surface sediment production using a vector geographic information system. Earth surface processes and landforms. Vol. 23, nº 2.p. 95 - 107.
- ANGULO, R. J.; ROLOFF, G. & SOUZA, M. L. P. - 1984 - Relações entre a erodibilidade e agregação, granulometria e características químicas de solos brasileiros. Rev. Bras. de Ciência do Solo. 8 (1). p. 133-138.
- ASSIS, R. B. - 1995 - Gerenciamento de bacias hidrográficas - Descentralização. p. 122 - 129. In TAUKE-TORNISIELO, S. *et al.* - 1995 - Análise Ambiental - estratégias e ações. Fundação Salim Farah Maluf. São Paulo - SP. 381 p.
- AZEVEDO, E. C. de; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. da; SILVA, J. G. M. da - 1996 - Carbono orgânico solúvel no deflúvio de microbacias hidrográficas cobertas com mata nativa, pastagem e *Eucalyptus grandis*. Revista Ceres. Viçosa - MG. vol. 43, nº 250. p. 755 - 767.
- AZEVEDO NETTO, J. M. de - 1991 - Manual de saneamento de cidades e edificações. PINI Editora. São Paulo - SP. 229 p.
- BARROS, R. R. - 1997 - Levantamento quantitativo e qualitativo de agrotóxicos utilizados no município de Palmas. Monografia - graduação em Engenharia Ambiental. UNITINS "campus" universitário de Palmas. Palmas - TO. 46 p.
- BARROS, W. D. - 1956 - A Erosão no Brasil. Coleção Mauá - Ministério da Viação e Obras Públicas. 350 p.
- BEASLEY, R. P. - 1972 - Erosion and Sediment Pollution Control. The Iowa State University Press. 1st edition. 320 p.

- BELLINAZZI Jr., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. & LEPSCH, I. F. – 1991 – Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas, SP. 2ª reimpressão (revisada). Soc. Bras. de Ciência do Solo. 176 p.
- BELTRAME, A. da V. – 1994 – Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas – modelo e aplicação. Editora da UFSC. 112 p.
- BERTOLINI, D. & LOMBARDI NETO, F. – 1993 – Manual Técnico de Manejo e Conservação do Solo e Água – Embasamento Técnico do Programa de Microbacias Hidrográficas. Manual CATI nº 38. Campinas – SP. 15 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO F.- 1990 - Conservação do solo. Editora Ícone - SP, 335 p.
- BEZERRA, N. L. & SOUZA, S. M. - 1997 - Planejamento ambiental da bacia do Ribeirão Água Fria na área de planejamento. Monografia de disciplina (graduação em engenharia ambiental - UNITINS) - Palmas-TO. 36 p.
- BISCAIA, R. C. M.; RUFINO, R. L. & HENKLAIN, J. C. – 1981 – Cálculo de erodibilidade (fator K) de dois solos do estado do Paraná. Rev. Bras. de Ciência do Solo. 5 (3). p. 183 – 186.
- BLACK, P. E. - 1991 - Watershed hydrology. Prentice-Hall Inc. New Jersey, USA. 408 p.
- BRAGAGNOLO, N. - 1994 - Uso dos solos altamente suscetíveis à erosão. p. 3 -16. *In* FERREIRA, M. E. e CRUZ, M. C. P. – 1994 – Solos Altamente Suscetíveis à Erosão. FCAV-UNESP. Jaboticabal - SP. Soc. Bras. de Ciência do Solo, 253 p.
- BRIGAGÃO, C. – 1992 – Dicionário de Ecologia. Topbooks. Rio de Janeiro, RJ. 344 p.
- CALIJURI, M. L - 1996 - Sistemas de informação geográfica. Apostila do curso sobre sistemas de informação geográfica ministrado no programa de pós-graduação “Ciências da Engenharia Ambiental” na Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo (EESC - USP). 115 p.

- CARVALHO, A. P. - 1994 - Solos do arenito Caiuá. p. 39 - 50. *in* PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E. e CRUZ, M. C. P. - 1994 - Solos Altamente Suscetíveis à Erosão. FCAV - UNESP/Jaboticabal - Soc. Bras. de Ciência do Solo, 253 p.
- CARVALHO, N de O. - 1994 - Hidrossedimentologia Prática. CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais. Rio de Janeiro – RJ. 372 p.
- CARVALHO, N de O. - 1998 – Assoreamento e proteção de reservatórios. 6º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Presidente Prudente – SP. Resumos em CD – rom.
- CASTRO FILHO, C. - 1994 - A experiência em microbacias no arenito Caiuá. p. 159 -168. *in* PEREIRA, V. P FERREIRA, M. E. e CRUZ, M. C. P. - 1994 - Solos Altamente Suscetíveis à Erosão. FCAV-UNESP/Jaboticabal - Soc. Bras. de Ciência do Solo, 253 p.
- CAVALCANTE, M. L. A. - 1998 - Geografia do Tocantins - 1º grau – 2ª fase. 1ª edição. Governo do Estado do Tocantins / SEBRAE, 91 p.
- CESAR NETO, J. C. - 1988 - Política dos Recursos Hídricos: instrumento de mudança. São Paulo: Pioneira: Novos Umbrais/ Editora da Universidade de São Paulo. 93 p.
- CHAVES, L. H. M. – 1991 – Análise global de sensibilidade dos parâmetros da equação universal de perda de solo modificada (MUSLE). Rev. Bras. de Ciência do Solo. vol. 15. p. 345 - 350.
- CHAVES, L. H. M. - 1995 - Aplicação de modelos na previsão da erosão. Resumo da mesa redonda. 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. ANAIS - Boletim de Campo. Bauru - SP. p. 49 - 54.
- CHRISTOFOLETTI, A. – 1969 - Análise morfométrica das bacias hidrográficas. Notícia Geomorfológica. 9 (18), p. 35-64.
- CHRISTOFOLETTI, A. – 1970 - Análise morfométrica das bacias Hidrográficas do Planalto de Poços de Caldas (MG). Tese de Livre-Docência. Faculdade de Filosofia Ciências e Letras. Rio Claro - SP. 215 p.

- CHRISTOFOLETTI, A. - 1974 - Geomorfologia. Editora Edgard Blücher, São Paulo, SP, 149 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. - 1981 - Geomorfologia Fluvial. Editora Edgard Blücher, São Paulo, SP, 313 p.
- CHRISTOFOLETTI, A.; GUERRA, C. E. C.; MAGNAVITA, I. M. P.; MARTINS, M. R. & TAVARES, A. C. - 1981 - Contribuição à análise morfométrica das regiões das bacias do Jequitinhonha e Extremo Sul, no estado da Bahia. Notícia Geomorfológica. 21 (41), p. 61 - 84.
- CLÜSENER, G. M. & SACHS, I. - 1995 - Brazilian perspectives on sustainable development of the Amazon region. UNESCO. Paris - France. 311 p.
- COELHO NETO, A. L. - 1994 - Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. - 1994 - Geomorfologia - uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro, RJ. Editora Bertrand Brasil. 458 p.
- CONSTANTIN, A. M. - 1998 - Detecção de patógenos e quantificação de indicadores de poluição nas lagoas de estabilização do aterro sanitário de Palmas e Ribeirão Água Fria, a montante e a jusante do aterro. Monografia - (graduação em Engenharia Ambiental). UNITINS "campus" universitário de Palmas. Palmas - TO. 32 p.
- CORREA, A. A. M. - 1995 - Agricultura Sustentável - enchentes - conservação do solo. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Vol 20 nº2.
- CRUZ, R.; SILVA, M. & CAVAGUTI, N. - 1995 - Impactos de erosões nos recursos hídricos: Análise de dois casos. 5^o Simpósio Nacional de Controle de Erosão. ANAIS. Bauru - SP. p. 451 - 453.
- DAJOZ, R. - 1978 - Ecologia geral. 3ª edição. Editora Vozes Ltda. Petrópolis, RJ. 464 p.

- DESMET, P. J. J. & GOVERS, G. - 1996 - A GIS procedure for automatically calculating LS factor on topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water Conservation. 51 (5). September - October / 1996; p. 427 - 433.
- DNOS (DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS DE SANEAMENTO) - 1972 - Relatório do estudo para o controle da erosão no noroeste do estado do Paraná. Curitiba - PR, 167 p.
- D.S.G. - Departamento de Serviços Geográficos - Ministério do Exército - Brasil - 1979 - Carta topográfica folha SC 22 - Z - B - III - "Vila Canela". Escala 1:100.000.
- EASTMAN, J. R. - 1995 - Idrisi for Windows - User's Guide. Graduate School of Geography, Clark University. Worcester - Massachusetts, USA.
- EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; GREEBERG, A. E. - 1995 - Standard Methods for examination of water and waste water. 19th edition. Maryland - USA.
- ENGER, E. D. & SMITH, B. F. - 1995 - Environmental Sciences - A study of Interrelationships. 5th Edition. Wm Brown Publishers. USA. 431 p.
- ESTEVES, F. A. - 1988 - Fundamentos de Limnologia. Editora Interciência: FINEP. Rio de Janeiro, RJ. 575 p.
- FAO (FOOD and AGRICULTURE ORGANIZATION of the UNITED NATIONS) - 1993 - Field measurement of soil erosion and runoff. FAO Soils bulletin 68. Roma, Italy. 139 p.
- FENDRICH, R.; OBLADEN, N.; AISSE, M. M. & GARCIAS, C. M. - 1988 - Drenagem e controle da erosão urbana. EDUCA- Editora da PUC - PR. 442 p.
- FIGUEIREDO, R. B. - 1994 - Engenharia social: soluções para áreas de risco. São Paulo, SP. Makron Books, 251 p.

- FONSECA, J.J.L.; GONÇALVES, J. F. Jr; CALLISTO, M. - 1996 – C, N, P e composição granulométrica do sedimento em quatro ecossistemas lóticos amazônicos sob influência de uma mineração de bauxita. Cadernos de Resumos do VIII Seminário Regional de Ecologia do Programa de Pós - Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos-SP, p. 65.
- GALETI, P. A. - 1972 - Conservação do solo: Reflorestamento – Clima. IMPRES - Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. Campinas, SP. 279 p.
- GANDOLFI, N. – 1971 – Investigações sedimentológicas, morfométricas e físico-químicas nas bacias do Moji-Guaçu, do Ribeira e do Peixe. Tese (Livre-Docência). Departamento de Geologia e Mecânica dos Solos. Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos – SP. 108 p.
- GARCEZ, L. N. - 1967 - Hidrologia. Editora Edgard Blücher Ltda, 249 p.
- GARCIA, G. J. - 1996 - Avaliação de Terras para Uso não Agrícola. Conferência ministrada no XIII Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo. Águas de Lindóia - SP. Resumos em CD-rom.
- GARCIA, G. J. & ZAINÉ, M. F. – 1996 – Modelagem de cenários agrícolas a partir de estimativas de perda de solos por erosão. Geociências. São Paulo, SP. vol. 15, nº 2. p. 355 – 366.
- GRUPO QUATRO - 1991 - Plano Diretor de Palmas - Revisão e atualização. Escala 1:20.000. Prefeitura Municipal de Palmas. Empresa Grupo Quatro - Palmas-TO.
- HAAN, C. T.; BARFIELD, B. J.; HAYES, J. C. – 1994 – Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments. Academic Press – USA. 588 p.
- HOGLAND, W. – 1994 – Hydrological and environmental effects of agricultural and urban activities in a small swedish river basin. Nordic Hydrology. vol. 25, nº 4. p. 247 – 266.
- HOLÝ, M. - 1980 - Erosion and Environment. Environmental Sciences and Applications, vol. 9. Pergamon Press. 225 p.

- INBAR, M.; TAMIR, M. & WITTENBERG, L. – 1998 – Runoff and erosion processes after a forest fire in Mount Carmel, a Mediterranean area. Geomorphology. vol. 24 nº 1, p. 17 – 33.
- JORGE, J. A. - 1969 - Solos: manejo e adubação. Edições Melhoramentos. Editora da Universidade de São Paulo. 225 p.
- KUSUMANDARI, A. & MITCHELL, B. – 1997 – Soil erosion and sediment yield in forest and agroforestry areas in West Java, Indonesia. Journal of Soil and Water Conservation. Vol. 52 nº 4. p 376 - 380.
- LAJCZACK, A. & JANSSON, M. B. - 1993 - Suspended Sediment Yield in the Baltic Drainage Basin. Nordic Hydrology. vol. 24 nº 1, p. 31-52.
- LARSON, W. E.; LINDSTROM, M. J.; SCHUMACHER, T. E. – 1997 - The role of severe storms in soil erosion: A problem needing consideration. Journal of Soil and Water Conservation. mar/apr . vol.52, nº 2. p. 90 - 95.
- LAZARO, T. R. - 1990 - Urban Hydrology. A Technomic Publishing Company book. Revised Edition. Pennsylvania, U.S.A.. 241 p.
- LEINZ, V. & AMARAL, S. E. do – 1989 – Geologia Geral. 11ª edição. Editora Nacional. São Paulo, SP. 399 p.
- LEITE, A. G. - 1999 - Estudo sobre a infiltração e análises de algumas propriedades físicas e químicas de unidades de solos ocorrentes na bacia do Ribeirão Água Fria - Monografia – (graduação em Engenharia Ambiental). Universidade do Tocantins (UNITINS). Palmas – TO. 41 p.
- LEMOS, R. C. de & SANTOS, R. D. – 1996 – Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3ª edição. Campinas, SP. 84 p.
- LEPRUN, J. C. – 1993 – Influência da vegetação no escoamento de água em diferentes escalas nas regiões brasileiras. Iº Simpósio Brasileiro de Pesquisa Florestal. Belo Horizonte – MG. p. 280 – 298.
- LEPSCH, I. F. – 1993 – Solos: Formação e conservação. Série Prisma. Editora Melhoramentos. São Paulo, SP. 157 p.

- LIEBMANN, H. - 1979 - Terra: um planeta inabitável? Biblioteca do Exército Editora. Publicação 488, volume 167, 180 p.
- LIMA, E. R. V.; KUX, H. J. H.; SAUSEN, T. M. - 1992 - Sistema de informações geográficas e técnicas de sensoriamento remoto na elaboração de mapa de riscos de erosão no sertão da Paraíba. Rev. Bras. de Ciência do Solo - 16. p. 257 - 263.
- LLORET RAMOS, C. - 1995 - A erosão urbana no contexto dos sistemas de drenagem. Resumo da mesa redonda. 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. ANAIS - Boletim de Campo. Bauru - SP. p. 101 - 103.
- LOPES, A. F. - 1994 - Manejo: Aspectos químicos. p. 79 - 111. *in* PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E. e CRUZ, M. C. P. - 1994 - Solos Altamente Suscetíveis à Erosão. FCAV-UNESP/Jaboticabal - Soc. Bras. de Ciência do Solo, 253 p.
- LOPES, P. R. C.; COGO, N. P. & CASSOL, E. A. - 1987 - Influência da cobertura vegetal morta na redução da velocidade da enxurrada e na distribuição de tamanho dos sedimentos transportados. Rev. Bras. de Ciência do Solo - 11. p. 193 - 197.
- LOPES, P. R. C. & BRITO, L. T. L. - 1993 - Erosividade da chuva no médio São Francisco. Rev. Bras. de Ciência do Solo - 17 (1). p. 129 - 133.
- MACEDO, J. - 1994 - Solos dos cerrados. p. 69 -76. *in* PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E. e CRUZ, M. C. P. - 1994 - Solos Altamente Suscetíveis à Erosão. FCAV-UNESP/Jaboticabal - Soc. Bras. de Ciência do Solo, 253 p.
- McCAULL, J.; CROSSLAND, J. - 1974 - Water Pollution. Scientists' Institute for Public Information. 206 p.
- MARGOLIS, E.; SILVA, A. B. da & JACQUES, F. de O. - 1985 - Determinação dos fatores da equação universal de perda de solo para as condições de Caruaru (PE). Rev. Bras. de Ciência do Solo. 9. p. 165-169.

- MARQUES, J. Q. de A.; GROHMANN, F.; BERTONI, J.; ALENCAR, F. M. A. de - 1951 - Algumas conclusões gerais preliminares das determinações de perdas por erosão realizadas em São Paulo. Anais da 3ª Reunião Brasileira de Ciência do Solo. 2º Tomo. Recife – PE. julho / 1951. p. 775 - 804.
- MELLO, N. A. – 1995 – Gestão urbana e a qualidade de vida. p. 193 - 198. In TAUKE-TORNISIELO, S. *et al.* - 1995 - Análise Ambiental - estratégias e ações. Fundação Salim Farah Maluf. São Paulo - SP. 381 p.
- MERTEN, G. H. - 1995 - Uso agrícola do solo no Paraná - Impactos ambientais. p. 297 – 300. In TAUKE-TORNISIELO, S. *et al.* - 1995 - Análise Ambiental - estratégias e ações. Fundação Salim Farah Maluf. São Paulo - SP. 381 p.
- MITCHELL, J. K. & BUBENZER, G. D. - 1980 - Soil loss estimation. (Chapter 2 (p. 17 - 62)) in KIRKBY, M. J. & MORGAN, R. P. C. - 1980 - Soil erosion. John Wiley & Sons Ltd.
- M. M. A. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E DA AMAZÔNIA LEGAL) – 1997 – Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai. Volume II – tomo II-A - Sedimentologia. Brasília – DF. 394 p.
- MORGAN, R. P. C. - 1986 - Soil erosion and its control. Van Nostrand Reinhold Soil Science Series. A Hutchinson Ross Publication - New York - USA. 311 p.
- MOTA, S. - 1995 - Preservação e conservação dos Recursos Hídricos. 2ª edição. ABES, Rio de Janeiro, RJ. 187 p.
- NASCIMENTO, F. L. - 1995 - Experiências com Microbacias em Mato Grosso do Sul. 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. ANAIS. Bauru - SP. p. 89 - 91.
- NEGREIROS NETO, J. V. - 1997 - Mapeamento da erosividade das chuvas do estado do Tocantins. Monografia - Curso de especialização em Fitotecnia - Fundação Universidade do Tocantins - Centro Universitário de Gurupi. Gurupi - TO.

- NEPSTAD, D. C. *et al.* - 1997 - Land-use in Amazonia and the Cerrado of Brazil. Ciência e Cultura. 49 (1/2) jan/abr. p. 73 - 86.
- NIMER, E. - 1979 - Climatologia do Brasil - Série Recursos Naturais e Meio Ambiente, nº 4. Fundação IBGE. 421 p.
- NOVO, E. M. L. M. - 1992 - Sensoriamento Remoto - Princípios e aplicações. 2ª edição. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, SP, 308 p.
- ODUM, E. P. - 1988 - Ecologia - Editora Guanabara - Rio de Janeiro, 434 p.
- OLIVEIRA JR., R. C. de & MEDINA, B. F. - 1990 - A erosividade das chuvas em Manaus (AM). Rev. Bras. de Ciência do Solo, 14 (2), p. 235 - 239.
- OLIVEIRA, M. A. T. & MEIS, M. R. M. - 1985 - Relações entre geometria do relevo e formas de erosão linear acelerada (Bananal, SP). Geociências. São Paulo. Vol 4. pág. 87 - 99.
- PEREIRA, J. C. & MOLINARI A. - 1995 - Experiências com microbacias em Santa Catarina. Resumo da mesa redonda. 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. ANAIS - Boletim de Campo. Bauru - SP. p. 85 - 88.
- PIÃO, A. C. - 1995 - Transporte de nitrogênio, fósforo e sedimentos pelo Ribeirão dos Carrapatos (Município de Itaí - SP), sua relação com usos do solo e outros impactos antropogênicos e a sua deposição no braço do Taquari (Represa de Jurumirim). Tese (doutorado em "Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos (EESC - USP). São Carlos, SP. 192 p.
- POPP, J. H. - 1988 - Geologia geral. 4ª edição. LTC editora Ltda. São Paulo, SP. 299 p.
- PRADO FILHO, J. F. & SELBACH, P. A. - 1988 - Nitrogênio inorgânico em águas de escoamento superficial. Ambiente - Rev. CETESB de Tecnologia. Vol. 2, Nº 2. p. 84 - 87.
- PRADO, H. do - 1991 - Manejo dos solos: descrições pedológicas e suas implicações. Editora Nobel S. A. 116 p.

- PRANDINI, F. L. & NAKASAWA, V. A. – 1995 – A erosão urbana, algumas considerações. 5^o Simpósio Nacional de Controle de Erosão. ANAIS. Bauru - SP. p. 95 - 96.
- PRIMAVESI, A. M. - 1987 - Manejo ecológico do solo: A agricultura em regiões tropicais. 9^a edição. Editora Nobel. São Paulo, 549 p.
- PRUSKI, F. F.; FURUKAWA, C.; DA COSTA, L. M.; FONTES, L. E. F.; NETTO, A. M. - 1993 - Análise do escoamento superficial, sob condições de irrigação, em solos com e sem cobertura - Anais do XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. - 1993. Vol. IV, p. 2352 - 2357.
- RADAMBRASIL, PROJETO – 1981 – Levantamento dos recursos naturais. Folha SC 22 – Tocantins. 520 p.
- RANIERI, S. B. L.; SPAROVECK, G. SOUZA, M. P., DOURADO NETO, D. – 1996 – Alteração no risco de erosão em uma bacia hidrográfica em função de cenários de uso da terra via sistema de informações geográficas. XIII Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo. Águas de Lindóia - SP – Resumos em CD-rom.
- RANZANI, G. – 1998 – Mapa de solos do município de Palmas – TO. Escala 1:100.000. Em fase de publicação.
- RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A. & PORTER, J. P. – 1991 – Revised Universal Soil Loss Equation. Journal of Soil and Water Conservation. Jan./Fev. 1991. p. 30 – 33.
- RILEY, S. J. – 1998 – The sediment concentration-turbidity relation: its value in monitoring at Ranger Uranium Mine, Northern Territory, Australia. Catena. Vol. 32. nº 1. p. 1 – 14.
- RODRIGUES, J. E. – 1982 – Estudos de fenômenos erosivos acelerados - Boçorocas. Tese – (Doutorado em Engenharia dos Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos – SP. 162 p.
- RODRIGUES, R. – 1995 – Erosão em estradas: problema a ser resolvido. Resumo da mesa redonda. 5^o Simpósio Nacional de Controle de Erosão. ANAIS - Boletim de Campo. Bauru - SP. p. 93 - 94.

- ROLOFF, G.; MERTEN, G.; DEDECEK, R. & CHAVES, L. H. M. – 1992 - Validação de método indireto para determinação do fator “C” da USLE - Resumos da IX Reunião Brasileira de manejo e conservação do solo e da água. Jaboticabal - SP. p 87.
- SANTANA, W. R. – 1997 – Análise multitemporal da cobertura vegetal e uso do solo na microbacia do Ribeirão São João, utilizando sensoriamento remoto. Monografia (graduação em Engenharia Ambiental). UNITINS “campus” universitário de Palmas. Palmas – TO. 68 p.
- SILVA, A. M. - 1997 - Eficácia de resíduos vegetais de podas de praças e ruas usados como cobertura morta no controle da erosão hídrica. Dissertação - mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. 188 p.
- SILVA, A. M. & SCHULZ, H. E. - 1996 - Eficácia de resíduos vegetais usados como cobertura morta no controle do desprendimento das partículas do solo - Resumos do XIII Congresso Latino Americano de Ciência do Solo “Solo-Suelo” - Águas de Lindóia - SP. Resumos em CD-rom.
- SILVA, I. F.; ANDRADE, A. P. & CAMPOS FILHO, O. R. – 1986 – Erodibilidade de seis solos do semi-árido paraibano obtida com chuva simulada e método nomográfico. Rev. Bras. de Ciência do Solo, 10, p. 283 - 287.
- SILVA, J. X. & CARVALHO FILHO, L. M. – 1995 - Sistema de informação geográfica: uma proposta metodológica. p. 329 – 344. *In* TAUK-TORNISIELO, S. *et al.* - 1995 - Análise Ambiental - estratégias e ações. Fundação Salim Farah Maluf. São Paulo - SP. 381 p.
- SILVA, L. P. - 1997 - Identificação de áreas suscetíveis à erosão – Área de proteção ambiental Serra dos Parecis. Revista Fator GIS, ago/set/out-1997. p. 18 - 20.
- SILVA, O. B. - 1997 - Breve história do Tocantins. Editora Araguaína - FIETO. 262 p.

- SILVA, T. M. - 1988 - Contribuição ao planejamento ambiental da Bacia do Rio Faria - Timbó: O uso das encostas. Caderno de Geociências. nº 1. p. 15 - 21.
- SPAROVEK, G. - 1996 - Erosão do solo e a produtividade das culturas. Conferência ministrada no XIII Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo. Águas de Lindóia-SP - Resumos em CD-rom.
- SPAROVEK, G.; TERAMOTO, E. R.; TORETA, D. M.; ROCHELE, T.C.P.; SHAYER, E.P.M. - 1991 - Erosão simulada e a produtividade da cultura do milho. Rev. Bras. de Ciência do Solo, 15, 363-368.
- STEIN, D. P. - 1995 - Diagnóstico de erosão. Anais do 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Bauru - SP, p. 55 - 57.
- TAVARES, A. C. - 1986 - A erosão dos solos no contexto da análise ambiental - O exemplo do alto curso do Rio São José dos Dourados. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras, Ciências e História da Universidade de São Paulo (F.F.L.C.H. - USP/SP), 254 p.
- TÁVORA, M. R. P.; SILVA, J. R. C. & MOREIRA, E. G. S. - 1985 - Erodibilidade de dois solos da região de Ibiapaba, estado do Ceará. Rev. Bras. de Ciência do Solo. 9 (1). p. 59 - 62.
- TEIXEIRA, E. C. - 1995 - Erosão nos meios urbanos: Prevenção e Controle. Anais do 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Bauru - SP, p. 33 - 35.
- TIVY, J. - 1990 - Agricultural Ecology. Longman Scientific & Technical. England. 288 p.
- TUCCI, C. E. M. - 1997 - Hidrologia - Ciência e Aplicação - Porto Alegre - RS. Editora da Universidade (UFRGS) / Edusp/ ABRH. 943 p.

- VALÉRIO FILHO, M. - 1994 - Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de Bacias Hidrográficas. p. 223-242. *in* FERREIRA, M. E. e CRUZ, M. C. P. - 1994 - Solos Altamente Suscetíveis à Erosão. FCAV- UNESP/Jaboticabal - Soc. Bras. de Ciênc. do Solo, 253 p
- VASCONCELOS, H. P.; LANDERS, J. N. - 1994 - Agricultura sustentável no Cerrado. p. 181 - 203. *in* FERREIRA, M. E. e CRUZ, M. C. P. - 1994 - Solos Altamente Suscetíveis à Erosão. FCAV-UNESP/Jaboticabal - Soc. Bras. de Ciênc. do Solo, 253 p.
- VIEIRA, L. S. - 1988 - Manual da Ciência do Solo: com ênfase nos solos tropicais. São Paulo, SP. Editora Agronômica Ceres. 2ª edição. 464 p.
- VILAR, O. M. & PRANDI, E. C. - 1993 - Erosão dos solos. p. 177 - 206. *in* CINTRA, J. C. & ALBIERO, J. H. - 1993 - Solos do interior de São Paulo. ABMS / Depto de Geotecnia - EESC - USP - São Carlos - SP, 399 p.
- VINK, A. P. A. - 1975 - Land use in Advancing Agriculture. Springer- Verlag Berlin Heidelberg New York. 394 p.
- WARD, A. D. & ELLIOT, W. J. - 1995 - Environmental hydrology. Lewis Publishers. USA. 462 p.
- WILSON Jr., G. - 1996 - Quando os sedimentos se tornam poluentes. IIº ENES - Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Setembro, 1996. Rio de Janeiro - RJ. p. 199 - 208.
- WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. - 1978 - Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Supersedes Agriculture Handbook nº 282. Science and Education Administration United States Department of Agriculture. 58 p.
- ZACHAR, D. - 1982 - Soil Erosion. Developments in Soil Science 10. Elsevier Scientific Publishing Company, Czechoslovakia, 547 p.

- ANEXOS -

Valores indicando a proximidade de cada sub-bacia em relação a uma determinada forma geométrica:

	Triângulo	Círculo	Retângulo
AF1	0,406	<i>0,386</i>	0,397
AF2	0,333	0,326	<i>0,250</i>
AF3	<i>0,419</i>	0,662	0,538
S1	0,463	0,523	<i>0,340</i>
S2	0,414	0,482	<i>0,355</i>
BC1	0,415	<i>0,236</i>	0,243
BC2	0,446	<i>0,363</i>	0,376
BC3	0,533	0,509	<i>0,422</i>
Área total	0,410	<i>0,240</i>	0,284

Números em *itálico* - menor valor; é correspondente a respectiva figura geométrica.

Tabelas seguintes:

Quadros-resumo da medição da descarga sólida, realizada pelo método simplificado de Colby, para cada mês:

Unidades de cada parâmetro:

Largura e profundidade média da secção transversal do rio – metro (m).

Área da secção transversal do rio – metro quadrado (m²).

Velocidade média de escoamento – metros por segundo (m/s).

Concentração – partes por milhão (ppm).

Vazão líquida (Q) – metros cúbicos por segundo (m³/s).

Descarga sólida medida (DM), não medida (DÑM) e total (DST) – toneladas por dia (t/dia).

- Sub-bacia AF1 -

Mês	Larg.	Prof. Média	Área	Vel. Média	Concent.	DESCARGA			
						Q	DM	DÑM	DST
Fev	6,675	0,493	3,329	0,216	4.107,000	0,720	255,488	1,506	256,994
Mar	6,645	0,758	5,367	0,349	609,000	1,873	98,553	1,229	99,782
Abr	6,750	0,478	3,057	0,201	641,000	0,614	34,005	0,472	34,477
Mai	6,080	0,488	2,881	0,161	750,000	0,464	30,067	0,304	30,371
Jun	5,755	0,397	2,217	0,095	271,000	0,090	2,107	0,201	2,309
Jul	5,430	0,383	0,027	0,013	213,330	0,026	0,479	0,174	0,653
Ago	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Set	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Out	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nov	3,805	0,277	1,214	0,166	864,000	0,201	15,010	0,152	15,162
Dez	4,500	0,462	2,128	0,409	389,667	0,869	29,264	1,256	30,519
Jan	5,360	0,366	2,147	0,516	230,330	1,107	22,030	2,144	24,174
Fev	7,255	0,427	2,989	0,214	652,000	0,640	36,031	0,189	36,220

- Sub-bacia AF2 -

Mês	Larg.	Prof. Média	Área	Vel. média	Concent.	DESCARGA			
						Q	DM	DÑM	DST
Fev	7,000	0,684	4,673	0,172	4.841,000	0,960	401,532	1,050	402,582
Mar	5,905	0,907	5,686	0,409	282,000	2,323	56,599	1,251	57,851
Abr	5,415	0,664	1,015	0,290	767,000	1,015	67,263	0,983	68,246
Mai	5,850	0,513	2,914	0,216	2.188,000	0,629	118,908	3,276	122,184
Jun	4,110	0,404	1,584	0,095	321,000	0,150	4,171	0,185	4,356
Jul	3,890	0,398	1,433	0,020	195,000	0,029	0,487	0,136	0,623
Ago	2,000	0,120	0,180	0,063	919,000	0,011	0,900	0,086	0,986
Set	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Out	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nov	4,365	0,470	1,919	0,048	377,000	0,092	2,996	0,223	3,218
Dez	5,665	0,527	2,742	0,233	396,333	0,640	21,904	0,493	22,397
Jan	5,740	0,637	3,596	0,355	627,500	1,277	69,218	1,515	70,733
Fev	5,460	0,701	4,006	0,308	318,000	1,232	33,858	0,734	34,592

- Sub-bacia AF3 -

Mês	Larg.	Prof. Média	Área	Vel. Méd	Concent.	DESCARGA			
						Q	DM	DÑM	DST
Fev	9,750	0,377	3,485	1,719	3.230,000	5,991	1.671,920	204,750	1.876,670
Mar	14,250	0,474	6,518	1,935	1.124,000	12,610	1.224,602	498,750	1.723,352
Abr	9,660	0,298	2,741	1,300	1.045,000	3,563	321,696	96,600	418,296
Mai	9,590	0,257	2,417	1,302	1.144,000	3,147	311,055	95,900	406,955
Jun	8,585	0,145	1,183	1,095	939,000	1,295	105,063	38,633	143,695
Jul	8,000	0,126	0,923	0,921	541,000	0,849	39,696	22,400	62,096
Ago	8,165	0,100	0,776	0,784	817,000	0,609	42,953	11,431	54,384
Set	4,850	0,165	0,759	0,280	77,333	0,213	1,420	0,291	1,711
Out	5,060	0,150	0,732	0,223	385,000	0,163	5,425	0,198	5,623
Nov	9,495	0,242	2,337	1,432	340,000	3,346	98,301	109,193	207,493
Dez	8,750	0,251	2,163	1,255	83,000	2,713	19,457	70,000	89,457
Jan	9,970	0,318	2,985	1,603	535,333	4,786	221,347	169,490	390,837
Fev	8,860	0,347	2,929	1,354	1.292,666	3,966	442,970	81,512	524,482

- Sub-bacia S1 -

Mês	Larg.	Prof. Média	Área	Vel. média	Concent.	DESCARGA			
						Q	DM	DÑM	DST
Fev	5,890	0,181	0,990	0,176	2.794,000	0,173	41,762	0,318	42,081
Mar	7,000	0,100	0,663	0,272	1.695,000	0,180	26,361	0,851	27,211
Abr	8,500	0,153	1,258	0,139	114,333	0,174	1,719	0,085	1,804
Mai	6,970	0,163	1,135	0,098	1.798,330	0,111	17,247	0,488	17,735
Jun	6,750	0,167	1,043	0,112	860,000	0,117	8,679	0,270	8,949
Jul	7,650	0,176	1,262	0,066	229,000	0,083	1,640	0,184	1,824
Ago	6,250	0,180	1,073	0,072	567,000	0,077	3,793	0,300	4,093
Set	6,750	0,158	1,071	0,064	134,333	0,069	0,796	0,132	0,927
Out	7,330	0,187	1,405	0,046	581,333	0,065	3,260	0,315	3,575
Nov	5,335	0,210	1,003	0,057	405,000	0,064	2,229	0,203	2,432
Dez	5,005	0,172	0,877	0,084	284,667	0,073	1,802	0,145	1,947
Jan	4,855	0,209	1,049	0,081	421,660	0,085	3,089	0,175	3,263
Fev	4,450	0,233	1,089	0,089	635,660	0,097	5,344	0,214	5,557

- Sub-bacia S2 -

Mês	Larg.	Prof. Média	Área	Vel. Média	Concent.	DESCARGA			
						Q	DM	DÑM	DST
Fev	2,300	0,351	0,639	0,482	2.090,000	0,307	55,437	2,174	57,610
Mar	2,355	0,290	0,702	0,448	2.409,000	0,314	65,355	1,399	66,754
Abr	2,265	0,176	0,395	0,637	436,000	0,251	9,455	2,265	11,720
Mai	2,140	0,198	0,343	0,471	1.281,000	0,161	17,819	1,311	19,130
Jun	2,215	0,147	0,257	0,509	763,000	0,131	8,623	0,820	9,442
Jul	2,190	0,134	0,262	0,486	351,330	0,127	3,862	0,767	4,629
Ago	2,135	0,128	0,233	0,416	431,000	0,097	3,608	0,395	4,003
Set	1,890	0,124	0,226	0,403	509,000	0,091	4,004	0,331	4,334
Out	2,160	0,156	0,277	0,256	607,000	0,071	3,724	0,163	3,887
Nov	2,115	0,181	0,329	0,233	257,000	0,077	1,702	0,079	1,780
Dez	2,540	0,134	0,330	0,395	266,000	0,131	3,002	0,445	3,446
Jan	2,590	0,145	0,359	0,419	1.011,330	0,151	13,156	0,767	13,922
Fev	2,765	0,178	0,484	0,457	812,000	0,226	15,855	1,078	16,934

- Sub-bacia BC1 -

Mês	Larg.	Prof. Média	Área	Vel. média	Concent.	DESCARGA			
						Q	DM	DÑM	DST
Fev	5,000	0,070	0,350	0,980	2.741,000	0,343	73,229	18,000	91,229
Mar	8,800	0,173	1,525	1,173	907,000	1,543	120,917	52,800	173,717
Abr	4,800	0,105	0,504	1,000	237,000	0,250	5,119	17,760	22,879
Mai	5,800	0,075	0,435	0,940	829,660	0,401	28,745	19,720	48,465
Jun	5,840	0,090	0,526	0,714	375,000	0,188	6,078	7,008	13,086
Jul	2,920	0,080	0,234	0,588	82,000	0,137	0,972	1,869	2,841
Ago	2,920	0,070	0,204	0,501	883,000	0,102	7,812	1,314	9,126
Set	2,920	0,133	0,389	0,172	465,000	0,067	2,694	0,099	2,793
Out	2,920	0,145	0,423	0,183	439,300	0,077	2,930	0,086	3,016
Nov	2,920	0,080	0,234	0,757	250,000	0,184	3,976	5,402	9,378
Dez	5,840	0,082	0,477	0,977	68,000	0,465	2,733	21,024	23,757
Jan	5,840	0,084	0,491	0,992	213,000	0,530	9,757	22,192	31,949
Fev	5,840	0,130	0,759	1,040	663,333	0,789	45,242	23,944	69,186

- Sub-bacia BC2 -

Mês	Larg.	Prof. Média	Área	Vel. média	Concent.	DESCARGA			
						Q	DM	DÑM	DST
Fev	5,680	0,299	1,384	0,360	2.102,000	0,498	90,443	2,090	92,533
Mar	4,585	0,557	2,630	0,764	175,000	1,994	30,149	9,629	39,778
Abr	4,800	0,355	1,573	0,333	197,000	0,523	8,902	0,624	9,526
Mai	4,480	0,357	1,577	0,360	1.629,000	0,567	79,803	1,803	81,606
Jun	4,350	0,301	1,287	0,165	410,000	0,212	7,521	0,126	7,647
Jul	4,465	0,340	1,392	0,151	135,000	0,211	2,458	0,070	2,527
Ago	4,530	0,266	1,106	0,171	602,000	0,189	9,808	0,145	9,953
Set	4,440	0,256	1,105	0,099	131,667	0,109	1,239	0,102	1,341
Out	4,500	0,279	1,115	0,080	379,333	0,089	2,910	0,207	3,117
Nov	5,100	0,301	1,494	0,191	248,000	0,285	6,102	1,146	7,248
Dez	4,815	0,317	1,475	0,239	324,333	0,352	9,858	0,320	10,178
Jan	4,770	0,336	1,726	0,342	466,330	0,591	23,812	0,773	24,585
Fev	4,650	0,324	1,644	0,439	563,333	0,721	35,073	1,744	36,817

- Sub-bacia BC3 -

Mês	Larg.	Prof. Média	Área	Vel. média	Concent.	DESCARGA			
						Q	DM	DÑM	DST
Fev	5,500	0,863	4,263	0,355	4.003,000	1,515	523,977	3,812	527,788
Mar	6,250	1,102	6,839	0,465	1.181,660	3,179	324,561	5,038	329,599
Abr	5,365	0,743	4,072	0,476	420,500	1,938	70,410	2,640	73,049
Mai	6,720	0,996	5,938	0,436	4.089,000	2,588	914,313	7,862	922,176
Jun	5,220	0,525	2,621	0,209	584,000	0,548	27,636	0,357	27,993
Jul	4,995	0,480	2,311	0,239	669,660	0,551	31,851	0,393	32,245
Ago	5,320	0,404	2,065	0,210	725,000	0,433	27,098	0,289	27,387
Set	4,350	0,354	1,421	0,126	213,600	0,179	3,298	0,126	3,425
Out	4,675	0,442	1,879	0,210	314,000	0,395	10,722	0,188	10,910
Nov	5,340	0,652	3,395	0,365	307,000	1,242	32,937	0,910	33,847
Dez	5,440	0,566	3,118	0,456	45,333	1,422	5,569	1,360	6,929
Jan	6,290	0,731	4,713	0,259	299,333	1,218	31,511	0,554	32,064
Fev	6,515	0,715	4,997	0,233	443,333	1,164	44,593	0,473	45,066

FOTOGRAFIAS

Quadro de limpeza de terreno apresentando certa desorganização (região periférica da cidade).



Região próxima ao centro da cidade mostrando acúmulo de água sobre o asfalto após uma chuva e ainda a existência de certa cobertura vegetal em alguns pontos.



Trecho do córrego Suçuapara, dentro da área urbana, apresentando certo teor de degradação ambiental e águas escuras (época das chuvas).



Ponto de desembocadura do ribeirão Água Fria no rio Tocantins. Apresenta, pouco antes, área onde havia retirada de areia e seixos, com quadro de acentuada degradação ambiental.



Foto mostrando área escarpada da Serra do Lajeado e também grande mancha de solo exposto.



Ravina em desenvolvimento já avançado em solo concrecionário próximo ao córrego Suçuapara.

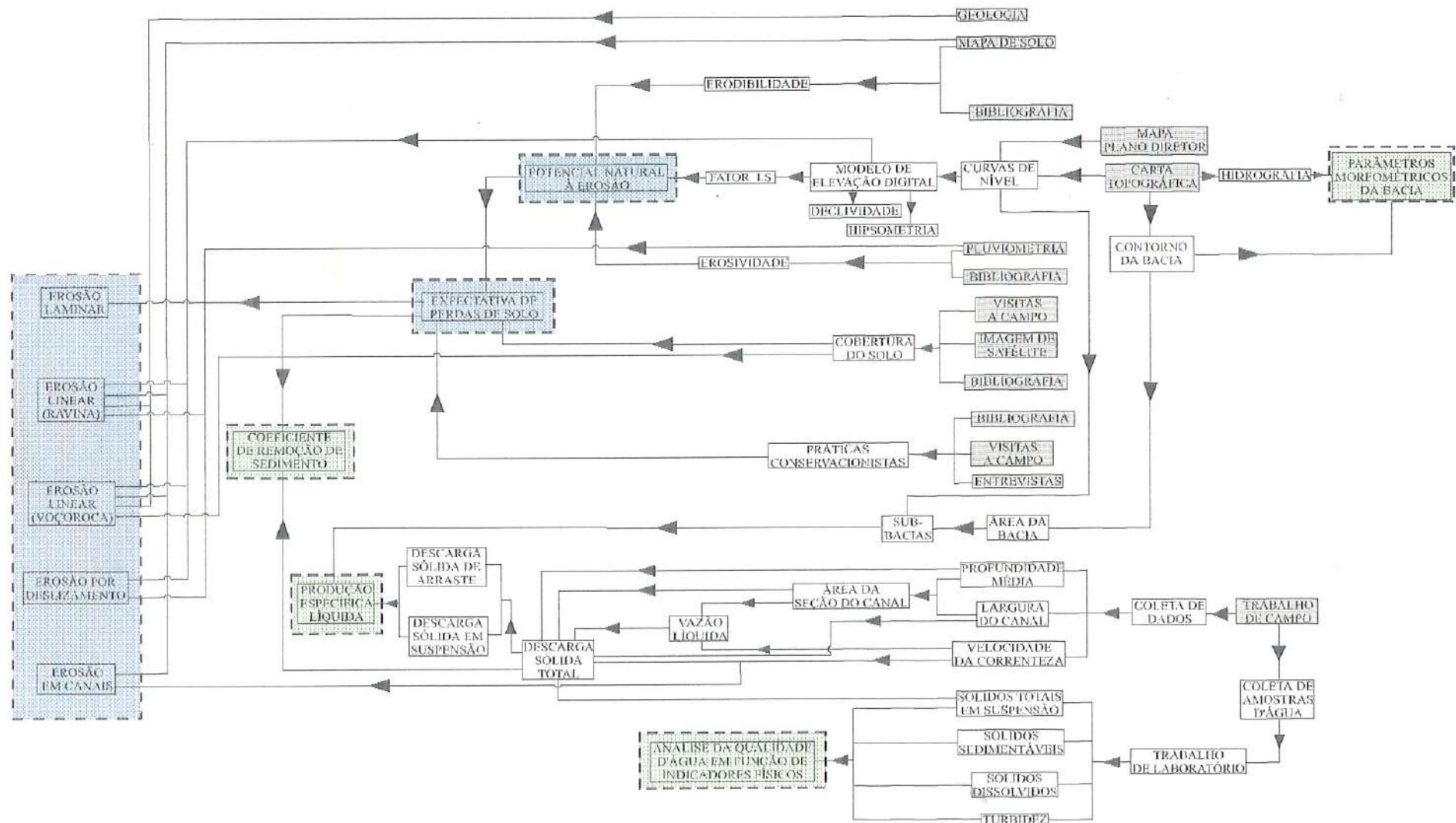


Voçoroca em estágio avançado de desenvolvimento em local de afloramento da formação Pimenteiras e próximo ao córrego Brejo Comprido.



Foto mostrando trecho de mata ciliar do córrego Brejo Comprido, trecho da pista do aeroporto (canto superior esquerdo), rotatórias com grama e ainda trechos com campo ralo (pouca vegetação).





▭ Fonte de informação para o parâmetro

➔ Uso posterior de determinada informação

▭ Principais produtos gerados no trabalho na forma de mapa

▭ Principais produtos gerados no trabalho na forma numérica

Organograma mostrando as principais passagens realizadas no trabalho, as fontes de onde as informações foram obtidas e os principais produtos gerados, conforme explicado no texto.