

JUCIMAR APARECIDA GUEDES

**AVALIAÇÃO DAS PERDAS MENSIS DE SOLO
NO ALTO CURSO DO RIO AQUIDAUANA - MS**

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre em Geologia
Ambiental, Curso de Pós-Graduação em Geologia,
Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal
do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Pio Fiori

CURITIBA

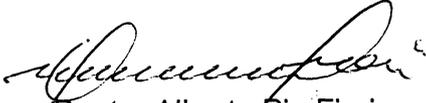
2001

TERMO DE APROVAÇÃO

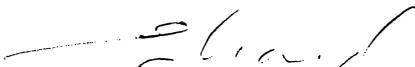
JUCIMAR APARECIDA GUEDES

“AVALIAÇÃO MENSAL DE PERDAS DE SOLO NO ALTO CURSO DO RIO AQUIDAUANA, MS”

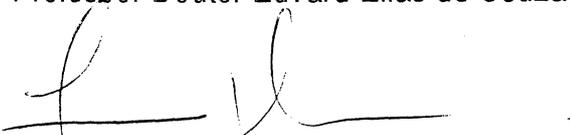
Dissertação de mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração Geologia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná, Comissão formada pelos Professores:



Professor Doutor Alberto Pio Fiori
Presidente



Professor Doutor Edvard Elias de Souza



Professor Doutor Francisco Mendonça

Curitiba, 29 de agosto de 2001.

AGRADECIMENTOS

Várias pessoas contribuíram, direta ou indiretamente, para que este trabalho pudesse vir a ser concluído. Entretanto quero deixar expresso alguns agradecimentos:

Primeiramente à minha mãe, meu pai (*in memoriam*) e meus irmãos, pelas oportunidades e apoio recebidos até hoje.

Aos amigos: Chico, Anderson, Alfredo, Adriano, Telma, Maiby e Denise, pelo incentivo dedicado durante os mais diferentes momentos deste trabalho.

À toda equipe do projeto Pantanal pelo auxílio técnico em laboratório, campo, e pelo material concedido. Em especial, ao Toni e Nicola pelas sugestões e apoio técnico em geoprocessamento.

À amiga Jaqueline, pela revisão do texto em inglês.

À colaboração dos professores Naldy E. Canali, Leonardo J. C. Santos e Luiz Eduardo Mantovani.

Aos técnicos da Empaer de São Gabriel do Oeste (MS), pelas informações prestadas.

Ao departamento de Geologia da UFPR, à Capes e ao Projeto Pantanal pela concessão do auxílio financeiro (Contrato ERBIC18CT960073), sem o qual não teria sido possível a realização desta pesquisa.

E, principalmente, meu especial agradecimento ao professor orientador Alberto P. Fiori, o qual não permitiu o abandono desse trabalho nos momentos mais difíceis, pela confiança depositada e por sua paciência, pela amizade construída e pelas críticas e discussões sempre construtivas, que conduziram à realização desta pesquisa e que, certamente, contribuíram para meu amadurecimento pessoal e profissional.

À todos meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

Índice.....	i
Índice de Quadros.....	ii
Índice de Figuras.....	iii
Índice de Gráficos.....	iv
Índice de Fotografias.....	v
Lista de Abreviaturas.....	vii
Resumo.....	viii
Abstract.....	ix

ÍNDICE

CAPÍTULO I

O alto curso do rio Aquidauana no contexto ambiental

1.1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1.2. Localização da área e vias de acesso.....	03
1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	06

CAPÍTULO II

A bacia do alto curso do rio Aquidauana e suas características físicas

2.1. CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO EM ESTUDO.....	11
2.1.1. Geologia.....	13
2.1.2. Caracterização pluviométrica.....	21
2.1.3. Hidrografia.....	23
2.1.4. Geomorfologia.....	27
2.1.5. Solos.....	33
2.1.5.1. Definição do primeiro nível categórico de solos.....	35
2.1.5.2. Definição do segundo nível categórico de solos.....	36
2.1.6. Vegetação.....	41
2.1.6.1. Tipos de vegetação encontrados na região.....	41

CAPÍTULO III

Procedimento metodológico utilizado na bacia do alto curso do rio Aquidauana

3.1. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
3.1.1. Fator (R) - Erosividade das Chuvas.....	47
3.1.2. Fator (K) - Erodibilidade do solo.....	51
3.1.3. Fator Topográfico (LS).....	52
3.1.4. Fator (C) - Uso e Manejo do Solo.....	55
3.1.5. Fator (P) – Práticas conservacionistas.....	64
3.1.6. Cálculo da produção de sedimentos.....	67
3.1.7. Tolerância de Perdas de Solo.....	72
3.1.8. Técnicas Digitais.....	76

CAPÍTULO IV

Interpretação dos resultados obtidos na bacia do alto curso do rio Aquidauana

4.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	82
--	----

CAPÍTULO V

Síntese dos resultados obtidos para a bacia do alto curso do rio Aquidauana

5.1. CONCLUSÕES.....	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

ÍNDICE DE QUADROS

<i>Quadro</i>	<i>Página</i>
1. Valores de erodibilidade dos solos (K) da área em estudo (PCBAP, 1997).....	52
2. Fator LS em função de classes de declividade.....	53
3. Porcentagem do valor médio anual do índice de erosão que ocorre entre 1º de setembro e as datas indicadas, na área em estudo.....	57
4. Fases de desenvolvimento das culturas anuais.....	58
5. Razão de perdas de solo entre área cultivada e área continuamente descoberta.....	58
6. Cálculo do valor de C para rotação de soja após milho.....	59
7. Tipo e grau de cobertura de solo e respectivo fator CP.....	60
8. Demais categorias de cobertura do solo e respectivo fator CP.....	60
9. Valores do fator P da equação de perdas de solo, para algumas práticas conservacionistas.....	64
10. Valores do fator P para algumas práticas conservacionistas.....	65
11. Fator P em função da declividade.....	66
12. Valores obtidos de perdas de solo através da EUPS.....	68
13. Relação entre o número de canais e de bifurcação.....	70
14. Razão de produção de sedimentos na bacia do alto curso do rio Aquidauana..	71
15. Tolerância de Perdas de Solo.....	74
16. Classes de cobertura de solo, baseadas no CORINE Land Cover.....	77
17. Perdas de solo por hectare nos anos de 1966, 1985 e 1996.....	100
18. Evolução da cobertura do solo na bacia do alto curso do rio Aquidauna.....	104

**Ao luar,
ao sol,
a iluminar caminhos.
Ao campo,
às matas,
aos rios,
enfim à natureza.
À nós...**

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura</i>	<i>Página</i>
1. Localização da área de estudo.....	05
2. Mapa Geológico.....	14
3. Mapa Hidrográfico da bacia do alto curso do rio Aquidauana.....	25
4. Mapa Hipsométrico da região do alto curso do rio Aquidauana.....	28
5. Mapa Geomorfológico.....	31
6. Mapa de Solos da bacia formada pelo alto curso do rio Aquidauana/MS.....	34
7. Mapa Anual de Isoerosividade.....	48
8. Mapa Semestral de Isoerodentes (primeiro semestre).....	49
9. Mapa Semestral de Isoerosividade (segundo semestre).....	50
10. Mapa de Declividade da área em estudo.....	54
11. Cobertura do solo em 1966 no alto curso do rio Aquidauana.....	62
12. Cobertura do solo no alto curso do rio Aquidauana em 1985 e 1996.....	63
13. Exemplo de chaves de interpretação visual da paisagem, na área em estudo..	78
14. Mapa de identificação dos pontos de controle de campo.....	80
15. Sequência metodológica utilizada na área em estudo.....	81
16. Fluxograma dos fatores que controlam a erosão.....	82
17. Mapa de tolerância de perdas de solo.....	83
18. Fluxograma da implicação da pastagem na produção de perdas de solo.....	84
19. Mapa anual de perdas de solo na bacia do alto curso do rio Aquidauana.....	85
20. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Janeiro.....	88
21. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Fevereiro..	89
22. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Março.....	90
23. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Abril.....	91
24. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Maio.....	92
25. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Junho.....	93
26. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Julho.....	94
27. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Agosto.....	95
28. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Setembro..	96
29. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Outubro....	97
30. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Novembro.	98
31. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Dezembro.	99

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico</i>	<i>Página</i>
1. Características pluviais na área em estudo.....	21
2. Distribuição dos solos da bacia do alto curso do rio Aquidauana até o segundo nível categórico.....	33
3. Curva de distribuição do índice erosivo acumulado para a bacia em estudo.....	57
4. Evolução anual de perdas de solo.....	87
5. Perdas mensais de solo nos anos de 1966, 1985 e 1996 na bacia do alto curso do rio Aquidauana.....	100
6. Comparação entre dois métodos aplicados para o total de toneladas de solo perdido e retido na bacia do alto curso do rio Aquidauana.....	103
7. Representação evolutiva da cobertura do solo na bacia do alto curso do rio Aquidauana.....	104

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

<i>Foto</i>	<i>Página</i>
1. Detalhe de testemunho residual da Formação Aquidauana, com de arenitos vermelhos, apresentando estratificação cruzada de grande porte.....	16
2. Panorâmica da região composta pela Formação Aquidauana, com vista ao fundo da Serra Negra.....	17
3. Aglomerado formado pela cobertura detrítica-laterítica, encontrado sobre a Chapada de São Gabriel.....	20
4. Aspecto de uma frente de chuvas torrenciais, as quais provocam maior lixiviação do solo quando exposto.....	22
5. Pontos de surgência d'água junto à margem esquerda do Córrego Córquinho, evidenciando uma importante contribuição do lençol freático.....	24
6. Antigo leito de um dos afluentes do Córrego Barreiro, atualmente assoreado com aproximadamente três metros de desnível em relação ao leito atual.....	24
7. Afloramento do basalto, junto à margem do rio Aquidauana, próximo à cidade de Córquinho.....	26
8. Vista parcial da região da margem direita do rio Aquidauana, onde observam-se as frentes de cuevas, e vale em forma de "U".....	27
9. Área de intenso cultivo mecanizado, favorecido pelas características de relevo plano a suave ondulado sobre a Chapada de São Gabriel.....	29
10. Área de pasto comprometida por vossorocamento, apresentando o rompimento da barragem de contenção, próximo a borda da Chapada de São Gabriel.....	30
11. Detalhe da presença de Neossolos quartzarênicos sem estrutura e consistência, oriundos da Formação Botucatu.....	37
12. Característica do tipo de Neossolo litólico, com horizontes bem definidos.....	38
13. Ocorrência de Latossolo vermelho sobre a Chapada de São Gabriel, em área preparada para o cultivo de soja e milho.....	40
14. Aspecto da vegetação denominada de Cerradão.....	42
15. No primeiro plano da foto, observa-se a presença do tipo de vegetação denominada de Campo-sujo. Ao fundo detecta-se a presença de Savana arbórea densa.....	43
16. Interior de uma Floresta Caducifólia, apresentando o solo recoberto por um manto folhas secas.....	44

117. Veredas, que geralmente acompanham os cursos d'água, com concentração de palmeiras denominadas "Buriti".....	45
118. Área em estágio avançado de vossorocamento, com surgência de água.....	86

LISTA DE ABREVIATURAS

- S – *Declividade da vertente*
- BAP – *Bacia do Alto Paraguai*
- C – *Uso e manejo do solo*
- EP – *Erosão potencial*
- EUPS – *Equação Universal de Perdas de Solos*
- GPS – *Global Positioning System*
- IT – *Índice de tolerância de perdas de solo*
- K – *Erodibilidade do solo*
- L – *Comprimento da vertente*
- LS – *Fator topográfico*
- MDT – *Modelo Digital do Terreno*
- P – *Práticas Conservacionistas*
- PCBAP – *Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai*
- R – *Erosividade da chuva*
- RPS – *Razão de produção de sedimentos*
- SEPLAN – *Secretaria de Planejamento do Estado de Mato Grosso do Sul*
- SI – *Sistema Internacional de Medidas*
- SIG – *Sistema de Informações Geográficas*

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados alcançados no estudo do processo erosivo laminar no alto curso da bacia do Rio Aquidauna/MS, através da aplicação dos parâmetros que compõem a *EUPS* (Equação Universal de Perdas de Solo), avaliados de forma mensal e multitemporal, num período de 30 anos. A área em consideração compreende dois domínios geomorfológicos bem distintos: A Chapada de São Gabriel, onde se concentram as atividades de agricultura intensiva, especialmente cultivo de soja e milho e as áreas circundantes, de relevo mais degradado e dissecado, onde as terras são utilizadas principalmente para pastagem. As épocas do ano em que a erosão laminar é mais intensa foram definidas, principalmente, em função da erosividade (R) da chuva, do fator uso do solo (C), e do fator P , ou de práticas conservacionistas. A precipitação anual varia em torno de 1.500mm, concentrando-se nos meses de janeiro à março. Isto implica no valor encontrado para C em áreas agrícolas, que no período de outubro à março é oito vezes maior que no restante do ano, representando assim uma acentuada variação climática sazonal coincidente com o período de preparo do solo e plantio. Estes dados, juntamente com os outros fatores (K , L e S) que compõem a *EUPS*, foram trabalhados em ambiente SIG, e os valores obtidos de A indicaram uma perda anual de solo na bacia estudada de 47.019 toneladas em 1966; 1.421.798 toneladas em 1985 e 1.356.162 toneladas em 1996 e uma média de solo perdido por hectare de 0.24 toneladas em 1966; 7.52 toneladas em 1985 e 7.17 toneladas em 1996, sendo que os meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, são os meses que concentram maiores perdas de solo, com 52% para o ano de 66, 78% para o ano de 85 e 71% para o ano de 96. Estas perdas ocorrem em áreas com predomínio de solos neossolos litólicos e, principalmente, neossolos quartzarênicos ou na transição deste com latossolos, próximos à escarpa. Com a aplicação da equação de Razão de Perdas de Solo, verificou-se que aproximadamente metade dos sedimentos ficam retidos dentro dos limites da bacia. A principal causa do aumento excessivo de perdas de solo no período estudado está na condição da redução significativa de áreas naturais, ou seja, floresta e cerrado para implementação de áreas agrícolas e de pastagem.

Palavras-chave: erosão; equação universal de perdas de solo; rio Aquidauna.

ABSTRACT

This paper introduces the result of the rainfall erosivity (R), the use of soil (C) and conservationists practices (P) parameters of the *USLE* (Universal Soil Loss Equation) applied to the high course of *River Aquidauana* region. The purpose of this application was to evaluate the erosive process month to month and try to define the period of the year wherein the laminar erosion is more intensive. The R factor shows an accentuated seasonal variation because the region under consideration is characterised by a predominantly rainy tropical climate, without a cold season, but with a well defined dry season (winter) with at least one month of precipitation under 60 mm. The area under consideration comprises two well distinct geomorphologic domains: the *Chapada de São Gabriel* where intensive agricultural activities are developed, specially the soya and corn culture, and the surrounding areas, with more degraded and dissected relieve, where the lands are utilised for pasture. The areas of intensive agriculture show a larger variation of the CP factor, considering that they are submitted to plantation at least twice a year. On the other side, the pasture areas show a more constant CP value on the whole year and, as consequence, show a minor erosive potential. The C , P and R factors for the studied area and the K , L and S EUPS factors were multiplied through SIG techniques. The results show that in 1966 the soil losses on the whole basin were around 46.269 tons, in 1985 it were about 1.771.790 tons and in 1996 it were around 1.349.009 tons. The most significant soil losses occurred on the months of January, February, November and December, representing 52% in 1966, 78% in 1985 and 71% in 1996 of the total soil losses in each of these years. Taking into consideration the Sediment Delivery Ratio, it was verified that near $\frac{1}{2}$ of the eroded material remain in the interior of the basin. The main cause of the excessive losses of soil in the studied period was the significant reduction of natural areas (forests and "cerrado") that were substituted by agricultural and pasture areas.

Key-words: erosion; universal soil loss equation; river Aquidauana.

CAPÍTULO I

O alto curso do rio Aquidauana no contexto ambiental

1.1. Introdução

A questão ambiental tem sido um dos principais temas discutidos no mundo atualmente. Buscar alternativas que minimizem os impactos causados diretamente ou indiretamente pela sociedade ao meio ambiente passa pelo estágio de reconhecimento do meio físico natural, uma vez que este, dentre outros, restringe a forma de uso e ocupação do solo.

A área em estudo, ou a bacia do alto curso do rio Aquidauana, localizada no Estado de Mato Grosso do Sul, encontra-se numa região de cerrado, onde o empobrecimento genético do solo, sua gradual compactação e erosão, a contaminação química das águas e da biota, o rebaixamento do lençol freático nos vales em “veredas” e onde as planícies aluviais estão sendo drenadas pelos projetos de irrigação, são apontados como os principais impactos ambientais detectados, conforme exposto no relatório sobre a “Avaliação do Impacto Ambiental na Região de Cerrado” elaborado em 1984 (WAGNER, 1986 IN BACCARO, 1999).

O Cerrado é uma unidade ecológica típica da zona tropical, caracterizado por uma vegetação de fisionomia e flora próprias. Conforme BACCARO (1999), a erosão e a perda de fertilidade dos solos das regiões agrícolas tradicionais, vêm provocando uma crescente pressão sobre a região do Cerrado, que se converteu, recentemente, na fronteira agrícola do País.

Na década de 60 a área em estudo apresentava-se, em sua maior parte, recoberta por vegetação natural, composta por mata e cerrado. A partir da década de 70, as zonas naturais começaram a ser reduzidas, cedendo lugar à pastagens, campos e agricultura. Esta inversão provocou um aumento de áreas críticas sujeitas ao desequilíbrio ambiental, cuja principal consequência foi a intensificação do processo erosivo observado.

O desígnio do limite da área de estudo, provém da inserção deste trabalho num projeto maior de estudo multitemporal sobre a região do pantanal brasileiro. A bacia escolhida possui 189.000 hectares, compreende áreas potencialmente produtivas e faz parte de dois complexos ecossistemas, o cerrado e o pantanal. Este último localizando-se na foz do rio Aquidauana, que constitui-se num dos escoadouros mais importantes do pantanal sul-matogrossense. Como os processos que ocorrem à montante repercutem à jusante, preferiu-se restringir a área do presente estudo

apenas às nascentes deste mesmo rio, uma vez que qualquer alteração sofrida no alto curso de um rio, irá interferir e contribuir por consequência nos processos atuantes na área drenada pelo médio e baixo curso. Além disto, esta bacia dispõe de uma série de registros de intensidade de chuvas, dados esses geralmente escassos na maioria das regiões brasileiras, e extremamente necessários para uma análise erosiva.

Diante dos problemas apontados, abordou-se neste estudo, como tema central, a erosão dos solos, sob a perspectiva de uma análise multitemporal, envolvendo os anos de 1966, 1985 e 1996 (datas definidas pela disponibilidade de cartas topográficas e imagens de satélite, e também porque os modelos de predição de erosão requerem períodos de 20 a 30 anos), procurando-se avaliar tanto as perdas mensais de solo por erosão laminar como a evolução do processo erosivo no período de tempo considerado.

A erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento. A erosão do solo constitui, segundo BERTONI e LOMBARDI NETO (1985), a principal causa de empobrecimento acelerado das terras. Constitui-se também a forma de degradação do território mais generalizada, afetando tanto as terras agrícolas como as dedicadas a outros usos. Apesar de ser um processo imperceptível em suas primeiras etapas, seu caráter de irreversibilidade em etapas posteriores constitui-se de advertência à impossibilidade de se alcançar a sustentabilidade do sistema, CASANELLAS (1994).

Entre os vários tipos de erosão, neste estudo, se destaca a erosão laminar que é definida como a remoção homogênea de uma capa de solo, sendo uma forma de erosão menos perceptível e por isso a mais perigosa pois, quando é notada, a perda de solo já foi significativa (MACEDO & RUDORFF, 2000). Uma forma adequada de estudo desse tipo de erosão é através do emprego da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), sendo sua aplicação bastante favorecida atualmente pelas técnicas de SIG (Sistema de Informações Geográficas).

Na proposta original, a EUPS limita-se ao estudo de pequenas glebas. Entretanto, por esta ser uma equação perfeitamente adaptável ao uso do geoprocessamento, tem permitido extrapolar sua aplicação à áreas maiores, como é o caso da bacia em estudo. A utilização de técnicas SIG se, por um lado, viabiliza sua aplicação, por outro lado, exige um apurado controle, manipulação e processamento preciso dos dados de entrada. Consequentemente, com o emprego destas técnicas foi possível produzir diversos mapas temáticos pelo cruzamento de varias informações, originando produtos com maior precisão e confiabilidade.

A EUPS fornece apenas a estimativa da erosão laminar de uma determinada área, mas não a quantidade de sedimentos que ficam retidos na bacia de drenagem.

Dessa forma, visando definir a quantidade de material erodido que realmente sai da bacia em um determinado ponto, foi aplicado um cálculo conhecido como Razão de Produção de Sedimentos. Esse cálculo leva em conta o comprimento da bacia, a relação de relevo, o tamanho da área de contribuição, a densidade hidrográfica, a relação de bifurcação e os valores de perdas de solo fornecidos pela EUPS. Com isto obtém-se uma aproximação maior entre a quantidade de sedimentos carregados pelo rio que drena a bacia e os valores de perdas de solo calculados pela EUPS, permitindo assim, uma possível comparação com dados sedimentométricos.

Portanto, o objetivo principal do presente estudo, é a obtenção de índices mensais de perdas de solo, levando em conta as variações dos fatores *R* (erosividade da chuva) e *C* (uso e manejo do solo) da Equação Universal de Perdas de Solo, segundo a proposta de BERTONI & LOMBARDI NETO (1990). Busca-se com isso identificar não só os meses mais críticos, mas também os locais ou zonas onde o processo erosivo se intensifica, seja por causa das chuvas, seja por causas antrópicas, como por exemplo, o cultivo e o preparo da terra. Bem como, compreender a evolução do processo erosivo através de índices médios anuais de perdas de solo por erosão laminar num período de 30 anos e suas relações com o uso e ocupação do solo.

Uma outra questão importante abordada nesse trabalho foi a definição objetiva das áreas de risco à erosão, e o critério utilizado foi a determinação dos limites de tolerância às perdas de solos, que é diferente para cada tipo de solo. O limite de tolerância representa o patamar máximo de perdas de um determinado tipo de solo sem que o mesmo perca suas características de produtividade, sendo definido em função da espessura, densidade do solo e razão textural entre os horizontes A e B. Esses limites foram espacializados em ambiente SIG, resultando num mapa onde as áreas acima e abaixo desse limite estão discriminadas, servindo como referência para a definição das áreas que necessitam de implementação de práticas conservacionistas.

1.1.2. Localização da área e vias de acesso

A área de estudo compreende as nascentes do rio Aquidauana, que situam-se no Município de São Gabriel do Oeste – MS, estende-se até a cidade e município de Córquinho, norte da capital Campo Grande (Figura 1). Perfaz uma área total de 1.895,70 Km², localizando-se entre os Paralelos 19°20' à 20°00'S e Meridianos de

54°30' à 55°00' W. As principais vias de acesso são a BR -163 e as estradas MS – 340 e MS – 80.

A bacia do alto curso do rio Aquidauana é formada por um dos principais rios que alimentam o ecossistema formado pelo Pantanal Sul-Matogrossense, o rio Aquidauana. Na área de estudo, este rio drena parte dos municípios de São Gabriel do Oeste, Rio Negro, Córquinho e Bandeirantes, todos pertencentes ao estado de Mato Grosso do Sul.

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

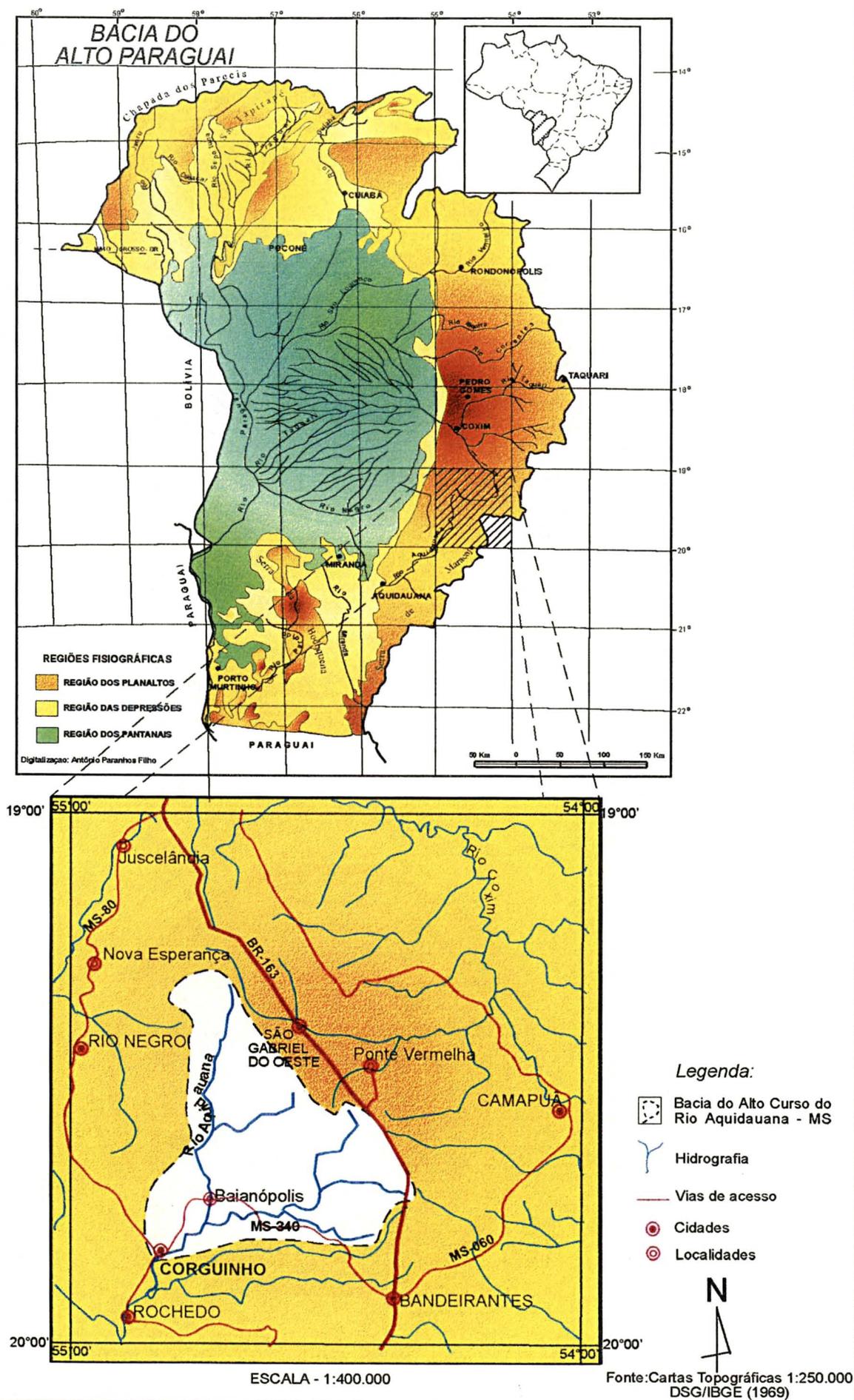


Figura 1. Localização da bacia do Alto Curso do Rio Aquidauana/MS

1.2. Revisão Bibliográfica

Segundo o trabalho de DE PLOEY & GABRIELS (1980) in BACCARO (1999), “a evolução das pesquisas tem sido convergentes e as Ciências da Terra vem focalizando mais e mais a investigação dos mecanismos de erosão. A partir de uma multiplicidade de observações descritas qualitativamente, em estágio de generalização empírica, tem-se verificado ultimamente, uma tendência a formulação de teorias e elaboração de modelos mais quantitativos”.

Estes modelos, especialmente os empíricos, geralmente definem os fatores mais importantes relacionados aos processos erosivos e, por meio da observação de medidas, experimentos e estatísticas, relacionam a erosão dos solos com outros elementos, como intensidade da chuva, cobertura vegetal, características do solo, forma e declividade das vertentes, entre outros.

Dentre as equações que foram criadas e aperfeiçoadas a fim de se obter um prognóstico do processo erosivo laminar, está a de Wischmeier e Smith, que já na década de 50, conseguiram reunir numa mesma equação, seis fatores que determinam a desagregação e transporte das partículas de um solo exposto, em determinada parcela padrão. Esta equação, denominada de Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) ou Universal Soil Loss Equation (USLE), constitui-se em um importante instrumento de investigação sobre o processo erosivo pois, a partir da análise das características e propriedades dos fatores ambientais que são responsáveis pela perda de solos, permite a compartimentação da paisagem em níveis de instabilidade, possibilitando o desencadeamento de ações mais efetivas de planejamento ambiental e otimização dos recursos naturais (WISCHMEIER & SMITH, 1958; WISCHMEIER, 1959; BERTONI, LOMBARDI NETO & BENATTI JR., 1975; TAVARES, 1986).

De um modo geral, a avaliação da erosão de uma determinada área é feita anualmente, obtendo-se o valor de A em ton/ha.ano. Isto implica tomar em consideração valores médios anuais para os fatores como R (chuva), C (uso e manejo do solo) e P (práticas conservacionistas) que apresentam grande variabilidade no decorrer do ano. No intuito de contornar essas generalizações na aplicação da EUPS procurou-se, nesse trabalho, avaliar as perdas mensais de solo de tal forma que fosse possível analisar a importância dos fatores acima referidos no processo erosivo, que variam durante o ano.

Estudos experimentais mostram, claramente, que existe aumento do escoamento médio com o desmatamento em pequenas bacias hidrográficas rurais porém, em nível de médias e grandes bacias, os resultados são escassos. A utilização

da EUPS na unidade geomorfológica bacia hidrográfica, vem ganhando interesse relevante nos últimos anos, porém limita-se geralmente a microbacias. A extrapolação da equação a áreas de muitos quilômetros quadrados, englobando grandes bacias hidrográficas pode acarretar, por sua vez, uma derivação de erros oriundos da regionalização dos próprios fatores que compõe a equação. Há, porém, deficiência de métodos alternativos compatíveis e eficientes a serem empregados a grandes bacias.

Uma das maiores dificuldades para a adequada aplicação da EUPS, na maioria das regiões brasileiras, é a escassez e registro de dados contínuos de chuvas por mais de duas décadas para a determinação do fator (R). Outra dificuldade encontrada está no cálculo do valor de K que, idealmente, envolve a mensuração da quantidade de material erodido em parcelas experimentais de solo, sob rigoroso controle das precipitações e volume de material removido, em ensaios que podem durar vários anos de observação e custos elevados.

Outra desvantagem da EUPS, é que prevê apenas a erosão média na vertente, mas não a deposição. Alguns autores, entretanto, ocuparam-se dessa questão, propondo uma equação chamada "Razão de Produção de Sedimentos" que leva a um ajuste dos valores de A fornecidos pela EUPS (GLYMPH, 1954; MANER, 1958).

Por outro lado, o fato da EUPS permitir o manuseio de seus índices, torna-a adaptável ao estudo de grandes áreas favorecendo sua aplicação, especialmente em ambiente SIG.

Inúmeros exemplos, segundo CASTRO et al. (1997) podem ser encontrados quanto à utilização da Equação Universal de Perdas de Solo em estudos prospectivos, provando ser este um dos instrumentos analíticos mais bem sucedidos para estudos de processos de erosão, em especial superficiais. "Sua utilização, em conjunto com sistemas digitais, é cada vez mais freqüente, embora ainda persistam entraves e lacunas, em especial quanto à adequacidade de utilização em diferentes escalas e contextos ambientais".

Quando comparado com outras classes de modelos, em especial determinísticos, o modelo (EUPS) apresenta vantagens operacionais, em especial, por não exigir um elevado número de parâmetros e permitir sua implementação em sistemas de informações geográficas com relativa facilidade. Tem-se mostrado, ademais, ser extremamente útil em iniciativas voltadas ao zoneamento ambiental em escalas e procedimentos menos detalhados e, ainda, como instrumento de simulação.

A utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) em procedimentos analíticos constitui método promissor, na medida em que sejam estabelecidos alguns procedimentos de acompanhamento e controle de qualidade durante o processamento e a integração dos dados.

No Brasil, trabalhos pioneiros na busca de informações de sensores orbitais como subsídio à interpretação do uso e manejo do solo, com a finalidade de utilizar os dados para alimentar o fator C da EUPS, foram realizados com sucesso por SCOPEL (1988) e SCOPEL et al. (1989/90) in MOTTER (1996).

O geoprocessamento, segundo MOTTER (1996) e CÂMARA (1993), “mostra-se cada vez mais efetivo como ferramenta de manipulação de informações em amplas áreas de estudos dos recursos naturais e computação gráfica, sendo capaz de combinar as várias formas de informações através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados”.

ASSAD (1995) citado por MOTTER (1996) concluiu que, em estudos de aptidão agrícola através do SIG, “a quantificação automática de áreas, a obtenção de mapas e a possibilidade de constante atualização, constituíram as grandes vantagens do geoprocessamento, como subsídio ao planejamento do uso e ocupação do solo”.

Entre os autores consultados observa-se que a implementação, ou pelo menos, a divulgação e acessibilidade ao Sistemas de Informação Geográfica voltado à simulação e aplicação de métodos quantitativos de ordem física, juntamente com o intuito de preservação, planejamento e reestruturação das formas de uso e ocupação do solo, permitiu obter uma demanda considerável de experimentos, comprovações e até predições à uma melhor forma de manter a sustentabilidade do ecossistema, buscando minimizar os riscos causados por uma inadequada ou mesmo sub-utilização do solo.

Quanto à erosão dos solos, CASTRO et al (1997), consideram que “os processos de erosão e perdas de solo são um dos principais testemunhos de procedimentos e estratégias errôneas de manejo e produção. Além dos danos diretamente ocasionados pela perda do substrato edáfico sobre a produtividade de culturas, este processo é responsabilizado por inúmeros distúrbios difusos, em particular, pelo comprometimento dos recursos hídricos e aceleração de processos mais amplos de degradação ambiental. A forma mais direta de controle da erosão trata da implementação de práticas conservacionistas, dentre as quais se destaca o manejo de unidades hidrográficas como a mais promissora”.

Um dos efeitos que intensificam os processos erosivos, gerados a partir de alterações na cobertura vegetal do terreno, consiste no aumento do fluxo superficial. Para GUERRA e CUNHA (1994), “a maior parte das observações que comprovam o poder do escoamento superficial está relacionada a regiões semi-áridas, ou então, com vegetação esparsa. Por isso atribui-se um peso muito grande à cobertura vegetal, como fator controlador do escoamento superficial. A ausência desta facilita o impacto das gotas de chuva, fazendo com que os agregados se quebrem, crostas sejam

formadas na superfície do solo, o que aumenta os efeitos do escoamento superficial, causando maiores taxas de erosão”.

A erosão atual, conforme MAFRA (1999), “refere-se ao resultado da atuação de processos erosivos atuais e/ou subatuais, sendo os primeiros agravados por interferência antrópica e podem ser perceptíveis através de feições da paisagem caracterizadas por morfologias erosivas. A erosão potencial (ou risco de erosão) refere-se àquela que se pode prever, quando se consideram as possíveis alterações em algumas das condições ambientais”.

A abordagem sobre: “aspectos geológicos, formas de relevo e processos geomorfológicos, características hidrológicas, biota e ocupação do solo”, torna-se fundamental, segundo GUERRA e CUNHA (1994), quando se tem a bacia hidrográfica como unidade primordial ao planejamento ambiental, pois estas são as principais características que condicionam o regime hidrológico.

O curso fluvial, conforme CONDE e RODRIGUEZ (1995), é um elemento característico de grande importância nas paisagens terrestres; o espaço natural drenado por eles constitui uma peça básica na organização das paisagens, posto que as grandes densidades de população, se localizam de fato nestes territórios que passam a converter-se, desta forma, de espaços naturais a espaços humanizados, em que o homem intervém de modo direto transformando-o de acordo com seu desenvolvimento e necessidade.

Consequentemente, as modificações naturais ou artificiais na cobertura vegetal das bacias hidrográficas vão influenciar seu comportamento hidrológico, as quais vão produzir os mais variados impactos sobre o meio ambiente (TUCCI, 1993). Por isto, estudos sobre o quanto é possível alterar os "input" e "output" dos sistemas hidrográficos, sem causar um maior desequilíbrio, com conseqüências que afetem a sociedade, tomam-se imprescindíveis à medida que a relação dependência homem-meio ambiente aumenta respectivamente aos limites oferecidos pelo “sistema natural”.

Com relação à base econômica, a bacia do rio Aquidauana, insere-se na região do Centro-Oeste do Brasil, a qual tornou-se nos últimos 25 anos, palco de intensa expansão econômica que a integrou definitivamente à economia racional. Em coerência com sua peculiar dotação de recursos, o setor agrícola foi o carro chefe desse processo.

Conforme estudos realizados pela EMBRAPA/EMPAER em 1997, “após 1975, apoiada pelo Polocentro (Programa de Desenvolvimento do Cerrado), a região dos cerrados brasileiros foi objeto de uma acelerada ocupação. Os incentivos contidos naquele programa proporcionaram a viabilização, em condições muito favoráveis, da

exploração de uma agricultura moderna e competitiva. Esses benefícios foram importantes para dar início à produção, principalmente da soja, onde para o período de 1970/80 a área cresceu cerca de 84 vezes e, a produção para o mesmo período, em cerca de 106 vezes, IBGE (1992)".

As áreas de pastagem cultivadas nos cerrados também tiveram crescimento surpreendente nesta mesma época, e são explicadas pela introdução de braquiárias e por programas especiais de desenvolvimento.

Todo este processo de modernização da agropecuária na região Central do Brasil, além de proporcionar acelerado crescimento econômico na região acelerou, conseqüentemente, de forma negativa os danos causados ao meio ambiente através de erosões, da diminuição da vegetação nativa e assoreamento de cursos d'água, entre outros.

CAPÍTULO II

A bacia do alto curso do rio Aquidauana e suas características físicas

2.1. Características da região em estudo

Segundo BACCARO (1999), a região dos Cerrados passou a contar com mecanismos de uma agricultura moderna, com a adoção cada vez mais intensa de mecanização, adubação e agrotóxicos, nas décadas de 70 e 80. Mas, nem sempre esta “modernização” tem sido benéfica ao meio, provocando alterações na biodiversidade, no equilíbrio hidrogeomorfológico das vertentes, na sedimentação dos fundos de vales e na diminuição da vazão dos mananciais. Isto é bem observado na região das nascentes do rio Aquidauana, onde o sistema geomorfológico é complexo, tanto na sua estrutura como no seu funcionamento, e vem recebendo a entrada de novos e intensos fluxos de energia e matéria, via ação antrópica.

O maior problema da erosão em terras com vocação agrícola consiste na eliminação da capa superficial do solo, importante por seu conteúdo em matéria orgânica e frações minerais finas, as quais garantem a nutrição indispensável ao crescimento dos vegetais (MAFRA, 2000). Outro problema consiste nas extensas áreas contínuas que estão sendo desmatadas no Cerrado para implantação de monoculturas agrícolas, sem reserva de amostras dos ecossistemas naturais, que possam funcionar como banco genético e refúgio da fauna e da flora. Mesmo as veredas e matas ciliares vêm sendo objeto de severas agressões, (PINTO, 1993).

Na região em estudo, a atividade desenvolvida até início da década de 70 era a pecuária de corte extensiva, sendo substituída gradativamente por lavouras de café. Após a geada negra e a conseqüente morte dos cafezais, na segunda metade da década de setenta, iniciou-se o ciclo da soja intensificando-se nos anos 80. Neste período, não haviam trabalhos implementados de conservação de solo e a cultura tinha baixa produtividade (22 a 25 sacas por hectare). Foi quando iniciaram-se os estudos de aproveitamento dos solos sob cerrado. A cultura utilizada para rotação era o trigo, embora incipiente e cultivada em pequenas áreas. Por problemas com o preço no mercado externo e interno, a partir de 1985 o trigo começou a ser substituído por outras culturas, como por exemplo, o milho plantado na safrinha. Neste período, já estavam sendo implementadas ações para solucionar os problemas relacionados à conservação dos solos (PONCE, 1999*).

Atualmente, nos municípios que a bacia abrange, a prática pecuarista é a principal atividade desenvolvida, com exceção do município de São Gabriel do Oeste, que por sua localização privilegiada, em termos de coberturas de solo e topografia, possui uma área de intensa agricultura mecanizada. Em 1985, neste município, a área com plantio de soja era dividida com o milho durante a safra de verão (90% soja e 10% milho), permanecendo até os dias atuais, em proporções equivalentes. No início da década de 90, praticamente toda a área agricultável do município já estava ocupada, e cerca de 80% da mesma área já dispunha de métodos de controle da erosão. Ultimamente foram plantados cerca de 115 mil hectares de soja, com produtividades que variam entre 45 a 50 sacas por hectare, 10 mil hectares de milho com produtividade média de 6000 Kg/ha e 10 mil ha entre as demais culturas, no verão. No inverno, a maior parte das áreas é plantada com milho safrinha e outras gramíneas. A partir de 1992, iniciou-se a implantação da suinocultura na região (PONCE, 1999*)¹.

O rio Aquidauana também é famoso por possuir a principal zona garimpeira de diamantes no Mato Grosso do Sul. Na área de estudo se destacam as regiões de Córquinho, Baianópolis e Fala Verdade.

¹ Ponce. S.A. Empresa de Pesquisa. Assistência Técnica e Extensão Rural de Mato Grosso do Sul, EMPAER. São Gabriel do Oeste. MS. 1999. "comunicação pessoal".

2.1.1. Geologia

Em função de suas características mineralógicas, texturais e estruturais, os corpos rochosos respondem diferentemente à ação dos processos exógenos, influenciando nas formas de relevo e tipos de solo. A informação geológica permite a reconstrução histórica da evolução da paisagem e do seu comportamento atual. Assim como contribui não só na caracterização, mas também na avaliação e prognóstico da área considerada (BOTELHO, 1999).

O Planalto Maracaju-Campo Grande é um extenso compartimento geomorfológico que compreende parte do Estado de Mato Grosso do Sul. A Chapada de São Gabriel é a porção topográfica mais elevada da área, sendo sustentada e circundada por associações arenítico-basálticos, dos grupos Bauru, Serra Geral e Formação Aquidauana. Sobre a chapada encontram-se as coberturas *Detrítico-laterítica terciária (Tdl)* e *terciário-quaternário (TQd)*. Inclui ainda várzeas em áreas azonais ao longo da drenagem, contendo planícies e terraços restritos, com aluviões holocênicos (EMBRAPA, 1997). Nas áreas mais baixas, a oeste da Serra de Maracajú, ocorrem as formações Furnas, Ponta Grossa e Aquidauana, enquanto as formações Botucatu, Serra Geral e Bauru ocorrem a leste da referida Serra (Figura 2).

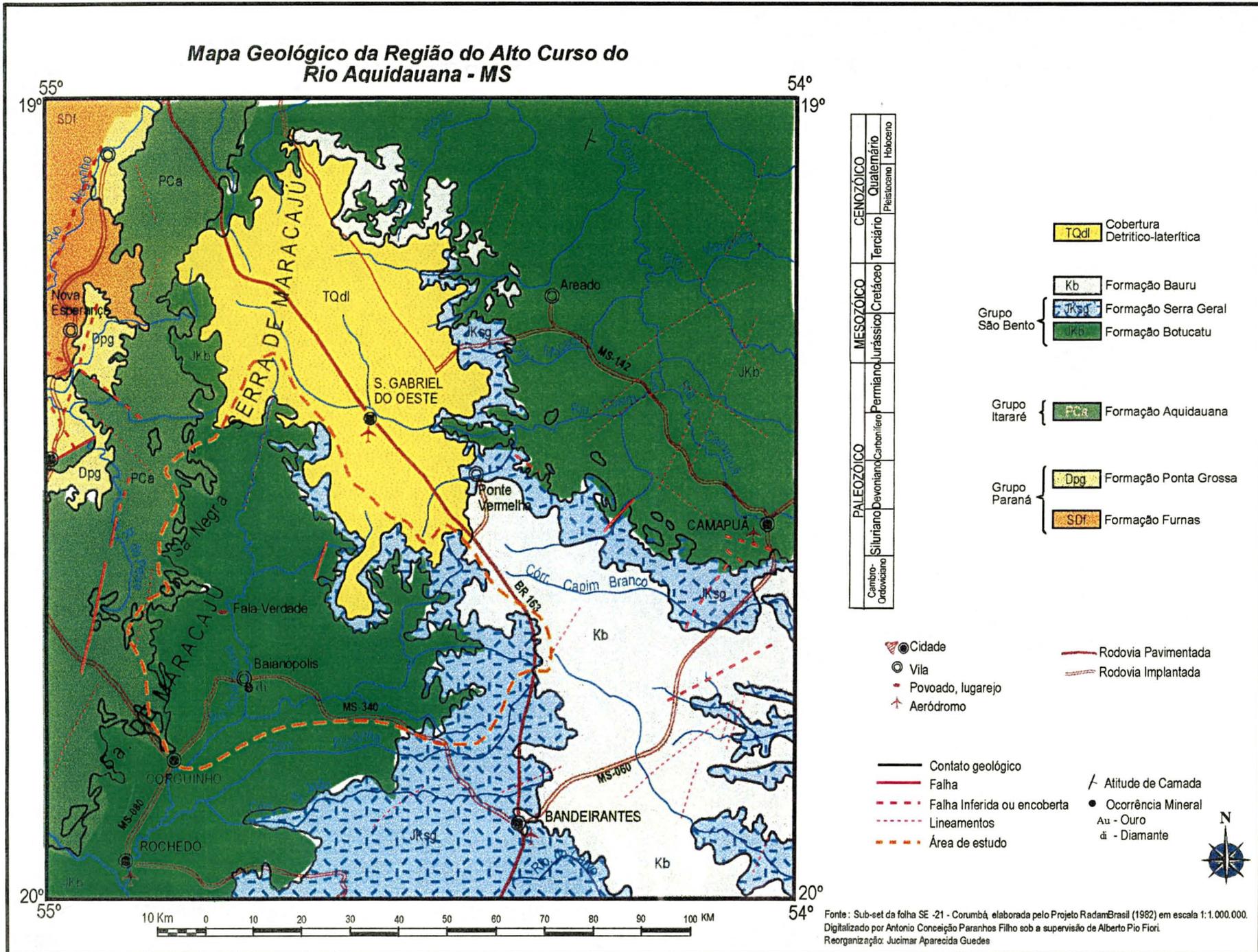
- **Formação Furnas (SDf)**

A Formação Furnas, segundo SCHNEIDER et al (1974), é constituída por arenitos esbranquiçados e avermelhados, médios a grosseiros, com estratificações plano-paralelas e cruzadas, apresentando lentes conglomeráticas e intercalações de camadas silto-argilosa. O contato superior dessa com a Formação Ponta Grossa é considerado concordante por alguns autores e discordante por outros.

As primeiras referências sobre esse pacote de sedimentos foram feitas por DERBY (1878), e OLIVEIRA (1927) o definiu como sendo a base da seqüência devoniana no Estado do Paraná, na serra das Furnas. ALMEIDA (1948), estende sua ocorrência para os Estados de Goiás e Mato Grosso.

Em razão do substrato irregular e ação dos processos erosivos, a Formação Furnas apresenta uma espessura muito variável. Em superfície, na Serra do Pantanal, CORRÊA et al (1976), constataram valores máximos de 200 a 250m, enquanto SCHNEIDER et al (1974), registraram uma espessura máxima em subsuperfície de 343m. Constitui a base do Grupo Paraná, assentando-se discordantemente sobre os metassedimentos do

Figura 2: Mapa Geológico



Grupo Cuiabá, sendo recoberta pela Formação Ponta Grossa. Sua idade é amplamente aceita como sendo do Siluriano Inferior ao Devoniano Inferior.

LANGE & PETRI (1967) e BIGARELLA & SALAMUNI (1967), sugerem condições marinhas de deposição, enquanto SCHNEIDER et al (1974) defenderam a hipótese de origem continental-fluvial, baseados nas características de estratificação cruzada, presença de estruturas de corte e preenchimento, depósitos residuais de canal com seixos de argila e neoformação de caulinita. ANDRADE e CAMARGO (1980), corroboraram as hipóteses de SCHNEIDER et al (1974), acrescentando que o sistema fluvial era do tipo anastomosado, formando barras longitudinais. DRAGO et al (1981), postulam um ambiente deposicional do tipo nerítico a infranerítico, devido às características dos tipos litológicos, estruturas sedimentares e configuração geométrica de todo o pacote sedimentar. Esta formação ocorre no entorno noroeste da bacia em estudo.

- **Formação Ponta Grossa (Dpg)**

A Formação Ponta Grossa é constituída de intercalações de siltitos e arenitos finos, argilosos, finamente laminados, cinza a cinza-esverdeado, micáceos, localmente fossilíferos com intercalações subordinadas de folhelho micáceo fossilífero (RADAMBRASIL, 1982).

As primeiras referências às rochas, posteriormente denominadas de Formação Ponta Grossa, foram feitas por DERBY (1878), em área próxima à cidade homônima, no Estado do Paraná. Esses sedimentos foram estudados por ALMEIDA (1948 e 1954), na região Centro Oeste e caracterizados como Facies Ponta Grossa, representando a porção superior da Série Chapada. VIEIRA (1965), descreveu essa unidade na região de Rondonópolis, como sendo composta sobretudo por siltitos e folhelhos de cor cinza e violácea, com intercalações subordinadas de arenitos muito finos. MUHLMANN et al (1974), consideram a Formação Ponta Grossa como constituída por folhelhos, folhelhos-siltitos cinza escuros a pretos, localmente carbonosos e fossilíferos, com intercalações de arenitos cinza-claros, finos, argilosos e micáceos, com até 5m de espessura.

A idade Devoniana, aceita pela maioria dos autores, baseia-se na abundante fauna de trilobitas, braquiópodes e quitinozoários. Sua espessura em superfície é variável, em função da erosão e problemas estruturais. SCHNEIDER et al (1974), apresentaram valores da ordem de 200 a 300m; em subsuperfície, foi medida uma espessura de 467m, em poço perfurado na região de Alto Garças-MT (PCBAP, 1997).

Quanto à sua posição estratigráfica, a mesma sotopõe-se aos sedimentos da Formação Aquidauana, em contato discordante erosivo. Em áreas restritas é recoberta pela Formação Botucatu e pelo Grupo Bauru, além das coberturas detrítico-lateríticas e aluviões recentes. Sobrepõe-se à Formação Fumas em contato concordante e gradual.

O ambiente de sedimentação é aceito de maneira unânime pelos estudiosos como sendo marinho, sob condições redutoras, zona nerítica e clima frio (OLIVEIRA, 1964). Alguns autores defendem a variação na profundidade de deposição, baseando-se na divisão em membros feito por LUDWIG & RAMOS (1965) que teriam a seguinte seqüência na deposição: Membro Inferior - ambiente infra-nerítico transgressivo; Membro Médio - ambiente batial e Membro Superior - ambiente infranerítico regressivo.

- **Formação Aquidauana (Pca)**

A Formação Aquidauana é constituída por uma seqüência sedimentar com intensa variação faciológica, predominantemente arenosa e de coloração vermelho-arroxeadada, na qual distinguem-se três níveis: Superior, formado por arenitos com estratificação cruzada e siltitos vermelho-tijolo, finamente estratificados (Foto 1); Médio, com arenitos finos a muito finos, estratificação plano-paralela e intercalações de siltitos, folhelhos e diamictitos subordinados e Inferior, contendo arenitos avermelhados com lentes de diamictitos, intercalações de argilitos, arenitos grosseiros esbranquiçados, arcóseos e conglomerado basal (ALMEIDA, 1954; RADAMBRASIL, 1982).



Foto 1. Detalhe de testemunho residual da formação Aquidauana, com afloramento de arenitos vermelhos, apresentando estratificação cruzada de grande porte. (A.P.F-Maio/2000)

O ambiente de sedimentação dessa formação é caracterizado pela presença subordinada de diamictitos, sugerindo uma influência glacial próxima à área de sedimentação. A deposição se deu em ambiente fluvial-lacustre (FIORI, 1977; PCBAP, 1997).

Foi primeiramente descrita por DERBY (1895) que a comparou com os arenitos da Chapada da zona de Cuiabá, de Idade Devoniana. LISBOA (1909) in RADAM BRASIL 1982, considerou-a como membro inferior da Série Triássica, não encontrando discordância entre os arenitos Botucatu e os da Serra de Aquidauana. ALMEIDA (1954) reconheceu a existência de camadas glaciais e fluvioglaciais dentro do Arenito Aquidauana, usando então a denominação Série Aquidauana.

Na área estudada, as litologias desta unidade ocorrem numa faixa estreita, situada na borda da Serra Negra, que serve de divisor de águas entre a bacia do Rio Negro e Aquidauana (Foto 2). Apresentam intenso tectonismo, com falhas de gravidade, que mascaram as relações estratigráficas.

Assenta-se de modo discordante erosivo sobre arenitos da Formação Furnas, enquanto o contato superior é discordante erosivo em relação aos sedimentos da Formação Botucatu e aos basaltos da Formação Serra Geral (PCBAP, 1997). Forma sempre um relevo escarpado.

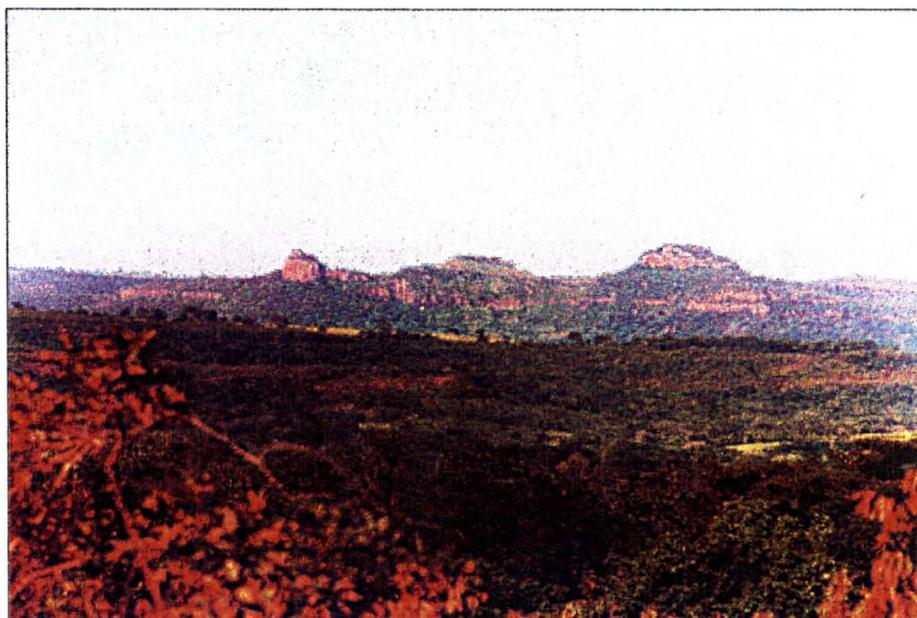


Foto 2. Panorâmica da região composta pela Formação Aquidauana, com vista ao fundo da Serra Negra. (J.A.G-Maio/2000)

- **Formação Botucatu (JKb)**

O Grupo São Bento compõe-se das Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral. A primeira compreende a fácies Pirambóia de MAACK (1947), englobando siltitos, argilitos, folhelhos fossilíferos, arenitos finos e conglomerado basal. É de idade Triássica e ocupa a posição de base do Grupo São Bento, caracterizando a fase de deposição aquosa. Não foi, entretanto, individualizada na área da BAP, tendo sido mapeada em conjunto com a Formação Botucatu.

Vários autores estudaram as litologias que hoje compõem o Grupo São Bento, destacando-se ALMEIDA (1954), BEURLIN (1956), MUHLMANN (1974) e CORRÊA et al (1976), que o subdividiram nas formações Botucatu e Serra Geral.

O nome Botucatu foi introduzido na literatura geológica da Bacia do Paraná por CAMPOS (1889), ao estudar os arenitos que constituem a serra de mesmo nome no Estado do Paraná. A Formação Botucatu é constituída por arenitos eólicos, róseos a avermelhados, finos a muito finos, bem selecionados, com estratificações cruzadas de pequeno a grande porte.

As características litológicas e sedimentares dessa formação indicam deposição eólica em ambiente desértico e, localmente, condições fluvio-lacustres restritas, associadas a rios meandantes e pequenas lagoas, sob condições climáticas oxidantes. ALMEIDA (1954), admitiu a formação de grandes Ergs em ambiente desértico, onde as dunas eram movidas por ventos provindos do norte. A Formação Botucatu apresenta-se expressivamente distribuída nas áreas compreendidas pelas escarpas das Serras de Maracaju, São Gabriel e Camapuã.

Na bacia em estudo, ocorre entre a escarpa de São Gabriel e da Serra Negra, e também junto à borda oriental da Chapada de São Gabriel. É encontrada freqüentemente intertrapeada com derrames basálticos.

- **Formação Serra Geral (JKsg)**

A Formação Serra Geral aparece recobrimdo os arenitos da Formação Botucatu, sendo o contato entre ambos perfeitamente definido pela ocorrência de quebra de relevo bem acentuada. É constituída de derrames de basaltos toleíticos, cinza-escuros e esverdeados, texturas afaníticas, com amígdalas no topo, raramente vitrofírica e lentes de arenitos eólicos, intertrapeados em sua porção basal. Representa o produto de grandes derrames, causados por tectonismo de distensão que deu origem a grandes fendas por onde ascenderam as lavas que, no início, formaram um ciclo deposicional com os

arenitos, em forma de dunas erigidas pelos ventos provenientes das áreas desérticas, a norte (PCBAP, 1997).

Furos de sonda realizados pela Petrobrás registraram 464 metros para o arenito Botucatu na região de Taquari-MT e 1.529 metros para os basaltos Serra Geral, em Presidente Prudente-SP (PCBAP 1997). TEIXEIRA (1980), definiu para o magmatismo uma época em torno de 130 milhões de anos, admitindo idade Jurocretácica para a Formação Serra Geral.

- **Formação Bauru (Kb)**

A Formação Bauru é constituída por arenitos, vermelhos e róseos, de granulação média a grosseira, mal classificados, com grânulos e seixos esparsos e níveis conglomeráticos, muitas vezes calcíferos. Lentes de conglomerados de matriz argilosa, vermelha e níveis de sílex estão presentes (RADAMBRASIL, 1982).

O termo Bauru foi primeiramente empregado conforme ALMEIDA (1946), para identificar sedimentos areno-calcíferos da Bacia do Rio Paraná, no Estado de São Paulo. LISBOA (1909), estendeu para o planalto de Maracajú os sedimentos que em São Paulo cobriam os derrames Basálticos. Posteriormente, a Formação Bauru foi estendida para a borda ocidental da Bacia do Paraná e suas características foram reconhecidas por diversos autores entre os quais ALMEIDA (1946, 1948, 1954 e 1958), BEURLIN (1956), GONÇALVES e SCHNEIDER (1968 e 1970) e outros.

Em 1980, SOARES et al., propuseram a elevação da Formação Bauru à categoria de Grupo no Estado de São Paulo, constituído pelas Formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantino e Marília. Entretanto, na área de estudo não foram ainda identificadas as formações reconhecidas por Soares e dessa forma preferiu-se manter a denominação de formação.

A idade da Formação Bauru é dada como Cretáceo Superior, alicerçada pelo conteúdo fossilífero, além de cobrir os derrames basálticos Serra Geral, de Idade Jurocretácica comprovada.

A formação Bauru ocupa uma área de direção noroeste-sudeste, do mapa geológico (vide figura 2).

- **Cobertura Detrito-Laterítica (TQdl)**

São depósitos caracterizados pela presença de aglomerados e sedimentos areno-siltosos, parcial ou totalmente laterizados. São depósitos de cones de dejeção

coalescentes, carrapaças ferruginosas (Foto 3), etc, ocorrentes nas áreas de pediplanos da Depressão do Rio Paraguai, envolvendo serras e inselbergs da região. Atribui-se a estes depósitos idade Quaternária antiga, tendo sido formados em condições climáticas distintas da atual. A espessura destas acumulações é variável, podendo atingir até 10 metros. São pacotes horizontalizados, com morfologia característica e peculiar ausência ou escassez de drenagem. Comporta altimetrias que vão de 500 a mais de 600m (EMBRAPA 1997).



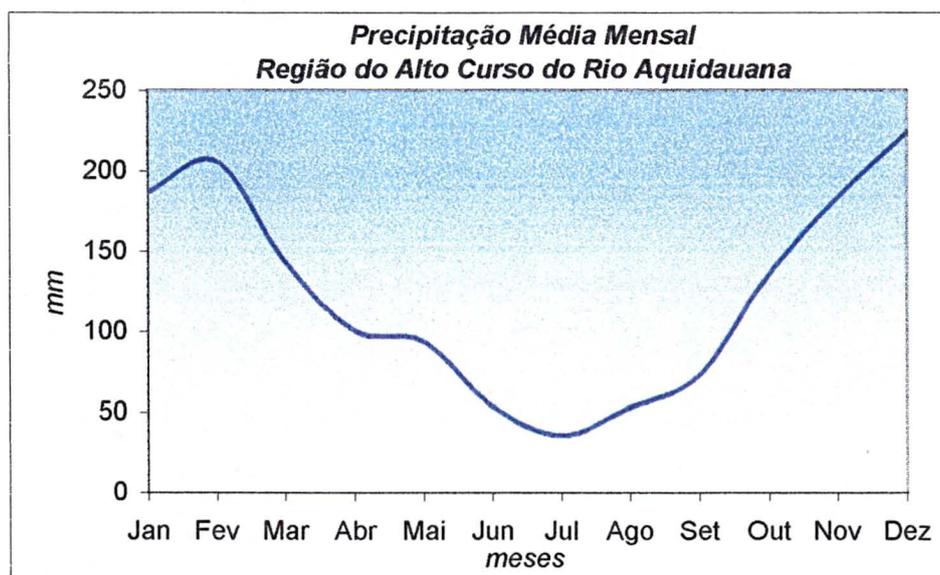
Foto 3: Aglomerados formados pela cobertura detritica-laterítica, encontrado sobre a Chapada de São Gabriel. (A.P.F.-Set/1999)

2.1.2. Caracterização pluviométrica

Segundo BOTELHO (1999), a análise de dados climáticos (principalmente temperatura média anual, temperaturas máxima e mínima médias anuais, total pluviométrico anual e totais máximo e mínimo médios anuais e distribuição da precipitação) revela informações extremamente importantes, como período de maior potencialidade erosiva das chuvas, riscos de estiagens, geadas, etc.

Quanto às características climáticas, a área apresenta uma precipitação média anual que varia em torno de 1.500mm. O regime da precipitação é tipicamente tropical, apresentando dois períodos distintos: um chuvoso, que se inicia em outubro e estende-se até março, quando ocorre cerca de 80% do total anual de chuvas, e outro seco, no período de abril a setembro (Gráfico 1). O trimestre mais chuvoso compreende os meses de dezembro, janeiro e fevereiro com cerca de 30% do total anual de chuvas.

Gráfico 1. Características pluviiais na área em estudo



Fonte: SEPLAN (1992)

Os dados pluviiais da área quando expressos graficamente demonstram a significativa queda no volume das precipitações no período entre maio e agosto.

As precipitações (EMPAER/1997), nos meses de inverno são originadas principalmente por frentes frias que precedem as massas de origem polar que se deslocam sobre o Brasil, geralmente com pouca intensidade sobre a região centro-oeste. Já as de período mais chuvoso são geradas, principalmente, pela atividade convectiva devido ao forte aquecimento regional (Foto 4), aliado algumas vezes, às instabilidade decorrentes de invasões de massa polares. Como outra origem têm-se as linhas de

instabilidade que se deslocam no sentido de W-NW para E-SE. Algumas vezes estas situações tendem a se conjugar, gerando fortes aguaceiros.



Foto 4. Aspecto (ao fundo) de uma frente de chuvas torrenciais, as quais provocam maior lixiviação do solo, quando exposto. (J.A.G.-Set/1999)

A região do alto curso do rio Aquidauana, com um clima predominantemente tropical chuvoso não apresenta uma estação fria, mas uma estação seca (inverno) bem definida. Aplicando a classificação climática proposta por Köepenn, foi identificado o clima do tipo Aw, cuja descrição é: clima tropical quente, com estação seca bem definida e coincidente com o inverno do hemisfério sul; tem, pelo menos, um mês com precipitação menor que 60mm e com menor temperatura média mensal superior a 18° C. A média verificada no local é de 24° em janeiro e de 19° em julho, enquanto que a umidade relativa média do ar é de 80% em janeiro e 65% em julho.

A pluviosidade, concentrando-se nos meses de verão, favorece os fenômenos de escoamento concentrado, ampliando o processo de dissecação e incisão dos solos, causando uma verdadeira lixiviação da área e adicionando seus efeitos à força da gravidade para carrear os detritos vertente abaixo. A aceleração do processo erosivo através da precipitação também se dá pelo impacto das gotas com energia cinética suficiente para provocar a fragmentação dos agregados dos solos. Este processo, entretanto pode ser amortecido pela cobertura vegetal.

2.1.3. Hidrografia

O estudo da rede hidrográfica, suas nascentes, padrão, densidade e tipos de canais fluviais e seus perfis longitudinais, velocidade, turbidez e qualidade da água, entre outros parâmetros, conforme BOTELHO (1999), permite avaliar desde a disponibilidade de recursos hídricos para irrigação até o estado de degradação das terras adjacentes, em função da constatação da alta carga de sedimentos transportados e/ou assoreamento do leito do rio.

A região em estudo é drenada pela bacia do Rio Aquidauana em seu alto curso. Este rio é um dos principais afluentes da bacia do rio Miranda. Nasce no Planalto de Maracaju – Campo Grande, e possui um curso subsequente em relação à Serra de Maracaju. A bacia do rio Aquidauana é tida como uma das mais influentes na dinâmica fluvial da região meridional pantaneira.

A atual rede de drenagem exhibe um severo controle estrutural, provavelmente devido a interferências neotectônicas, com movimentação de estruturas subjacentes (afundamentos, soerguimentos e basculamentos de blocos).

A área em estudo caracteriza uma bacia de 6ª ordem. Notadamente, uma das observações de campo que chamaram à atenção foi o grande volume de água expresso nos córregos formadores do rio Aquidauana, representando a influência do lençol freático na contribuição da vazão destes rios, uma vez que em períodos de estiagem estes permanecem com uma vazão considerável. E, também o grande número de nascentes situadas próximas ao leito de alguns rios, como é o caso do córrego Córquinho (Foto 5).

Outra característica da área é a presença de meandros abandonados (Foto 6), encontrados principalmente nos afluentes à margem esquerda do rio Aquidauana, indicando uma forte atuação da dinâmica geomórfico-fluvial.

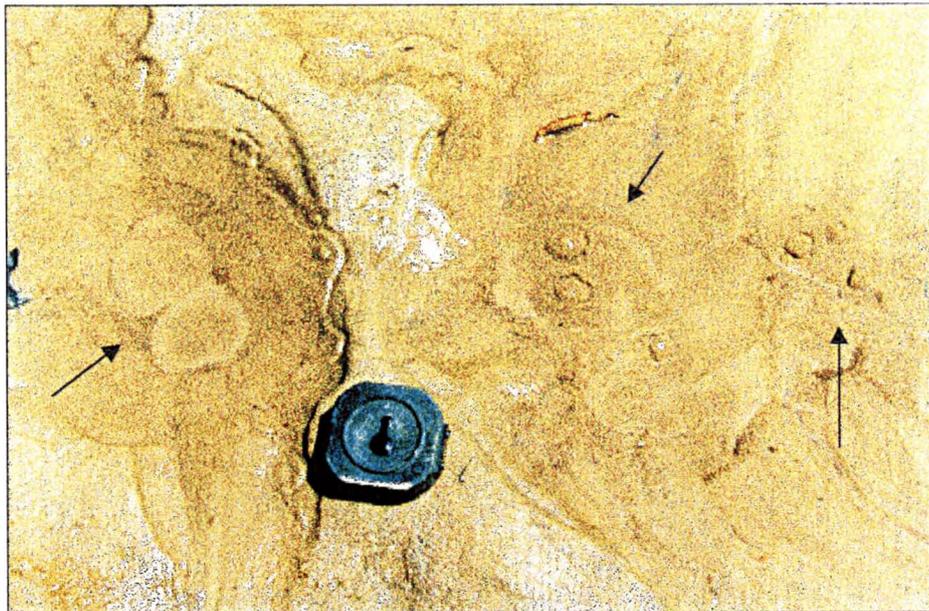


Foto 5: Pontos de surgência d'água junto à margem esquerda do Córrego Córquinho, evidenciando uma importante contribuição do lençol freático. (A.P.F.-Set/1999)

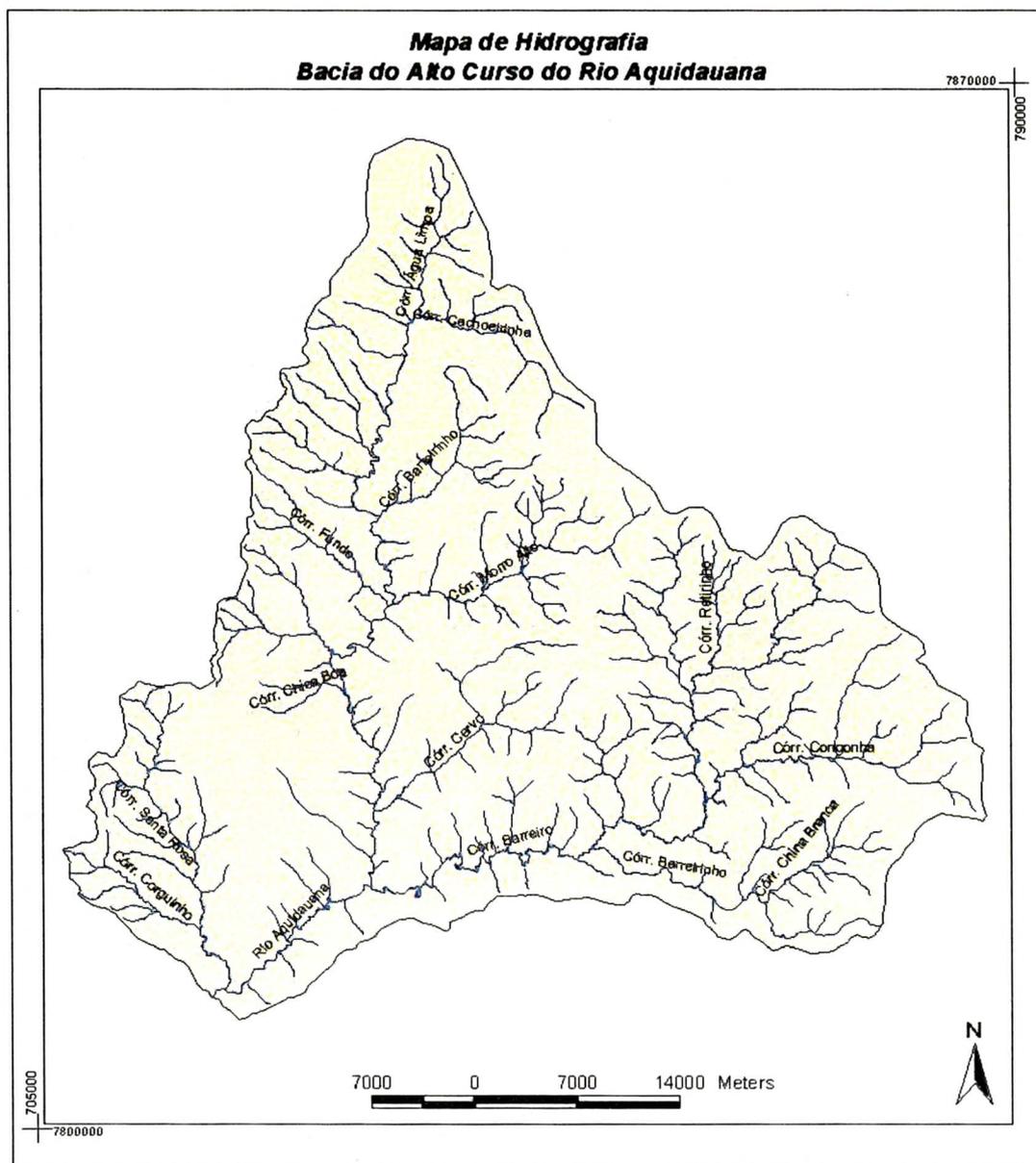


Foto 6. Antigo leito de um dos afluentes do Córrego Barreiro, atualmente assoreado, com aproximadamente três metros de desnível em relação ao leito atual. (J.A.G.-Set/1999)

Os afluentes da margem esquerda do rio Aquidauana possuem um padrão de drenagem dendrítico nas ordens inferiores, enquanto que no eixo superior predomina o padrão retangular, com sinuosidade à jusante. Estas características representam o produto de alteração do basalto que apresenta-se mais argiloso, refletido inclusive na

maior densidade hidrográfica; enquanto que os afluentes da margem direita e toda área de captação da nascente principal do rio Aquidauana (Figura 3), onde os solos são mais arenosos, e portanto, mais porosos, são regidos por um controle estrutural, caracterizado por canais retilinizados e sub-paralelos.

Figura 3. Mapa Hidrográfico da bacia do alto curso do rio Aquidauana



Fonte: Carta topográfica, 1:250.000. DSG/1969.

Em situação onde o contato entre as formações Aquidauana (Pca) e Bauru (JKb) formam escarpas mais abruptas, a susceptibilidade à erosão é maior e o padrão de drenagem demonstra uma maior densidade de canais à semelhança do padrão em candelabro.

De uma forma geral, a bacia é caracterizada por canais principais que apresentam um padrão retangular, com controle estrutural, exercida pelas fraturas do basalto (Foto 7) e contatos geológicos. Os canais de 1ª e 2ª ordem apresentam padrão dendrítico e retangular dendrítico, ou seja com drenagem mista, onde o solo é mais dissecado.

Segundo CHRISTOFOLETTI (1980) “os padrões de drenagem referem-se ao arranjo espacial dos cursos fluviais, que podem ser influenciados em sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região. Uma ou várias bacias de drenagem podem estar englobadas na caracterização de determinado padrão.”

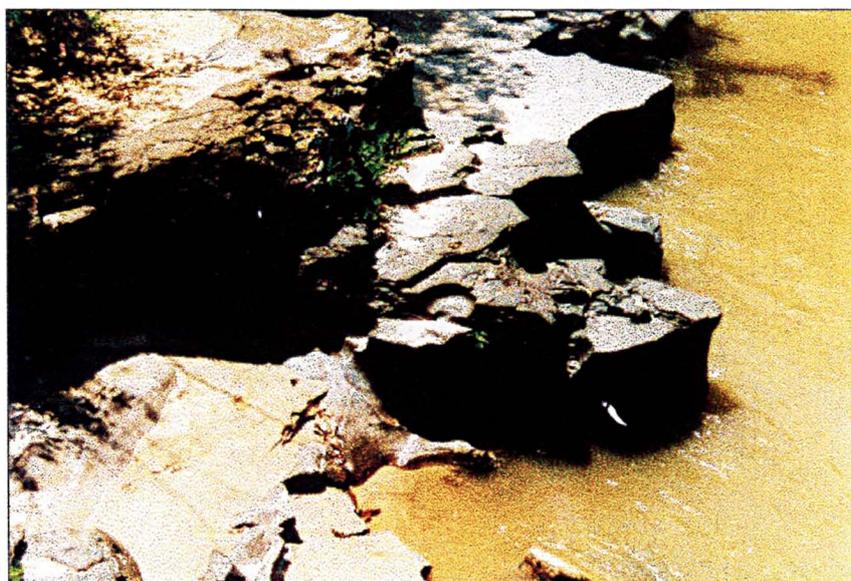


Foto 7: Afloramento do basalto, junto à margem do rio Aquidauana, próximo à cidade de Córquinho. (J.A.G.-Maio/2000)

Os principais afluentes do rio Aquidauana da margem direita são: Córrego Córquinho; Córrego Chica Boa; Córrego Fundo, enquanto os afluentes da margem esquerda são: Córrego Barreirinho; Córrego Morro Alto; Córrego do Cervo e, o Córrego Retirinho, Córrego Mimoso. Os Córrego Congonha e Barreirinho formam o Córrego Barreiro, que é o maior contribuinte do rio Aquidauana na bacia em estudo. Os córregos Água Limpa e Cachoeirinha são os formadores do Rio Aquidauana.

2.1.4. Geomorfologia

O uso da cartografia e informação geomorfológicas objetiva representar a fisionomia da paisagem, tendo em vista a identificação dos elementos ou ambientes de acumulação e transporte, caracterização dos processos morfogenéticos, e as implicações da ação antrópica. Sob o ponto de vista ambiental, as formas de relevo são consideradas fatores que exercem influência sobre as condições locais e criam condições hidrológicas (e topoclimáticas) específicas, (BOTELHO, 1999).

A área em estudo compreende um relevo configurado por extensos chapadões com entalhes incisivos em algumas áreas, caracterizando os efeitos de um processo antigo de erosão. É composta por extensas planícies no alto dos chapadões e vertentes suaves ao longo do curso principal, predominando declividades de até 5%. Próximo às escarpas, devido ao contato abrupto, verificam-se áreas com declividade acima de 30% (Foto 8). A hipsometria oscila entre a cota de 200m, junto à cidade de Córquinho, chegando a 760m de altitude no alto da Chapada de São Gabriel, apresentando uma amplitude de 560m (Figura 4). A bacia está inserida no Planalto Maracaju Campo-Grande, que é caracterizado por uma superfície pediplanada erosiva tabular, separada por vales de fundo plano.

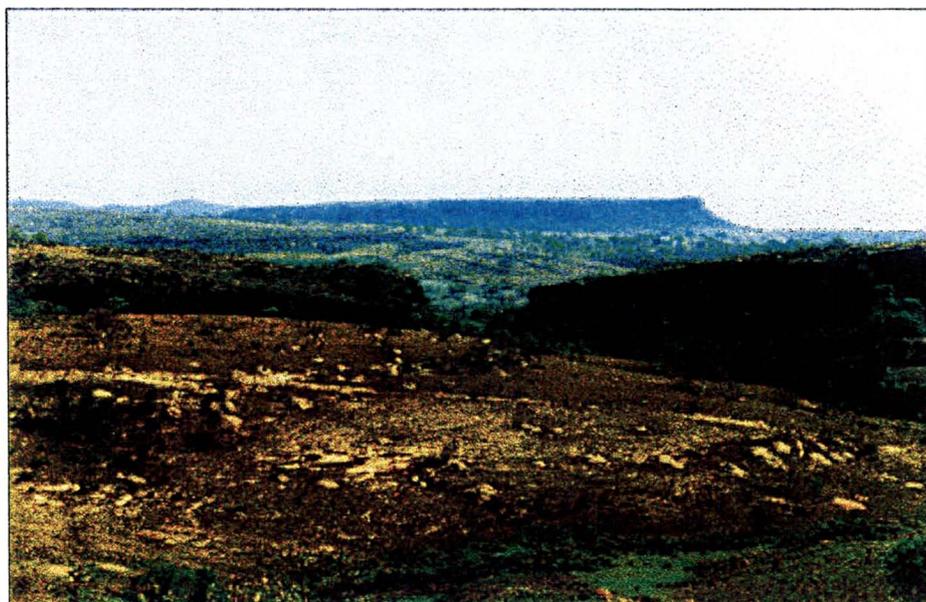
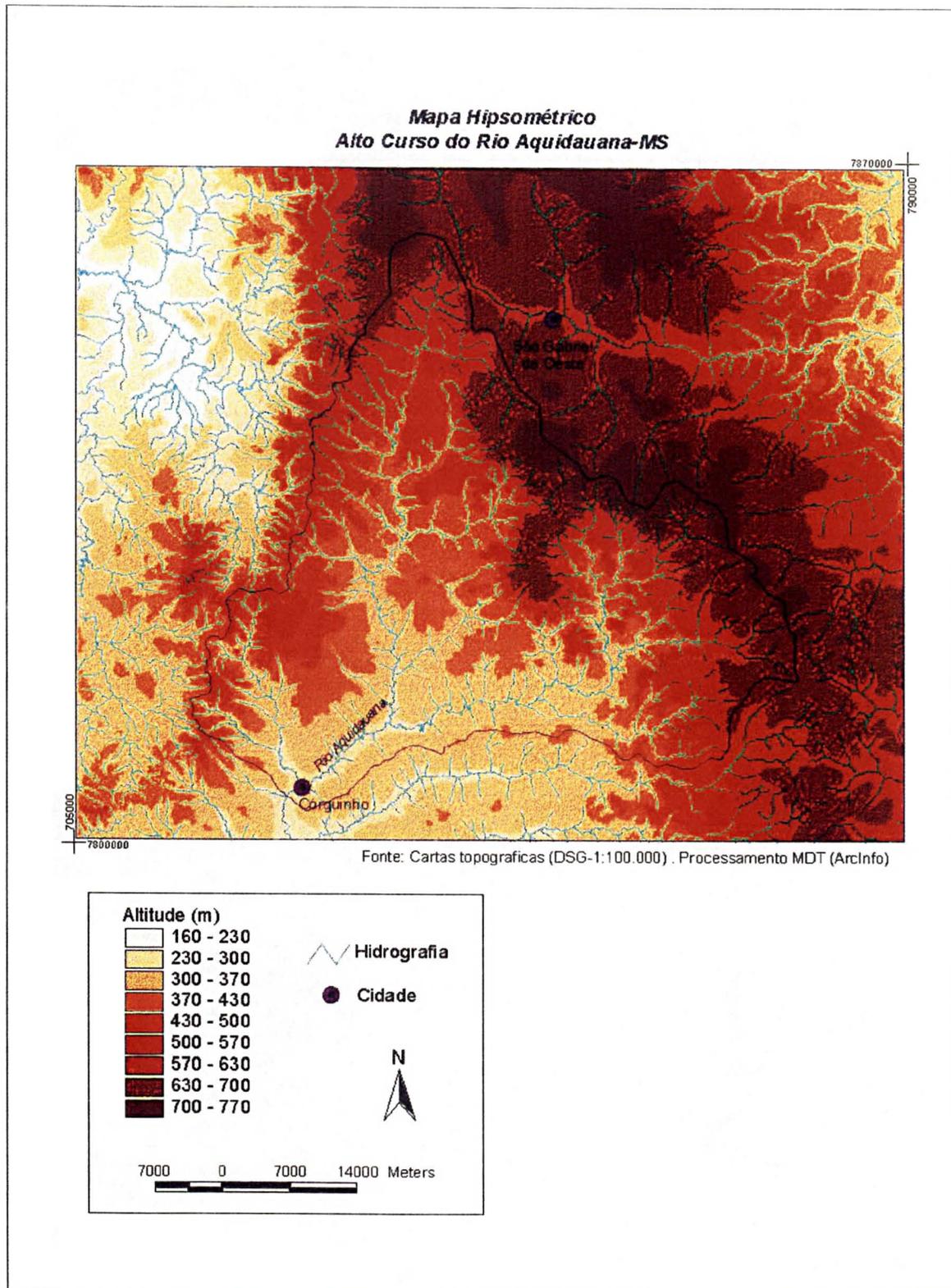


Foto 8. Vista parcial da região da margem direita do rio Aquidauana, onde observa-se as frentes de cuestas, e vale em forma de U. (A.P.F.-Maio/2000)

Figura 4: Mapa Hipsométrico da região do alto curso do rio Aquidauana/MS



Morfologicamente, segundo o Relatório RADAMBRASIL (1983), o Planalto de Maracaju-Campo Grande, é uma extensa superfície suavemente dissecada, com o predomínio de um relevo cuestiforme desdobrado e formas de dissecção de topo convexo.

A porção norte do Planalto Maracaju-Campo Grande apresenta superfícies pediplanadas com altimetrias de mais de 700m, enquanto na porção sul, as superfícies são mais dissecadas, com altimetrias inferiores à 700m.

Conforme características específicas de relevo e altitude, o Planalto de Maracaju-Campo Grande foi dividido em sub-unidades, das quais destacam-se na área de estudo a Chapada de São Gabriel, o Planalto de Maracaju e o Planalto de Campo Grande.

Chapada de São Gabriel

Localiza-se na porção noroeste do Planalto Maracaju-Campo Grande. É constituída de uma superfície pediplanada, mas com suaves variações topográficas, em posição geográfica de destaque por estar circundada por uma área de relevo mais rebaixado e dissecado. Com altitudes superiores a 700m e com um modelado essencialmente plano (Foto 9), a chapada é delimitada em quase toda a sua borda por escarpas erosivas e estruturais, apresentando também ressaltos topográficos por causa das rochas eruptivas da Formação Serra Geral. Suas bordas são compostas por áreas de forte dissecção em topografia acidentada .



Foto 9. Área de intenso cultivo mecanizado, favorecido pelas características de relevo plano a suave ondulado sobre a chapada de São Gabriel. (A.P.F.-Set/1999)

Convém salientar que a ação antrópica também tem contribuído, embora negativamente, através da formação de vossorocas (Foto 10). Isto é observado nas bordas da escarpa de São Gabriel, onde encontra-se a principal nascente do rio Aquidauana, região de transição de solos onde a vegetação nativa foi substituída por pasto plantado.

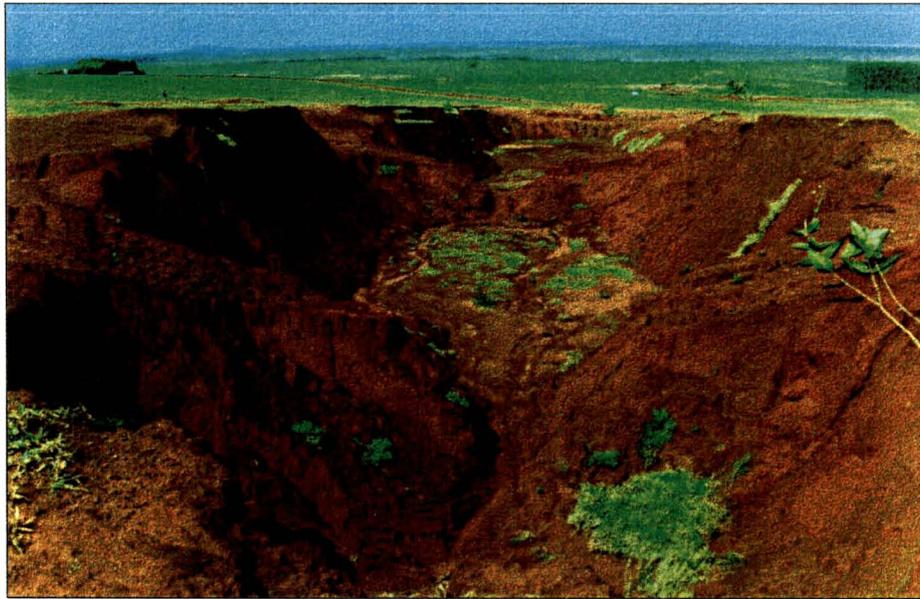


Foto 10: Área de pasto comprometida por vossorocamento, apresentando o rompimento da barragem de contenção, próximo a borda da Chapada de São Gabriel. (A.P.F.-Set/1999)

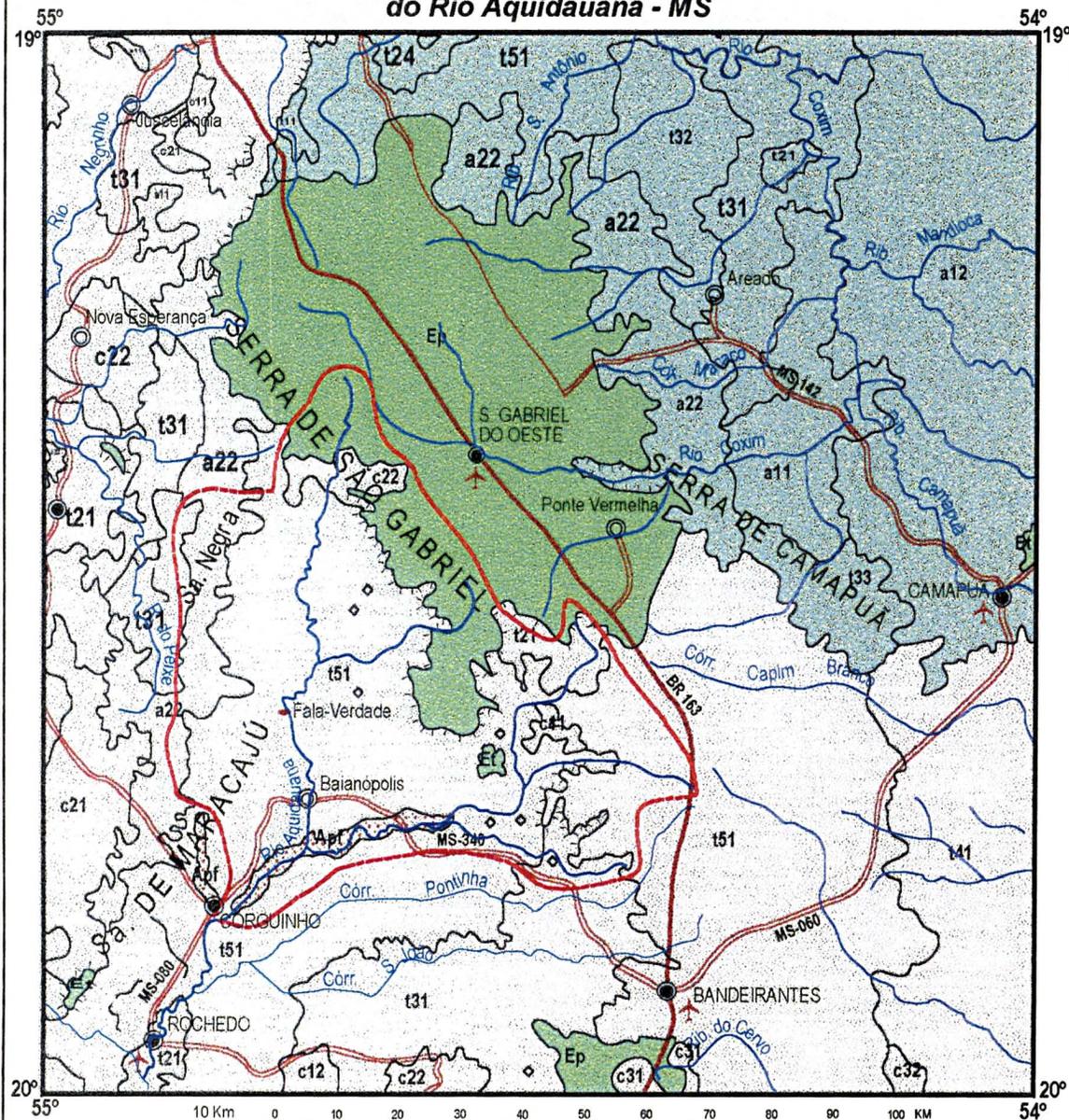
- **Planalto de Maracaju**

Delimitado pelas rochas basálticas da Formação Serra Geral na porção oriental, apresenta um modelado plano ou tabular nos principais interflúvios e convexo nas cabeceiras de drenagem nas bordas da chamada serras Maracaju, todas em frentes de cuestras com alturas inferiores a 100m. As maiores altitudes estão na Serra de Maracaju, podendo chegar a 600m. Na parte norte e oeste do Planalto, as formas são tabulares ou convexas, sustentadas pelas Formação Fumas, Aquidauana e Botucatu. Conforme o Projeto RADAMBRASIL (1982) a Serra de Maracaju apresenta escarpas nas bordas, configurando frentes de cuesta, dissimuladas pelas atividades erosivas e relevos residuais.

Regionalmente, os processos erosivos de circundesnudação periférica à bacia do Paraná, originaram cuestras desdobradas, algumas com frentes nítidas, outras já dissimuladas pela dissecação atual. Os melhores exemplos desse fato (Figura 5) são observados na seqüência litológica das cuestras em Arenito Fumas, cuestras em Arenito Aquidauana e cuestras em Arenitos Botucatu (EMBRAPA/EMPAER, 1997).

Mapa Geomorfológico da Região do Alto Curso do Rio Aquidauana - MS

Figura 4: Mapa Geomorfológico



LEGENDA:

- Hidrografia
- Rodovia Pavimentada
- Rodovia Implantada
- Área de estudo
- Ressalto Topográfico
- Cidade
- Vila
- Povoado, lugarejo
- Aeródromo

- Ep } Planalto Maracajú
- a, c, t } Campo-Grande
- Apf } Planície Fluvial

FORMAS EROSIVAS

Ep - Superfície pediplanada. Superfície de aplanamento elaborada por processo de pediplanação, cortando litologias cambrianas do Grupo Alto Paraguai. Corumbá e devonianas da Formação Fumas

Et - Superfície erosiva tabular. Relevo residual de topo aplanado provavelmente testemunho de superfície aplanada. Geralmente limitado por escarpas erosivas.

FORMAS DE DISSECAÇÃO

a - Formas aguçadas. Relevo de topo contínuo e aguçado, com diferentes ordens de grandeza e aprofundamento de drenagem, separado geralmente por vales em "V".

c - Formas convexas. Relevo de topo convexo. Com diferentes ordens de grandeza e de aprofundamento de drenagem. Separado por vales de fundo plano.

t - Formas tabulares. Relevo de topo plano. Com diferentes ordens de grandeza e aprofundamento de drenagem. Separado por vales de fundo plano.

FORMAS DE ACUMULAÇÃO

Apf - Planície fluvial. Área plana resultante de acumulação fluvial periodicamente alagada.

ÍNDICES DE DISSECAÇÃO

Ordem de grandeza das formas de dissecação: A dimensão das formas foi agrupada em cinco classes, designadas por metros e representadas pelo 1º dígito no quadro abaixo. Intensidade de aprofundamento da drenagem: Foi separada em cinco classes, qualificadas e representadas pelo 2º dígito no quadro abaixo.

ORDEM DE GRANDEZA DAS FORMAS DE DISSECAÇÃO

INTENSIDADE DE APROFUNDAMENTO DA DRENAGEM	ORDEM DE GRANDEZA DAS FORMAS DE DISSECAÇÃO				
	≤ 250m	> 250m ≤ 750m	> 750m ≤ 1.750m	> 1.750m ≤ 3.750m	> 3.750m ≤ 12.750m
MUITO FRACA	11	21	31	41	51
FRACA	12	22	32	42	52
MEDIANA	13	23	33	43	53
FORTE	14	24	34	44	45
MUITO FORTE	15	25	35	45	55



Fonte : Sub-set da folha SE -21 - Corumbá, elaborada pelo Projeto RadamBrasil (1982) em escala 1:1.000.000. Digitalizado por Antonio Conceição Paranhos Filho e Ivonete Cesar Pula sob a supervisão de Alberto Pio Fiori. Reorganização: Juçimar Aparecida Guedes

- ***Planalto de Campo Grande***

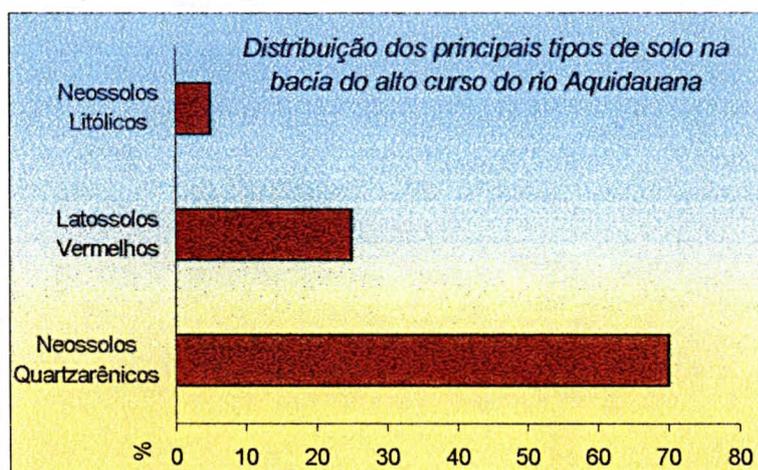
O Planalto de Campo Grande está localizado na porção leste do Planalto de Maracaju/Campo Grande e foi definido e caracterizado ao se destacar como relevo de Planalto, com uma área mais elevada e dissecada. Na parte norte, aparecem frentes de cuesta dissimuladas abaixo de 200m, o que se repete nas nascentes dos rios Dois Irmãos, Aquidauana e Miranda, entre outros. De uma forma geral, na borda do Planalto aparecem formas tabulares e no interior, formas aguçadas. Os processos erosivos que atuaram em épocas pretéritas fizeram aparecer as rochas basálticas da Formação Serra Geral que originaram as formas aguçadas e vertentes abruptas do relevo (EMBRAPA/EMPAER, 1997). A área é muito bem drenada pelas nascentes dos rios Aquidauana, Varadouro, Jatobá, entre outros.

2.1.5. Solos

Vários são os fatores ambientais que exercem influência sobre a paisagem, porém, conforme TROPMAIR (1980) in BOTELHO (1999), o “*material dinâmico a ser erodido, transportado e depositado a curto prazo, ou mesmo curtíssimo prazo, se houver interferência antrópica não planejada, é o material intemperizado: o solo*”.

Conforme levantamento de reconhecimento dos solos realizados pelo PCBAP (1997), na área de estudo predominam os seguintes tipos de solos: Neossolos Quartzarênicos, Latossolos Vermelhos e Neossolos Litólicos, cujos percentuais de distribuição na área estão representados no Gráfico 2, a seguir:

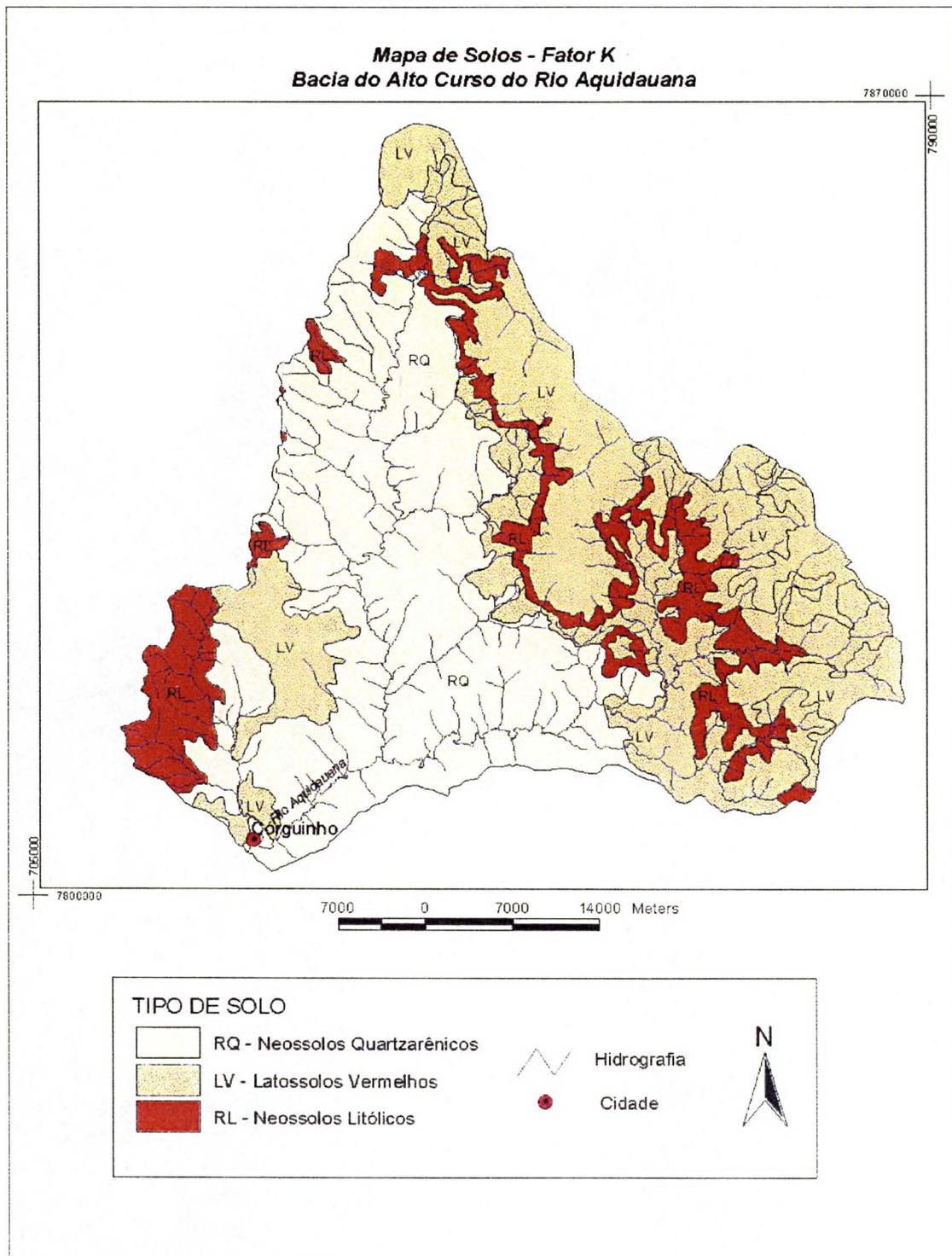
Gráfico 2: Distribuição dos solos da bacia do alto curso do rio Aquidauana até o segundo nível categórico.



Esta denominação dos solos, segue a nova proposta do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos apresentada pela EMBRAPA (1999), a qual apresenta classes de solos até o 6º nível categórico, assim definidas: 1º nível categórico (ordens), 2º nível categórico (sub-ordens), 3º nível categórico (grandes grupos), 4º nível categórico (subgrupos), 5º nível categórico (famílias) e 6º nível categórico (séries).

Devido à escala do mapa de solos utilizado como base, foi abordado neste estudo apenas a nomenclatura de classificação dos solos até o segundo nível categórico (Figura 6), seguindo a atual descrição e definição dos solos proposta pela EMBRAPA (1999).

Figura 6. Mapa de Solos da bacia formada pelo alto curso do rio Aquidauana/MS



Fonte: Radam Brasil/1983

2.1.5.1. Definição do primeiro nível categórico de solos

- ***Neossolos (R)***

Este grupo compreende solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso, com menos de 30cm de espessura, em consequência da baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, que não conduziram ainda a modificações expressivas do material originário, pela sua resistência ao intemperismo ou composição química e condições de relevo, que impedem ou limitam a evolução desses solos. Não apresentam qualquer tipo de horizonte B (EMBRAPA, 1999).

A Embrapa inclui nessa classe, solos como: Litossolos e Solos Litólicos, Regossolos, Solos Aluviais e Areias Quartzosas (Distróficas, Marinhas e Hidromórficas). Pertencem ainda a esta classe solos com horizonte A, com menos de 30cm de espessura, seguidos de camada(s) com 90% ou mais (expresso em volume) de fragmentos de rocha ou do material de origem independente de sua resistência ao intemperismo.

- ***Latossolos (L)***

São solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200cm da superfície do solo ou dentro de 300cm, se o horizonte A apresentar mais que 150cm de espessura. Estão incluídos nesta classe todos os Latossolos, excetuadas algumas modalidades, como Latossolos plínticos.

Encontram-se em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo (salvo minerais pouco alteráveis). Os solos são virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários, menos resistentes ao intemperismo, e têm capacidade de troca de cátions baixa, inferior a 17cmol_c/Kg de argila sem correção para carbono, comportando variações desde solos predominantemente cauliníticos, com valores de K_i mais altos, em torno de 2.0, admitindo o máximo de 2.2, até solos oxidicos de K_i extremamente baixo (EMBRAPA, 1999).

Variam de fortemente a bem drenados, embora ocorram variedades que têm cores pálidas, de drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenados, transicionais para condições de maior grau de gleização.

São normalmente muito profundos, sendo a espessura do *solum* raramente inferior a um metro. Têm seqüência de horizontes A, B, C, com pouca diferenciação de horizontes, e transições usualmente difusas ou graduais. O incremento de argila do horizonte A para o B é pouco expressivo, e a relação textural B/A não satisfaz os requisitos para B textural. De um modo geral, os teores da fração de argila no *solum* aumentam gradativamente com a profundidade, ou permanecem constantes ao longo do perfil. Tipicamente, é baixa a mobilidade das argilas no horizonte B, ressalvados comportamentos atípicos, de solos desenvolvidos de material arenoso quartzoso, de constituintes orgânicos ou com diferença de pH positivo ou nulo.

São em geral, solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, Distróficos ou Álicos. Ocorrem, todavia, solos com média e até mesmo alta saturação por bases, encontrados geralmente em zonas que apresentam estação seca pronunciada, semi-áridas ou não, como, também, em solos formados a partir de rochas básicas.

São típicos de regiões equatoriais e tropicais, ocorrendo também em zonas subtropicais, distribuídos, sobretudo, por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos, normalmente em relevo plano e suave ondulado, embora possam ocorrer em áreas mais acidentadas, inclusive em relevo montanhoso. São originados a partir das mais diversas espécies de rochas, sob condições de clima e tipos de vegetação os mais diversos.

2.1.5.2. Definição do segundo nível categórico de solos

- ***Neossolos Quartzarênicos (RQ)***

Segundo definição da EMBRAPA (1999), são solos com seqüência de horizontes A-C, sem contato lítico dentro de 50cm de profundidade, apresentando textura areia ou areia franca nos horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico, essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo).

Nesta classe estão compreendidos solos minerais, não hidromórficos, pouco evoluídos, de textura arenosa em toda a extensão do perfil. Apresentam horizonte A moderado e horizonte C de cores claras e avermelhadas, em função do material de origem. Estes tipos de solos são permeáveis, excessivamente drenados e sem estrutura desenvolvida, ou com estrutura muito fracamente desenvolvida, sendo assim constituídos

basicamente por grãos simples. São também muito baixos os valores de soma de bases, além de, na maioria das vezes, ser elevada a saturação por alumínio.

Esses fatores, aliados à baixa capacidade de retenção de umidade, intensa lixiviação e elevada susceptibilidade à erosão, sobretudo quando sujeitos a fluxo de água concentrado, que pode provocar a instalação de grandes voçorocas, tornam estes solos praticamente inviáveis para o uso agrícola, sendo sua utilização restrita a pastagens, desde que bem manejadas. São os mais amplamente distribuídos, ocupando cerca de 70% da área de estudo, compreendendo a maior parte do vale que acompanha o eixo principal do rio Aquidauana (Foto 11), onde predomina a pastagem plantada (bracchiaria) para pecuária extensiva.



Foto 11. Detalhe da presença de neossolos quartzarênicos, sem estrutura e consistência, oriundos da Formação Botucatu. (A.P.F.-Set/1999)

- **Neossolos Litólicos (RL)**

Segundo a Embrapa (1999), são solos com horizonte A ou O hístico com menos de 40cm de espessura, assente diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume), ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2mm (cascalhos, calhaus e matacões) e que apresentam um contato lítico dentro de 50cm da superfície do solo. Admite um horizonte B, em início de formação, cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico.

Esta classe é constituída por solos não-hidromórficos pouco evoluídos, muito arenosos, medianamente profundos. Diferenciam-se dos Neossolos Quartzarênicos por apresentarem, principalmente nos de caráter eutrófico, bastante materiais primários de fácil intemperização, nas frações areia e/ou cascalho (>4%) (CAMARGO ET AL., 1987). Caracterizam-se pela ausência de um horizonte B no perfil. São constituídos por solos onde um horizonte A, por vezes chernozêmico, moderado ou mais frequentemente fraco, repousa diretamente sobre a rocha, ou mesmo sobre um horizonte C em evolução. São bastante rasos, de textura e fertilidade variáveis (distróficos e eutróficos), dependendo da rocha matriz. Como material de origem desses solos aparecem granitos, gnaisses, arenitos, etc.

De maneira geral, esses solos apresentam propriedades físicas limitantes à exploração intensiva, sendo muito susceptíveis à erosão (JACOMINE et al., 1972) e, portanto, muito utilizados com pastagens. Ocupam uma estreita faixa (Foto 12) que se estende de sudeste a norte, ocupando cerca de 25% da área de estudo.



Foto 12. Característica do tipo de neossolo litólico, com horizontes bem definidos.
(J.A.G.-Maio/2000)

No caso da área de estudo, encontram-se relacionados a locais com relevo movimentado, como é o caso da Serra Negra (Planalto Maracaju-Campo Grande), onde aparece uma pequena mancha à sudoeste da bacia na margem direita do rio Aquidauana, sobre a formação Aquidauana.

Quanto às possibilidades de uso, esta classe apresenta uma série de limitações naturais, como topografia desfavorável para mecanização, pequena profundidade e em

muitos casos, presença excessiva de cascalhos e/ou concreções ferruginosas, que funcionam como impedimento ao desenvolvimento de raízes, além das limitações de ordem química, no caso dos álicos e distróficos.

Tendo em vista a magnitude dos problemas que apresentam, a preservação da fauna e flora constitui a recomendação para estes solos, muito embora, em alguns casos, possam ser aproveitados com restrições para pastagem e / ou silvicultura.

- ***Solos Aluviais***

São sedimentos holocênicos, constituídos por cascalhos, areias e siltes, depositados ao longo de rios, na forma de faixas estreitas de aluviões atuais. Não foram representados no mapa de solos da área em estudo devido à escala. Os depósitos são poucos espessos, uma vez que as drenagens estão muito encaixadas, com controle estrutural.

- ***Latossolos Vermelhos (LV)***

Esta classe compreende solos minerais não hidromórficos, altamente intemperizados, que se caracterizam por possuírem horizonte B latossólico de cor avermelhada, com matiz 2.5R ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA). Conforme CAMARGO et al (1987) e EMBRAPA (1988), são normalmente muito profundos, com espessura total raramente inferior a dois metros, de elevada permeabilidade e em geral, acentuadamente drenados. Apresentam seqüência de horizontes do tipo A, Bw, C, com reduzido incremento de argila em profundidade. Constituem características marcantes destes solos, baixos teores de sílica e ausência de minerais pouco resistentes e reduzida susceptibilidade à erosão.

O material do horizonte B apresenta elevada susceptibilidade magnética, sendo facilmente atraído por um imã, que constitui a principal característica de identificação no campo. Na Chapada de São Gabriel, este tipo de solo está relacionado à decomposição de rochas basálticas, desenvolvendo-se a partir da alteração dos basaltos da Formação Serra Geral. Em outras áreas é formado partir de sedimentos do Terciário-Quaternário e das formações Aquidauana, Botucatu, Bauru, e Furnas (RADAMBRASIL, 1982). Apresentam horizonte A moderado, caráter álico ou distrófico e textura bastante variável, desde média a muito argilosa.

Os solos dessa classe desenvolvem-se em relevo que vai do plano ao suavemente ondulado, sob vegetação de floresta densa, aberta, mista com palmeiras, caducifólia e de campo cerrado. Possui boas características físicas e topográficas, além de um potencial

nutricional relativamente bom pois, mesmo nos solos álicos, onde o conteúdo de alumínio trocável é baixo, é intensa a atividade agropastoril. A principal limitação ao uso agrícola desses solos refere-se à baixa fertilidade natural e ocorrência de alumínio trocável em níveis tóxicos nos solos álicos, o que requer aplicação de corretivos e fertilizantes para viabilizar sua exploração agrícola. Não obstante, as condições topográficas em que ocorrem, aliadas à grande espessura, elevada permeabilidade e ausência de impedimentos à mecanização conferem-lhe excelente potencial para utilização intensiva. Devido a este fato, as áreas ocupadas por este solo encontram-se praticamente desprovidas de vegetação natural, utilizadas principalmente na Chapada de São Gabriel, com agricultura de ciclo curto mecanizada (soja / milho / soja) onde a textura é mais argilosa (Foto 13). E, em alguns locais por pastagens, estas sobretudo nos solos de textura média, próximos a borda da escarpa, que em razão de seus maiores conteúdos de areia apresentam, em geral, menor capacidade de retenção de água e nutrientes, além de menor resistência à erosão. Nas bordas da Chapada, sobre esses solos, a vegetação é típica de floresta natural, estando ainda bem preservada. Devido às limitações relativas ao relevo, são usados somente para pastagem plantada mas, geralmente, com variedade de gramíneas mais exigentes e pecuária leiteira.

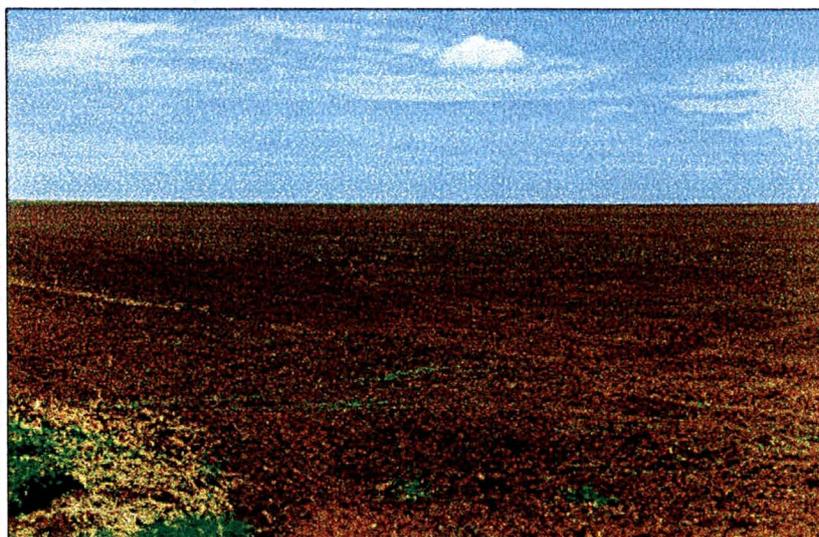


Foto 13. Ocorrência de Latossolo Vermelho sobre a Chapada de São Gabriel, em área preparada para o cultivo de soja e milho. (J.A.G.-Set/1999)

Apesar de apresentar boa resistência à erosão, este tipo de solo requer tratos conservacionistas adequados, conforme o declive do terreno e o tipo de uso.

2.1.6. Vegetação

A cobertura vegetal é o ponto de partida para se iniciar um trabalho de estabilização da dinâmica ambiental (PINTO, 1993). Como as formações vegetais originárias apresentam vários estratos de alturas diferenciadas, elas possuem a propriedade de interceptar e dispersar a transmissão da energia cinética das águas das chuvas EMPAER (1997). O desenvolvimento da cobertura vegetal restringe o escoamento superficial e reduz a sua ação sobre os processos erosivos, assim como, fornece detritos vegetais à superfície do solo amortecendo a mesma energia de impacto pluvial. Portanto, os detritos vegetais são condição importante para a pedogênese.

2.1.6.1. Tipos de vegetação encontrados na região

As características vegetacionais descritas a seguir, são abordadas conforme as designações extraídas do IBGE (1977) e EMPAER (1997).

- **CERRADO**

O Cerrado é a formação vegetal que melhor marca e individualiza o Centro-Oeste brasileiro do ponto de vista fitofisionômico. Compreende diversas fácies e essa, diversificação vegetacional se faz notar tanto no espaço quanto na composição florística, mas sem permitir que se perca a fisionomia caracterizadora ou definidora do Cerrado. Por força de seu importante estrato arbóreo o Cerrado, aproxima-se da formação florestal, ainda que de baixo porte, enquanto que, por outro lado, dado o espaçamento entre as árvores e arbustos e à presença de um tapete rasteiro, constitui-se numa vegetação aberta e que contém uma fase campestre na sua estrutura.

Á vista de tais condições pode-se situar o Cerrado como uma formação intermediária entre a Floresta Tropical, semi-úmida e outras formações menos evoluídas e mais abertas.

Os Cerrados se apresentam com fisionomias diversas segundo gradação estrutural, que vai do tipo arbóreo xeromorfo aos tipos herbáceo-arbustivo. Estas distinções estão relacionadas, principalmente, a diferenças pedológicas e topográficas.

Na bacia em estudo, foram encontrados os seguintes tipos de cerrado:

Cerradão ou savana arbórea densa

Recobre principalmente as áreas altas e escarpadas, de solos pouco desenvolvidos (destacam-se os litólicos) que sofrem o processo de dissecação. Essa formação se caracteriza fisionomicamente por apresentar um estado arbustivo abundante e denso, com copas irregulares que chegam a se tocar, e indivíduos de 8 até 18 metros. Como o andar superior, pela sua densidade, não permite a penetração direta dos raios solares, o estrato intermediário é pouco diferenciado, com pequenas árvores e arbustos (Foto 14), enquanto que o estrato herbáceo não é contínuo, ocorrendo gramíneas em tufos, entremeados de plantas lenhosas raquíticas e palmeiras anãs.

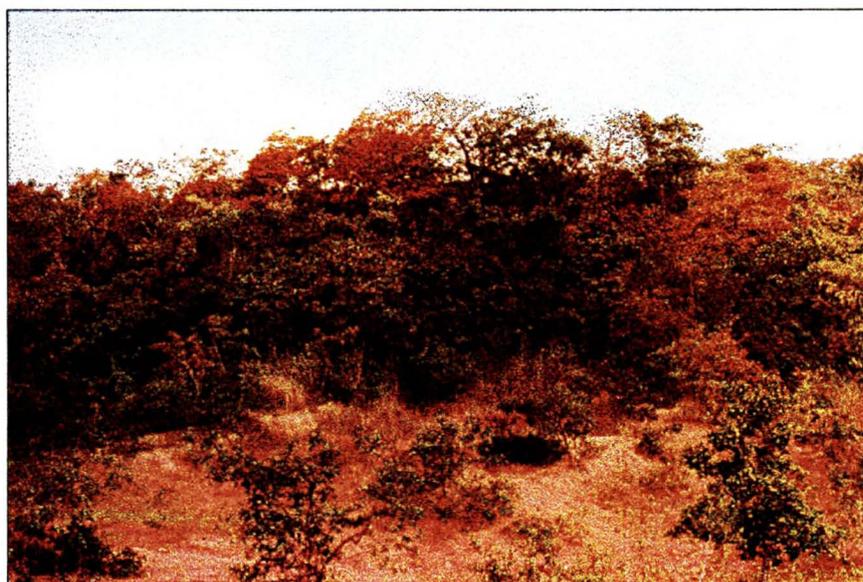


Foto 14: Aspecto da vegetação denominada de Cerradão. (A.P.F.-Maio/2000)

Campo Cerrado

Também denominado de *savana arbórea*, é a fisionomia fortemente predominante. Está ligada principalmente à presença de solos quartzarênicos, fracos em nutrientes e pouco desenvolvidos, em topografias suaves. Apresenta um tapete gramíneo-lenhoso (raramente ultrapassa 0,5m), que seca durante o período de estiagem. Nas áreas arenosas também aparecem no lugar de gramíneas, em forma de um estrato com tufos descontínuos. A esse estrato sobrepõe-se outro, com árvores baixas, geralmente raquíticas (4 à 8 metros de altura), de troncos retorcidos, esgalhados e de casca corticosa, além de apresentarem folhas grandes. Conforme as condições hídricas ou de nutrientes nos solos, apresentam-se com uma forma lenhosa densa de arbustos ou mais abertas e limpas.

Campo Sujo (savana parque)

É uma formação vegetal com uma fisionomia predominantemente campestre. Apresenta um estrato gramíneo, com algumas manchas de um estrato superior, formado por pequenas árvores tortuosas (2 a 3 metros), quase sempre de uma mesma espécie. A presença de solos lateríticos ácidos, em climas estacionais, explica em grande parte esta formação (Foto 15).



Foto 15: No primeiro plano da foto, observa-se a presença do tipo de vegetação denominada de campo-sujo. Ao fundo detecta-se a presença de savana arbórea densa. (J.A.G.-Set/1999)

Sobre a Chapada de São Gabriel, o uso agrícola do solo é intenso, porém é possível encontrar localizadamente alguns resquícios de Savana arborizada. Nos vales mais dissecados e nos patamares do Alto Rio Aquidauana (altimetria variando entre 300 e 600m), onde o uso atual é a pecuária extensiva, com pastagem plantada (*bracchiana*), é comum encontrar os vários tipos de cerrado descritos, pois é o tipo de vegetação espalhada pela bacia que predomina, alternando com o uso de pastagens.

- **FLORESTAS - (FLORESTA ESTACIONAL SUBCADUCIFÓLIA TROPICAL)**

No interior do Planalto Central, no espaço dominado pelos Cerrados, destaca-se a presença de manchas de Mata Tropical. São matas que perdem expressão pela descontinuidade entre elas, restringindo-se a ilhas de mata ou manchas florestais, isoladas no domínio imenso dos Cerrados do Planalto Central. Esta Mata tropical do interior é também denominada de Floresta Subcaducifólia Tropical do interior (Foto 16),

e está mais relacionada a condições edáficas e de lençol d'água do que a fatores climáticos.



Foto 16: Interior de uma Floresta Caducifolia, apresentando o solo recoberto por um manto de folhas secas. (A.P.F.-Maio/2000)

A Floresta Subcaducifolia Tropical do interior ou simplesmente, Mata Tropical não é uniforme na sua estrutura e fisionomia. Por isso há uma distinção de mata de primeira classe e a de segunda classe, ainda baseado na qualidade de solo, a primeira, representante de terra melhor para cultivo e a segunda correspondendo a solo menos fértil.

As matas de segunda classe, que são as encontradas na bacia em estudo, estão relacionadas a solos mais desprovidos de humos, menos férteis e menos profundo, ficando muito escassos de água durante o período de seca.

As matas classificadas como Floresta Caducifolia Tropical e descritas como formação arbórea alta, mas rala, povoada por árvores finas, são em sua maior parte caducifolias (pelo menos 60%) de folhas pequenas com maior número de espécies.

O caráter caducifólio proporciona que o chão fique recoberto pelas folhas secas desprendidas das árvores, formando, no fim da estação de estiagem, um verdadeiro tapete. Durante este período é notável a mutação gradual da cor da folhagem, passando do verde ao amarelo, vermelho e marrom, especialmente nos trechos situados sobre os divisores, onde a Mata assume aspecto mais pobre e seco, sendo classificada como mata de segunda classe. É justamente este manto, característico destas matas, que serve de material excelente, tanto para a formação do húmus, quanto para o alastramento do incêndio, provocado pelas queimadas ateadas que invadem as áreas de mata com tais condições. É notório o efeito nocivo do fogo

nestas áreas, rompendo o equilíbrio ecológico. O fogo nas áreas de mata de primeira classe é responsável pelo surgimento, ou desenvolvimento da mata secundária, que lembra capoeiras.

As árvores mais altas apresentam troncos retilíneos e de casca fina, os caules dos elementos do segundo estrato são menos retos do que os das árvores da camada mais alta. No estrato mais baixo, arbustivo herbáceo, é comum o bambu, cuja altura varia de um a dois metros, cujas folhas servem de forragem para o gado na quadra de estiagem, pois se mantêm ainda verdes.

Florestas- galeria

Ocupam os fundos de vale, vinculadas ao seu sistema de drenagem, possuem características fisionômicas e comportamentais diferentes das espécies arbóreas do cerrado. Apresentam-se, de modo geral, com um estrato denso de árvores (15 a 20 metros de altura) e arbustos, com troncos mais eretos, e espécies perenifólias associadas a espécies decíduas. Possuem uma largura de poucas dezenas de metros, podendo se alargar mais para constituir verdadeiros “refúgios” ecológicos. O conjunto de palmeiras acompanhando os cursos d’água, constituem regionalmente o que se chama de “veredas” (Foto 17).

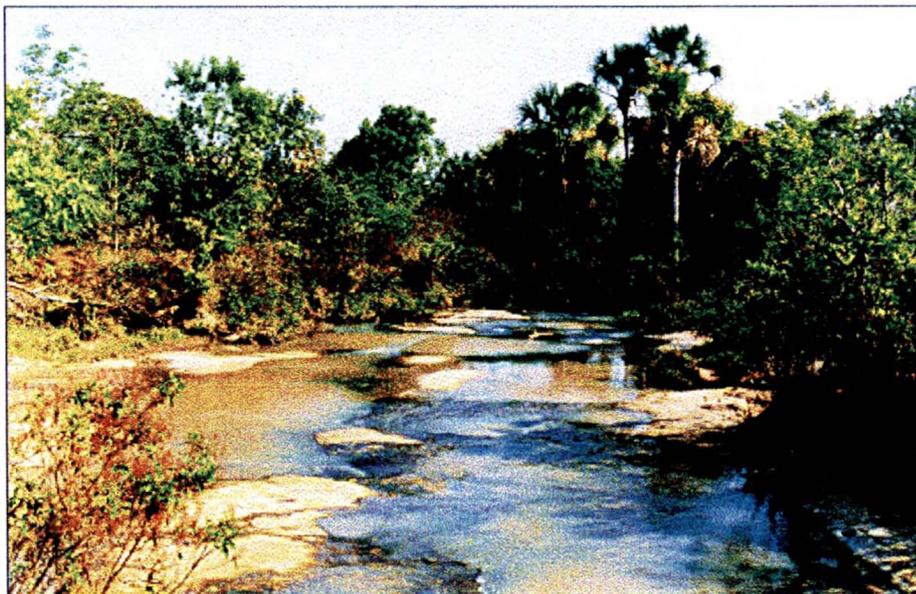


Foto 17: Veredas, que geralmente acompanham os cursos d’água, com concentração de palmeiras denominadas “Buriti”. (J.A.G.-Set/1999)

Na análise interpretativa dos resultados, a denominação do cerrado será correspondente apenas à classe arbórea, sendo que os demais tipos de Cerrado encontrados na bacia em estudo, serão abordados como classe individualizada.

CAPÍTULO III

Procedimento metodológico utilizado na bacia do alto curso do rio Aquidauana

3.1. Material e Métodos

Com a deflagração dos processos erosivos em função da ocupação do solo, as perdas de solo por erosão laminar são influenciadas por diversos fatores relacionados às condições naturais, destacando-se: a chuva, a cobertura vegetal, a topografia e os tipos de solos (SALOMÃO, 1999).

Para a análise da erosão laminar utilizou-se a *EUPS* (WISCHMEIER & SMITH, 1978) que exprime a ação dos principais fatores que influenciam a erosão. Trata-se de um modelo empírico, que fornece a perda de solo média anual, em função de 6 fatores "independentes" ou seja:

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

Onde:

A = perda média anual de solo por unidade de área (ton/ha.ano);

R = fator chuva: índice de erosão da chuva e da enxurrada, (ton.m/ha.mm/h);

K = fator erodibilidade do solo: 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 (ton/ha)/(ton.m/ha.mm/h);

L = fator comprimento da vertente: relação de perdas de solo entre um comprimento de vertente qualquer e um comprimento de vertente de 25m para o mesmo solo e mesmo grau de inclinação;

S = fator de declividade da vertente: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa;

C = fator de uso e manejo do solo: relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado;

P = fator de práticas conservacionistas: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo.

Os quatro primeiros fatores R, K, L e S são componentes ativos de erosão na equação, enquanto os dois últimos C e P são componentes atenuantes.

Os fatores que compõem a EUPS e técnicas e procedimentos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho são descritos a seguir:

3.1.1. Fator (R) - Erosividade das Chuvas

A chuva provoca a erosão laminar por meio do impacto das gotas sobre a superfície do solo, caindo com velocidade e energia variáveis, e por meio do escoamento da enxurrada. Sua ação erosiva depende da distribuição pluviométrica, mais ou menos regular, no tempo e no espaço, e sua intensidade. Chuvas torrenciais ou pancadas de chuvas intensas, como tromba d'água, constituem a forma mais agressiva de impacto da água no solo. Durante esses eventos, a aceleração da erosão é máxima.

O índice que expressa a capacidade da chuva de provocar erosão laminar é conhecido como erosividade. De acordo com BERTONI, LOMBARDI NETO e BENATTI JR. (1975) e BERTONI E LOMBARDI NETO (1985) in VITTE (1997), fundamentados em WISCHMEIER E SMITH (1958), a erosão dos solos, quando decorrente da precipitação, é diretamente proporcional à máxima intensidade que elas apresentam em um período de trinta minutos e à energia cinética total das chuvas. O produto desses dois parâmetros é considerado como o melhor indicador para avaliar a potencialidade erosiva de uma chuva.

Segundo conceitos expostos por COGO (1978) in VITTE (1997), uma chuva erosiva é aquela que apresenta, no mínimo, 10mm de precipitação total ou aquela, inferior a 10mm, mas com 6mm ou mais de precipitação em um período de 15 minutos. Uma chuva individual é aquela separada de outra (inferior ou subsequente) por um período livre de chuva, considerando como 6 horas consecutivas com precipitação inferior à 1,0mm.

A SEPLAN (Secretária Estadual de Planejamento do Mato Grosso do Sul) realizou, em 1992, um trabalho referente a "Susceptibilidade à erosão da Macrorregião da Bacia do Paraná-MS", que teve como orientação básica, a aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo. Este trabalho serviu de base para o levantamento do Fator R da EUPS, aqui empregado.

No presente trabalho, os valores da erosividade foram obtidos através do uso da equação determinada por LOMBARDI NETO (1977), conforme SEPLAN (1992):

$$EI = 6,866 (p^2/P)^{0,85}, \text{ onde:}$$

EI = índice médio anual da erosividade;

p = precipitação média mensal;

P = precipitação média anual.

Os resultados são apresentados segundo o sistema métrico decimal, qual seja em Tm.mm/ha.h.ano. Salienta-se que a média aritmética dos diferentes valores de EI, para cada ano de observação possibilitou a obtenção da erosividade para o local estudado.

Esses resultados foram expressos através de mapas mensais de isoerosividade contidos no relatório da SEPLAN (1992). Os mesmos foram transferidos para meio digital e, após a conversão dos mesmos em formato "grid", no software *ArcInfo*, estabeleceu-se uma interpolação das curvas de isoerodentes (Figuras 7, 8 e 9), afim de se obter valores mais detalhados em qualquer ponto da bacia, de acordo com o nível de detalhe do presente trabalho. O mapa de isoerosividade anual também foi utilizado para a aplicação anual da EUPS.

Figura 7: Mapa Anual de Isoerosividade

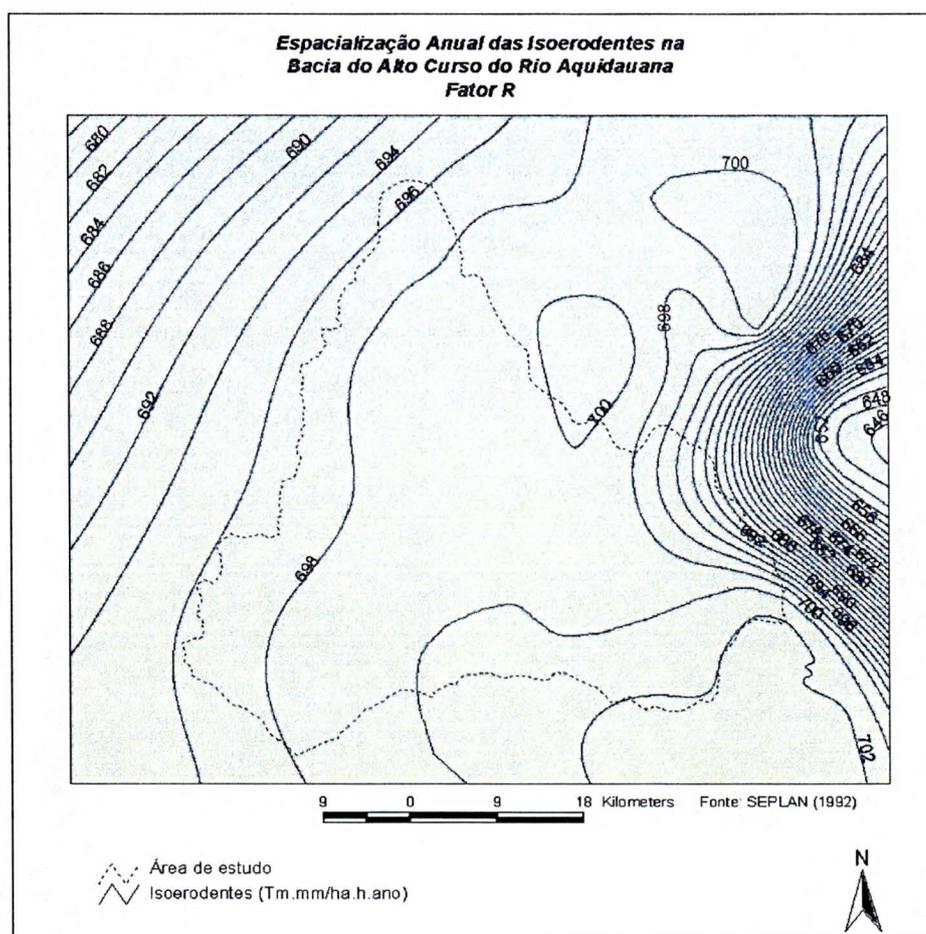


Figura 8: Mapa Semestral de Isoerodentes (primeiro semestre)

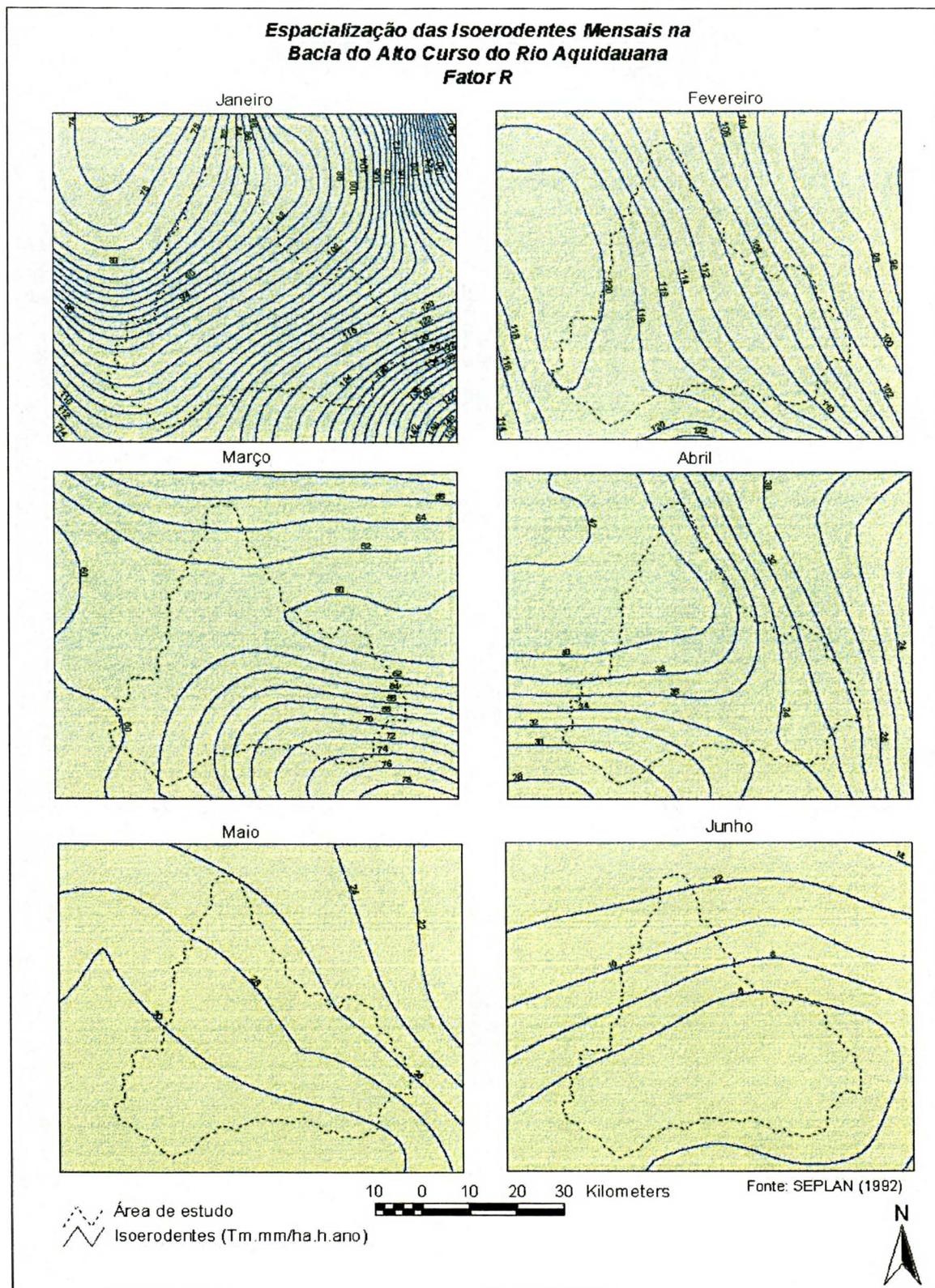
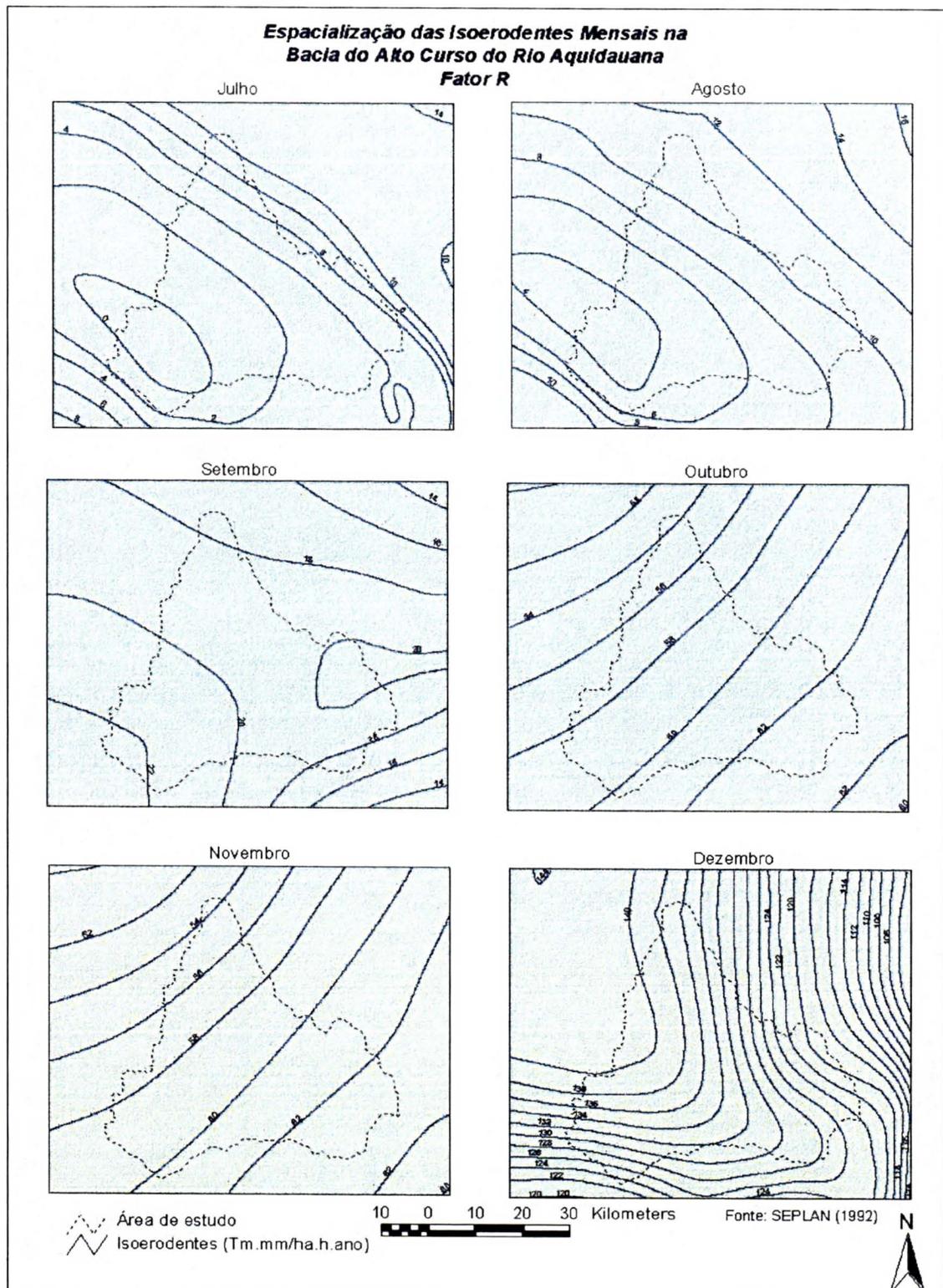


Figura 9: Mapa Semestral de Isoerosividade (segundo semestre)



3.1.2. Fator (K) – Erodibilidade do solo

A erodibilidade pode ser conceituada como o índice relativo às propriedades inerentes ao solo e que refletem a sua susceptibilidade à erosão. Este fato deve-se às suas propriedades físicas, principalmente textura, estrutura, permeabilidade e densidade, e às suas propriedades químicas, biológicas e mineralógicas. As características do solo, conforme SALOMÃO (1999), conjuntamente analisadas, determinam a sua maior ou menor capacidade de propiciar a erosão laminar, isto é, a sua erodibilidade. O fator erodibilidade do solo (K) tem seu valor quantitativo determinado experimentalmente em parcelas unitárias, sendo expresso como a perda do solo (A) por unidade de índice de erosão da chuva (EI).

BERTONI e LOMBARDI NETO (1985) consideram a erodibilidade do solo como sendo a recíproca de sua resistência à erosão. Os autores destacam entre as propriedades do solo que influenciam na erosão, aquelas que controlam a velocidade de infiltração da água, a permeabilidade e a capacidade de absorção; e aquelas de ordem coesiva, que resistem à dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e enxurrada.

O fator K é igual à intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico, mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais. Esse fator está relacionado às propriedades físicas e químicas do solo, representando o grau de erosão de diferentes tipos de solo quando submetidos às mesmas condições de chuva, declive, manejo e práticas conservacionistas. A relação de erosão média (erodibilidade) foi definida como sendo a razão entre a relação de dispersão (teor de argila natural / teor de argila dispersa) e a relação argila dispersa / umidade equivalente. "O equivalente de umidade é a porcentagem de água retida pelo material do solo ao submetê-lo, sob condições específicas, a uma força centrífuga mil vezes maior que a gravidade", LOMBARDI NETO e BERTONI (1975) in SALOMÃO (1999).

Os índices utilizados de K para os solos da área de estudo foram extraídos do Projeto PCBAP (Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai / 1997) que, por sua vez, fez uma compilação dos dados a partir do levantamento de solos do projeto RADAMBRASIL (1982).

Ao mapa de solos, reorganizado sobre a base dos mapas de solo do Radambrasil / PCBAP foram acrescentados os valores de K (Quadro 1) correspondentes à cada tipo de solo (Figura 6). Os nomes dos solos seguem a nova nomenclatura proposta pela EMBRAPA (1999).

Quadro 1. Valores de *erodibilidade dos solos (K)* da área em estudo (PCBAP, 1997)

Solos	Símbolo	K (t.h.m²)/(ha.hj.cm)
Neossolos Litólicos	RL	0,50
Neossolos Quartzarênicos	RQ	0,45
Latosolos Vermelhos	LV	0,16

Estes valores de K foram aplicados aos polígonos do mapa de solos.

3.1.3. Fator topográfico (LS)

A influência do relevo na intensidade erosiva se dá, principalmente, pela declividade e comprimento da rampa da encosta ou da vertente, que interferem diretamente na velocidade do escoamento superficial das águas pluviais. O comprimento da encosta é definido como a distância que vai do ponto de origem do escoamento superficial até o ponto onde a inclinação diminui e começa a deposição de sedimentos ou até o ponto onde o escoamento atinge um canal bem definido, integrante de uma rede de drenagem (WISCHMEIER, 1959).

Os terrenos com maiores declividades e maiores comprimentos de rampa apresentam maiores velocidades do escoamento superficial e, conseqüentemente, maior capacidade erosiva. Mas uma encosta com baixa declividade e comprimento de rampa maior, também pode ter alta intensidade erosiva, desde que fique sujeita à grande vazão do escoamento das águas superficiais.

Experiências têm demonstrado que o aumento do comprimento das encostas age no sentido de acelerar a erosão dos solos. Na medida que são mais longas, o volume de água que escoar através de uma seção transversal da vertente aumenta, assim como sua capacidade de remover detritos. Por outro lado, quanto maior o percurso percorrido pela água sobre a superfície, maior a possibilidade que ela tem de infiltrar ou evaporar. Por essa razão, a porcentagem de água escoada em relação à precipitada decresce com o aumento do comprimento de rampa.

Os efeitos do comprimento de declive e seu gradiente, são representados na equação de perdas de solo por *L* e *S* respectivamente. Para a aplicação prática da equação, são considerados conjuntamente como um fator topográfico *LS*.

Por definição, o fator *LS* é a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação às perdas de solo correspondentes de uma parcela unitária de 25 m de comprimento com 9% de declive.

Para uso em combinações definidas de comprimento e grau de declive, WISCHMEIER & SMITH (1965) propuseram a seguinte equação:

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{100} (1,36 + 0,97S + 0,1385S^2)$$

onde:

LS = fator topográfico;

L = comprimento do declive em metros;

S = grau do declive em porcentagem.

O efeito do comprimento e do grau de declive assim estabelecido pressupõe declives essencialmente uniformes, isto é, não considera se as vertentes são côncavas ou convexas. Dados escassos indicam que o uso do gradiente médio de um comprimento de rampa pode subestimar as perdas de solo de vertentes convexas e superestimar aquelas de vertentes côncavas.

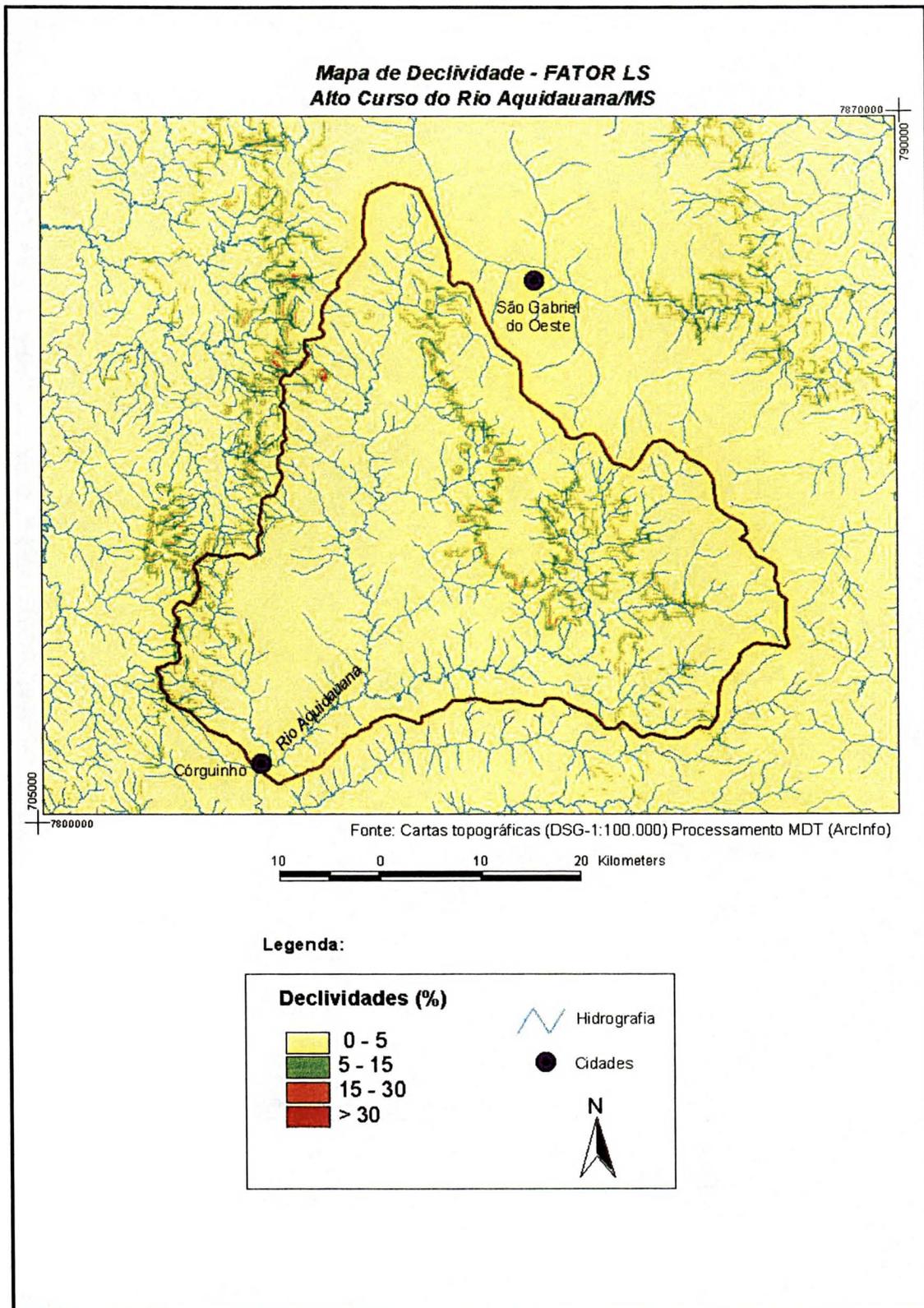
Tendo em vista que tomar um valor constante da declividade de uma vertente em uma determinada área tende-se a superestimar ou subestimar a erosão, KOK et al., (1995), tomaram valores médios de declividade para o cálculo do fator LS da equação da EUPS, dentro do projeto CORINE (Land Cover – Coordination of Information on the Environment), na aplicação da equação, em estudo realizado na Espanha. Segundo os autores, os valores medidos foram calculados a partir de relações estabelecidas entre comprimento da vertente e o gradiente, encontrados na literatura. Os diferentes valores do fator LS para diferentes intervalos ou classes de declividade, propostos pelos citados autores, estão representados no quadro a seguir (Quadro 2):

Quadro 2 – Fator LS em função de classes de declividade

Classes de Declividade %	Fator LS
0 – 5	0.5
5 – 15	3.5
15 – 30	9
> 30	16

A metodologia empregada para obtenção do fator LS na área estudada foi a mesma utilizada por KOZCIAK (2000), ou seja: “primeiramente cria-se o Modelo Digital do Terreno (MDT), utilizando o comando Topogrid do Arc/Info que baseia-se num método de interpolação especificamente projetado para criar modelos digitais do terreno hidrologicamente corretos. A partir do MDT, obtém-se o mapa de declividade (Figura 10), que indica o valor percentual da inclinação da vertente. Este mapa é calculado automaticamente pelo sistema”. Através de reclassificação, foi gerado um mapa de declividade com as classes sugeridas no quadro 2.

Figura 10 - Mapa de Declividade da área em estudo



3.1.4. Fator (C) – Uso e Manejo do Solo

A cobertura vegetal é a principal defesa natural de um terreno contra a erosão. BERTONI e LOMBARDI NETO (1985) destacam os efeitos do recobrimento vegetal do solo como a proteção contra o impacto direto das gotas de chuva, a dispersão e quebra da energia das águas de escoamento superficial, o aumento da infiltração pela produção de poros no solo por ação das raízes e o aumento da capacidade de retenção de água pela estruturação do solo por efeito da produção e incorporação de matéria orgânica.

CASSETI (1983) também se refere ao expressivo significado da cobertura vegetal, do uso do solo, do declive e da forma da vertente, bem como do comportamento hídrico da superfície e das diferenciações plúvio-erosivas no processo erosivo.

O fator C (*uso e manejo do solo*) é um índice numérico que expressa a relação esperada entre as perdas de solo de uma gleba qualquer, cultivada em determinada condição, e as perdas de uma parcela continuamente descoberta onde as operações de cultivo são realizadas.

O uso do solo para plantio anual após o desmatamento depende muito do preparo do solo e dos cuidados com o escoamento gerado, COELHO NETO (1997). O plantio sem nenhum cuidado com a conservação do solo tende a aumentar consideravelmente a erosão, com grande aumento no escoamento em relação às condições prévias de floresta ou mata natural. Adicionalmente, as estradas e as divisas de propriedades são geradores de alterações do solo, facilitando o processo erosivo.

As culturas anuais envolvem a mudança da cobertura anualmente ou sazonalmente, com diferentes plantios. Este processo, conforme TUCCI (1993), prevê a preparação do solo (aragem) em determinadas épocas do ano, resultando na falta de proteção do solo em períodos que podem ser chuvosos. Normalmente, o preparo do solo é realizado pouco antes do período chuvoso, sujeitando o solo à energia do impacto de chuvas intensas que tendem a produzir erosão e modificar as condições de infiltração do mesmo. Por isto, atualmente, intensificaram-se as práticas de plantio direto, o qual reduz consideravelmente as perdas de solo, por manter uma cobertura residual de palha sobre o mesmo.

Os macroporos são os principais condutores da água para o interior do perfil do solo. Quando obstruídos ou compactados, qualquer excedente de precipitação provoca o escoamento superficial em grande escala (ROLOFF, 1986). As culturas possuem uma capacidade variável de reduzir ou anular este efeito da chuva diretamente sobre o solo.

Os outros fatores (R, K, L, S) da EUPS estimam a massa de solo perdida sendo, portanto, de caráter ativo. Porém, se a área for cultivada, ocorre uma redução desta perda, ocasionada pela proteção que as plantas oferecem. Conseqüentemente o fator C representa um índice de redução à perdas de solo e seu valor vai depender da combinação e seqüência das culturas, práticas de manejo e da fase de desenvolvimento das plantas relacionadas ao período de chuva.

Para BERTONI e LOMBARDI Neto (1985), a proteção oferecida pela cobertura vegetal durante o seu ciclo vegetativo é gradual. Para a obtenção do valor C, as intensidade de perdas de solo de cada período são combinadas com dados relativos à chuva, isto é, em relação à porcentagem de distribuição do índice de erosão (EI) anual e mensal para o local determinado.

Para cálculo do valor de C em áreas agrícolas na bacia em estudo, foi empregado o procedimento explicitado em BERTONI e LOMBARDI NETO (1985) e SEAB (1994). Para uma rotação de culturas, foram levadas em conta as datas prováveis de plantio e colheita, tipo de preparo do solo e manejo dos restos culturais. No cálculo do fator C foi, além disso, considerada a razão de perdas, relacionada com o índice de erosividade (EI) na sua distribuição mensal em porcentagem.

A seguir são descritas as etapas para obtenção do valor de uso e manejo do solo em terras agrícolas na bacia em estudo:

1a. Etapa

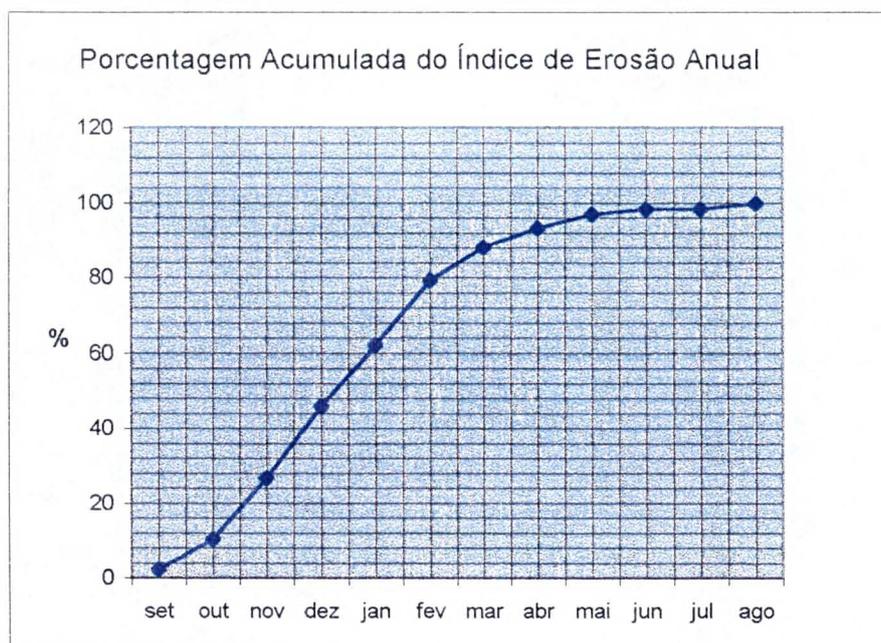
Obtenção do índice erosivo acumulado

Foram utilizados os dados mensais relativos à erosividade da chuva na região em estudo, tendo por base o mapa de isoerodentes da SEPLAN (1992). A média erosiva da chuva foi calculada através dos dados sumarizados no Quadro 3, e representa o potencial de erosividade para o mês em referência na região. Os resultados foram multiplicados por 10 em função da adaptação ao Sistema Internacional de Medidas (SI). Para se chegar aos valores acumulados somou-se ao primeiro mês que se inicia com o preparo do solo e plantio (neste caso setembro), o valor do mês seguinte, sendo assim para todos os meses consecutivos. Destes valores originou-se a curva acumulada (Gráfico 3).

Quadro 3: Porcentagem do valor médio anual do índice de erosão que ocorre entre 1^o de setembro e as datas indicadas, na área em estudo.

MESES	01/Set	01/Out	01/Nov	01/Dez	01/Jan	01/Fev	01/Mar	01/Abr	01/Mai	01/Jun	01/Jul	01/Ago
Média Erosiva	15	55	115	120	110	115	65	35	25	10	0	10
% Índice erosivo	2	8	16.5	19	16.5	17	9.5	5	3.5	1.5	0	1.5
Índice erosivo acumulado	2	10	26.5	45.5	62	79	88.5	93.5	97	98.5	98.5	100

Gráfico 3. Curva de distribuição do índice erosivo acumulado para a bacia em estudo



2a. Etapa

Obtenção do fator C mensal

As práticas de cultivo mais comuns na área estudada são a rotação de soja após milho e milho após soja, sendo o fator C calculado para estas culturas pelo período de um ano. O preparo foi considerado convencional para as culturas e produções médias de milho e restos culturais de milho e soja permanecendo no terreno.

O ano agrícola foi dividido em cinco fases de desenvolvimento. Para cada fase foi estabelecida a intensidade de perdas de solo (razão de perdas), definidas de tal

modo que os efeitos de cobertura e manejo pudessem ser considerados aproximadamente uniformes dentro de cada período, assim estabelecidos (Quadro 4):

Quadro 4: Fases de desenvolvimento das culturas anuais

<i>Fases</i>	<i>Períodos</i>
1	Preparo do solo ao plantio
2	do plantio a 30 dias após
3	de 30 a 60 dias após plantio
4	de 60 dias após à colheita
5	da colheita até o preparo do solo

Conforme BERTONI E LOMBARDI NETO (1985) "As intensidades de perdas de solo são computadas para cada um desses estágios, e para cada cultura, sob várias condições (seqüência de culturas, níveis de fertilidade, produção e quantidade de restos culturais)". Tais períodos são definidos de acordo com a porcentagem de cobertura oferecida pela cultura à área cultivada.

Estes autores utilizaram-se de dados preliminares e experimentais de perdas de solos e enxurrada que permitiram avaliar os efeitos de sistemas de uso e manejo nas perdas de solo para cada estágio de cultura. Com estes dados confeccionaram uma tabela que exprime valores de razão de perdas de solo entre áreas cultivadas e áreas continuamente descobertas, para diversos tipos de rotação de culturas e pasto, os quais estão sendo expressos no Quadro 5, e utilizados no Quadro 6:

Quadro 5. Razão de perdas de solo entre área cultivada e área continuamente descoberta

Cobertura, Seqüência e Manejo	Razão de Perdas de Solo por Período de Estágio de Cultura (%)				
	Fases				
	1	2	3	4	5
Soja, rotação após milho	15	12	20	4	3
Milho, rotação após soja	10	11	8	4	1

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (1985)

A seguir são descritos os passos realizados para a obtenção do Quadro 6 com a avaliação de C para áreas agrícolas, conforme BERTONI & LOMBARDI NETO (1985).

1. Na primeira coluna são descritas as operações de cultivo da terra;

2. Na coluna 2 estão representados os meses do ano, com data inicial de cada período do estágio da cultura, conforme ordem cronológica das fases de plantio e colheita;
3. A coluna 3 representa a listagem da distribuição percentual do índice de erosão anual para a área em estudo, obtida conforme etapa 1;
4. Na quarta coluna são relacionados os períodos de estágio da cultura que terminam com a data correspondente a esta linha, descrita na etapa 2;
5. Na coluna 5 são indicados a porcentagem do índice de erosão aplicados para cada período de estágio da cultura. Os valores aí representados são as diferenças entre os valores sucessivos listados da coluna 3;
6. A coluna 6 representa as razões de perdas de solo indicadas no Quadro 5 de acordo com as condições específicas e períodos de estágio da cultura (fase) em que se encontra;
7. Na coluna 7 está relacionado o produto das duas últimas colunas (5 x 6), ou seja, o índice erosivo multiplicado pela razão de perdas de solo;
8. A coluna 8 representa o total de C dos diferentes períodos da rotação, revelando o período onde ocorre mais erosão e sugerindo medidas adicionais de conservação;
9. Os valores de C multiplicados aos valores correspondentes às práticas conservacionistas observadas na área em estudo, estão representadas na coluna 9. Para as práticas conservacionistas em terras agrícolas, adotou-se o valor de $P = 0,5$.

Quadro 6: Cálculo do valor de C para rotação de soja após milho (Corine = 211)

1 Operações	2 Data dia/mês	3 Valores Quadro 4	4 Estágio Da Cultura	5 Índice Erosão no Período (%)	6 Razão de perdas de solo (%)	7 Colunas (5) x (6)	8 Valor de C Mensal	9 Valores de CP mensal
Preparc solo S	01/Set	2	1	2	15	30	0,003	0,0015
*Plantio S	01/Out	10	2	8	12	96	0,0096	0,0048
	01/Nov	26,5	3	16,5	20	330	0,033	0,0165
	01/Dez	45,5	3	19	20	380	0,038	0,019
	01/Jan	62	4	16,5	4	66	0,0066	0,0033
	01/Fev	79	4	17	4	68	0,0068	0,0034
Colheita S	01/Mar	88,5	5	9,5	3	28,5	0,00285	0,001425
Preparo Solo	01/Abr	93,5	1	5	10	50	0,005	0,0025
**Plantio M	01/Mai	97	2	3,5	11	38,5	0,00385	0,001925
	01/Jun	98,5	3	1,5	8	12	0,0012	0,0006
	01/Jul	98,5	4	0	4	0	0	0
Colheita M	01/Ago	100	5	1,5	1	1,5	0,00015	0,000075

* S = Soja **M = Milho

Total Anual de C = 0.11005

Total Anual de CP = 0.055025

Nas categorias de uso do solo: *pastagem, campo e campo sujo*, presentes em sua maioria na área em estudo, o valor adotado para C, seguiram a classificação de WISCHMEIER E SMITH (1978), que apresentam uma tabela com diferentes estágios, grau e tipos de cobertura vegetal do solo (Quadro 7). Para a prática conservacionista destes usos foi estipulado o valor de $P = 0.6$, uma vez que a declividade na área está entre a classe percentual de 0 a 7. Segundo STEIN et al (1987), "o fator P pode ser tabelado em função das declividades, já que a eficiência das práticas de controle e erosão dependem dessa declividade".

Quadro 7: Tipo e grau de cobertura de solo e respectivo fator CP, na bacia do alto curso do rio Aquidauana

<i>Legenda Corine</i>	<i>Tipo de Cobertura do Solo</i>	<i>Grau de Cobertura do Terreno (%)</i>	<i>Fator C</i>	<i>Fator CP*</i>
2311	Pastagem	70	0.0275	0.0165
333	Campo	60	0.0575	0.0345
2312	Campo Sujo	70	0.087	0.0522

Fonte: Wischmeier e Smith (1978)

* Correspondem aos valores utilizados nos totais anuais de 1966/85/96.

Para as demais categorias de uso do solo, (Quadro 8) encontradas na área de estudo, os valores de CP foram abordados conjuntamente e extraídos diretamente da literatura de BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) e STEIN et al (1987).

Quadro 8: Demais categorias de cobertura do solo e respectivo fator CP

LEGENDA CORINE*	Categoria de Uso do Solo	VALOR DE CP**
112	Área Urbanas	0.0015
311	Florestas	0.00004
322	Cerrado	0.0007
332	Áreas Rochosas	0.00
2313	Áreas com queimada	0.010
411	Várzeas, Zona Úmida	0.00
512	Rios, Lagos, Lagoas	0.00

Fonte: Stein et al., 1987 e Bertoni e Lombardi Neto (1990).

** Correspondem aos valores utilizados nos totais anuais de 1966/85/96.

Todos os valores de CP encontrados para as diversas categorias de cobertura do solo na área em estudo, exceção à agricultura, são valores anuais. Como o objetivo

deste estudo é analisar mensalmente as perdas de solo, estes valores foram divididos por 12, e distribuídos homogeneamente para todos os meses do ano.

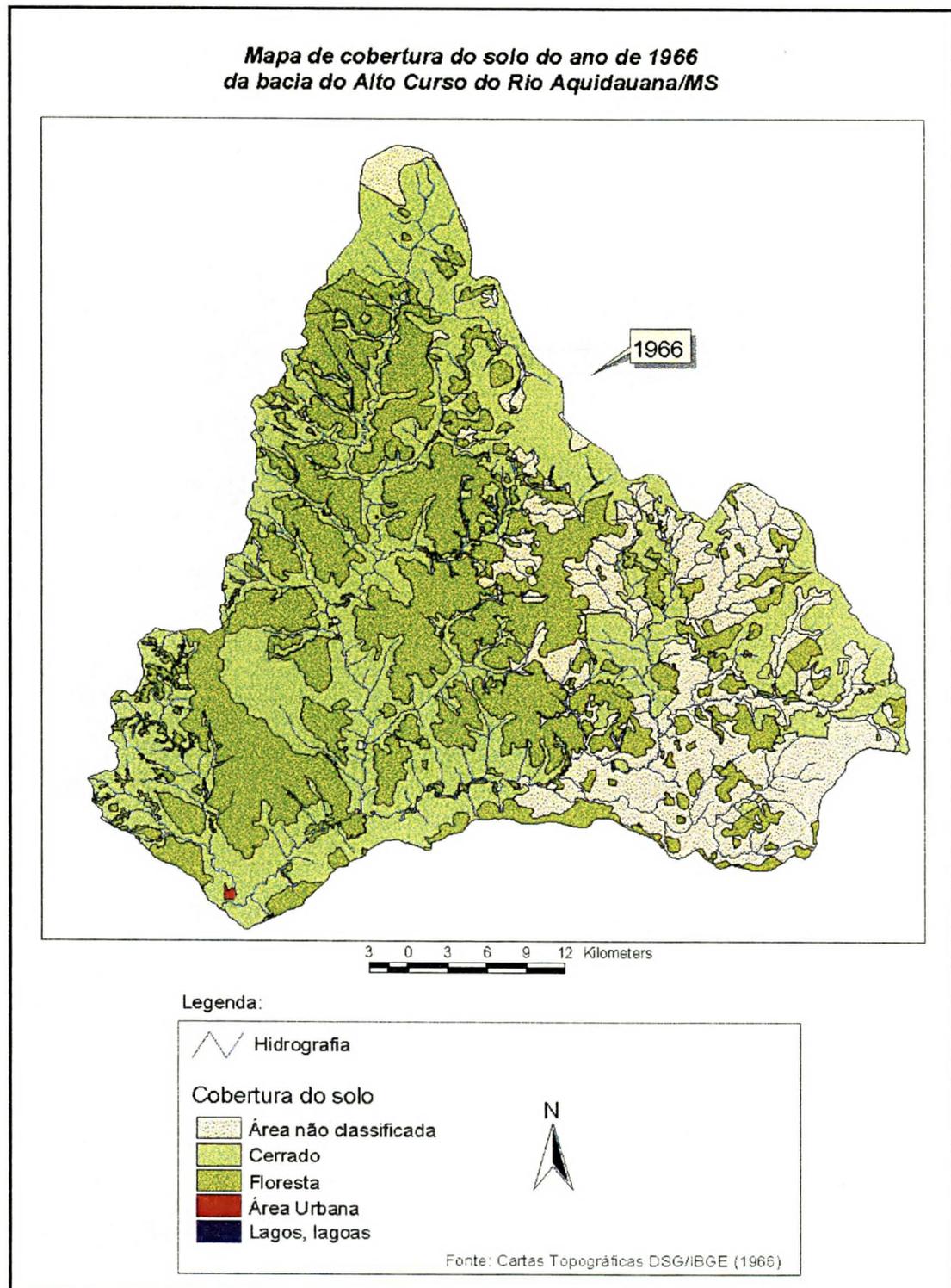
No caso das áreas com queimadas, detectadas durante a interpretação do uso nas imagens de satélite, adotou-se o mesmo valor de CP utilizado por PARANHOS FILHO (2000), pois as áreas queimadas não são originalmente contempladas na tabela de STEIN et al. (1987). Tendo em vista que após as queimadas a vegetação começa a rebrotar independentemente do tipo de uso do solo existente anteriormente, associou-se um valor de CP correspondente 0.01.

Finalmente, os valores de CP mensal foram agregados aos polígonos dos mapas de uso do solo (Figuras 11 e 12). O procedimento utilizado para os mapas de totais anuais foi o mesmo, apenas incluindo-se os valores anuais. Para a agricultura, o total anual correspondeu à somatória dos valores de CP de todos os meses do ano.

Cabe ressaltar que no ano de 1966, a área em estudo estava ocupada em sua maior parte, pela vegetação natural de floresta e cerrado, segundo a classificação que consta nas cartas topográficas do IBGE/DSG deste mesmo ano, e a qual serviu de base para este trabalho. Uma área à leste da bacia ocorre a denominação de “não classificada”, como esta área ocupa os Chapadões de São Gabriel, é bem provável que naquela época a área fosse ocupada por culturas de café, uma vez que o histórico da região menciona este tipo de cultura na região. Porém, como não foi encontrado um registro gráfico, preferiu-se manter a denominação que consta na carta topográfica.

A região do cerrado, até meados da década de cinquenta permaneceu praticamente isolada das áreas mais populosas e economicamente dinâmicas do Brasil. Com a construção de Brasília houve uma mudança drástica nos aspectos físicos, biológicos sociais e culturais. As antigas cidades têm-se então transformado rapidamente em pólos ordenadores do desenvolvimento, assim como os novos municípios criados, onde a agricultura e os serviços têm lugar de destaque na economia.

Figura 11: Cobertura do solo em 1966, no alto curso do rio Aquidauana



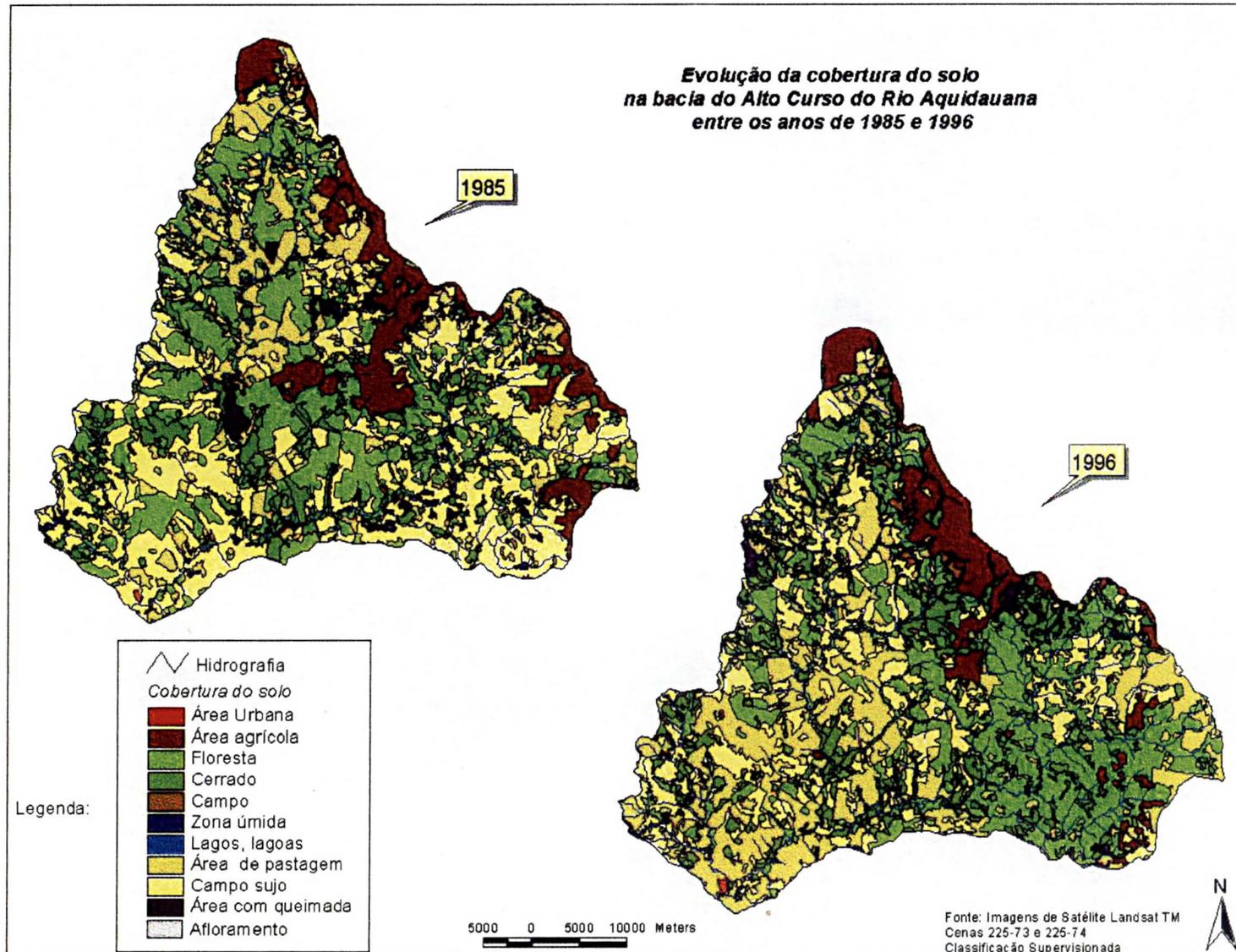


Figura 12: Cobertura do solo no alto curso do rio Aquidauana em 1985 e 1996

3.1.5. Fator (P) - Práticas conservacionistas

O fator práticas conservacionistas (P) da Equação Universal de Perdas de Solo conforme BERTONI et al. (1975), é a relação entre a quantidade esperada de perdas de solo, com determinada prática conservacionista, e aquela com a cultura plantada no sentido do declive (morro abaixo).

As práticas conservacionistas mais comuns para as culturas anuais são: plantio morro abaixo, plantio em contorno, plantio em faixas de contorno com alternância de capinas, cordões de vegetação e terraceamento, STEIN et al (1987).

O Quadro 9 apresenta alguns valores do fator P, conforme BERTONI et al. (1975), da Equação Universal de Perdas de Solo, para as práticas conservacionistas de proteção do solo contra a erosão, obtidos pela Seção de Conservação do Solo do Instituto Agronômico de Campinas.

Quadro 9. Valores do fator P da equação de perda do solo, para algumas práticas conservacionistas

Práticas Conservacionistas	Valor de P
Plantio Morro Abaixo	1,0
Plantio em Contorno	0,5
Alternância de Capinas e Plantio em Contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2
Terraço	0,1

BERTONI, et al. (1975), atribuíram ao plantio em contorno o valor de 0,5 o que significa que ele pode reduzir em 50% as perdas de terra para a mesma área sem vegetação. Com o uso de terraços, esses autores consideraram que o valor de P decresce para 0,1. TAVARES (1986), para o alto curso do rio São José dos Dourados adotou, indistintamente, em locais onde pelo menos uma das práticas existia, o valor de 0,5 pois, constatou que as curvas de nível em muitos casos eram grosseiramente dispostas no terreno e os terraços não eram elaborados segundo as normas requeridas. TAVARES & VITTE (1993), para a Bacia do Córrego Água Limpa, Estado de São Paulo, adotaram o valor de 0,5 para o fator P diante da presença de práticas conservacionistas, sob a forma de plantio em contorno ou de terraceamento e 0,1 quando essas práticas eram feitas, concomitantemente, com terraços bem elaborados e plantio seguindo as curvas de nível. O valor do fator P foi atribuído à cada parcela, seguindo-se os critérios já estabelecidos para os outros parâmetros da Equação Universal de Perdas de Solo. Já KOK et al. (1995), por não disporem de informações sobre práticas de conservação de solos na Espanha, atribuíram ao fator P o valor

unitário, o que corresponde à pior situação possível, podendo superestimar as perdas de solo.

Por outro lado PUNDEK (1994) apresenta uma tabela mais detalhada, em função do tipo de prática conservacionista adotada, associada à declividade da área. O Quadro 10 abaixo, apresenta alguns valores do fator P para as práticas conservacionistas de suporte, obtidos pelo levantamento feito sobre diversas bibliografias com informações de práticas conservacionistas, onde os dados que apresentavam menores afastamentos entre si foram considerados válidos para estimar o fator P. Este trabalho foi realizado pela Secretária de Estado da Agricultura e Abastecimento de Santa Catarina e publicado no Manual de Uso, Manejo e Conservação do Solo e da Água de 1994.

Quadro 10: Valores do fator P para algumas práticas conservacionistas

Práticas Conservacionistas de suporte	Valor de P
*Plantio em nível (declividade <8%)	0.50
Plantio em nível (declividade 8 a 12%)	0.60
Plantio em nível (declividade 12 a 18%)	0.70
Plantio em nível (declividade >18%)	0.80
Plantio em faixa de rotação (declividade <8%)	0.70
Plantio em faixa de rotação (declividade 8 a 18%)	0.80
Plantio em faixa de rotação (declividade > 18%)	0.90
*Cordão permanente (declividade < 8%)	0.50
Cordão permanente (declividade 8 a 18%)	0.65
Cordão permanente (declividade > 18%)	0.75

*Tipo de prática conservacionista dominante na área em estudo, e respectivo valor considerado neste trabalho para o cálculo de C (agricultura).

Na área de estudo, verificou-se através do controle de campo e da interpretação da cobertura do solo via imagens *Landsat*, apenas a prática de “plantio em contorno” na chapada de São Gabriel e localizadamente, alguns “cordões de vegetação”.

Também através do mapa de declividade (figura 10), pode-se verificar que toda a área utilizada para a agricultura situa-se dentro do intervalo de declividade menor que 8%, inclusive, para o caso das lavouras com cordão de vegetação. Dessa forma, tendo-se em vista a tabela de BERTONI et al. (1975) ou a de PUNDEK (1994), o valor de P, para esta área foi tomado como sendo igual a 0,5.

Com relação às áreas de pastagens, o valor de P adotado, seguiu o quadro 11, apresentado por STEIN et al (1987). Os valores de P sem outras proteções mecânicas do solo, são apresentados a seguir:

Quadro 11. Fator P em função da declividade (Stein et al, 1987).

Declividade	P
0 – 2	0,40
2 – 7	0,50
7 – 12	0,60
12 – 18	0,80
18 – 24	0,90

Na maioria das áreas de pastagem não se verificou o emprego de práticas conservacionistas, e como estas áreas situam-se em até 12% de declividade, o valor de P considerado foi o mesmo obtido por Stein, de 0,60.

3.1.6. Cálculo da produção de sedimentos

A erosão desempenha um importante papel na gestão de recursos naturais. Embora as áreas de agricultura estejam entre as maiores fontes de produção de sedimentos, outras importantes fontes de produção de sedimentos incluem áreas de pastagem, florestas, montanhas, áreas de construção e de mineração (KHANBILVARDI & ROGOWSKI, 1984).

A habilidade de prever a perda de solo e a produção de sedimentos sob diferentes condições de uso do solo é um importante passo na identificação de áreas com problemas e na efetiva busca de soluções. A produção de sedimentos representa a quantidade de sedimentos que é transportada para fora de uma bacia de drenagem e é igual à erosão menos a quantidade de material depositado dentro da bacia de drenagem.

A USLE fornece uma estimativa da erosão mas não da quantidade de material que fica retido na bacia de drenagem. Em um processo de erosão, surgem muitas oportunidades para o material erodido ser depositado, reduzindo com isso a quantidade total de sedimentos fornecidos ou cedidos pela bacia de drenagem. Em geral, a taxa com que os sedimentos são descarregados na saída de uma bacia de drenagem é menor do que $\frac{1}{4}$ da taxa de erosão laminar (ASCE, 1970). Assim, $\frac{3}{4}$ do solo erodido é redepositado nos locais onde o escoamento superficial não é suficientemente forte para o seu transporte. A taxa de erosão e deposição depende do tamanho da bacia de drenagem e de suas características geométricas. Uma vez que a USLE, por si só, poderia superestimar a produção de sedimentos, conforme KHANBILVARDI & ROGOWSKI (1984), é necessário introduzir algum tipo de correção para que esta equação forneça uma correta predição da quantidade de sedimentos produzidos numa bacia, como um todo. Esta correção é normalmente chamada de razão de produção de sedimentos.

A quantidade total de sedimentos produzidos numa bacia de drenagem é calculada pela somatória da multiplicação dos diversos valores de A (ton/ha.ano) pelas respectivas áreas de abrangência, obtendo-se um valor final em ton/ano. A média de perdas de solo por unidade de área é obtida, então, pela razão do valor total desta perda pela área da bacia.

A Razão de Produção de Sedimentos (*RPS*) é considerada como sendo a quantidade de sedimentos que sai de uma área da bacia, em um determinado ponto dividido pela quantidade de solo que é erodido na mesma área, acima do ponto

considerado. Dessa forma o número adimensional RPS pode ser expresso da seguinte forma (GLYMPH, 1954):

Equação 1

$$RPS = \frac{SY}{A}$$

Onde:

SY = média anual de produção de sedimentos por unidade de área;

A = perdas de solo por unidade de área, como calculado pela EUPS, acima de um ponto de referência (Quadro 12).

Quadro 12: Valores obtidos de perdas de solo através da EUPS

Anos	1966	1985	1996
<i>A_T ton/ano (Perda total de solo)</i>	47.019	1.356.162	1.421.798
<i>A ton/ha (Média Anual de Perdas de Solo por unidade de área)</i>	0.24	7.52	7,17

Muitos fatores influenciam a razão de produção de sedimentos; tamanho e densidade dos sedimentos, declividade, clima, uso do solo, quantidade de escoamento superficial e a posição fisiográfica de uma área de drenagem em uma determinada paisagem (ASCE, 1970). GLYMPH (1954) mostrou que, a menos que esses fatores permaneçam razoavelmente uniformes dentro de uma dada bacia ou entre bacias, é de se esperar que a RPS mostre uma variação considerável, mesmo dentro da mesma área fisiográfica. Embora diversas equações estejam disponíveis para o cálculo de taxas de produção de sedimentos, nenhuma delas é aplicável de forma universal.

MANER (1958) estudou fatores tais como o comprimento da bacia (L), o relevo (R), o tamanho da área de contribuição, a declividade média, a densidade de drenagem e a razão relevo-comprimento. Ele concluiu que a razão de produção de sedimentos é melhor correlacionada com o relevo e o comprimento máximo de uma bacia, expresso como a razão relevo-comprimento (R/L), do que propriamente com o tamanho da área de contribuição ou outros fatores, propondo a seguinte equação:

Equação 2

$$\log(RPS) = 2,943 - 0,824 \log\left(\frac{R}{L}\right)$$

Onde:

L = comprimento máximo de uma bacia, medido aproximadamente paralelo à drenagem principal (metros);

R = relação de relevo de uma bacia, definido como a diferença entre a elevação média do divisor e a bacia vertente (metros);

Mais ou menos na mesma época, ROEHL (1962), usando dados obtidos de experimentos realizados na parte sudeste de Piedmont, sugeriu uma equação mais geral, que inclui a área de drenagem (W) e a razão de bifurcação (B).

Equação 3

$$\log(\text{RPS}) = 4,27 - 0,23 \log W - 0,51 \log \left(\frac{R}{L} \right) - 2,79 \log B$$

Onde:

W = área da bacia de drenagem (milhas quadradas);

B = relação ponderada de bifurcação (razão do número de canais de uma determinada ordem pelo número de canais da ordem imediatamente superior (LEOPOLD, et al., 1964).

L e R são definidos como na equação 2.

Com o objetivo de utilizar estas equações, afim de se estimar o quanto de material é transportado para fora dos limites da bacia em estudo, foram levantados os seguintes parâmetros morfométricos:

- *Área da bacia*

A área da bacia compreende toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, delimitada pelos divisores. O efeito do tamanho da área de drenagem sobre as características dos escoamentos fluviais é variado. O deflúvio máximo de enchente, o deflúvio mínimo e médio, variam com o tamanho das microbacias. A amplitude dos cursos d'água é também afetada por esse importante fator. A delimitação da bacia em estudo, perfaz uma área de 1895,77 Km².

- *Densidade Hidrográfica (Dh)*

A densidade hidrográfica é obtida a partir da razão entre o número de rios ou cursos de água e a área da bacia, sendo calculada pela seguinte fórmula:

$$Dh = N/A, \text{ onde}$$

Dh é a densidade hidrográfica

N é o número de rios, e

A é o valor da área da microbacia considerada.

Sua finalidade é comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão.

Para a área de estudo, a densidade hidrográfica (Dh) aproximada é de 1 rio por Km².

- *Relação de Bifurcação (Rb)*

A relação de bifurcação (Quadro 13) é tida como a razão entre o número total de segmentos de uma certa ordem e o número de ordem imediatamente superior, através da seguinte fórmula:

$$Rb = \frac{Nu}{Nu + 1}$$

Onde:

Rb é a relação de bifurcação,

Nu é o número de segmentos de determinada ordem, e

Nu+1 é o número do segmento de ordem imediatamente superior.

O número de canais envolvidos refere-se a soma da quantidade de canais de ordem inferior e a quantidade de canais da ordem imediatamente superior. Enquanto que o produto, é o resultado da multiplicação da relação de bifurcação e o número de canais envolvidos. A soma deste produto dividido pelo total de canais envolvidos fornece o valor da relação ponderada de bifurcação.

Quadro 13: Relação entre o números de canais e de bifurcação

Ordem	Nu	Rb	Nu Envolvidos	Produto
1ª	242			
2ª	57	4,24	299	1267,76
3ª	15	3,80	72	273,60
4ª	5	3	20	60
5ª	2	2,5	7	17,50
6ª	1	2	3	6
Soma:	322	Soma:	401	1624,86

Relação ponderada de bifurcação (**Rpb**) = **4,05**

Legenda: **Nu** = Número de canais

Rb = Relação de bifurcação

De posse dos índices morfométricos e dos levantamentos planialtimétricos, partiu-se para a aplicação das equações de Razão de Produção de Sedimentos.

- R (amplitude) = 360m
- L (extensão do curso principal) = 60.000m
- R / L = 0,0060

Log R/L = - 2,22

- W (área da bacia) = 1.895,77 Km² ou em hectares = 189.000

- W (em milhas²) = 733,59

$$\text{Log } W = 2,86$$

$$B \text{ (razão de bifurcação)} = 4,05$$

$$\text{Log } B = 0,60$$

RPS = adimensional e A_T = Total perdas de solo na bacia

- Utilizando a equação 2 e nela substituindo-se os respectivos valores teremos:

$$\log RPS = 2.943 - 0.824 (-2.22), \text{ logo:}$$

$$RPS = 0.67$$

- Utilizando a equação 3 e nela substituindo-se os respectivos valores teremos:

$$\log (RPS) = 4.27 - 0.23 \times 2.86 - 0.51 (-2,22) - 2.79 \times 0.60, \text{ logo:}$$

$$RPS = 0.49$$

O resultado dos cálculos realizados para a obtenção da razão de perdas de sedimentos da bacia em estudo, são apresentados no Quadro 14. Para aplicação da equação 1, foram utilizados os valores obtidos tanto da equação 2 quanto da equação 3. Assim os resultados de SY e SR representam através de dois métodos, valores que levam em consideração os parâmetros da relação de bifurcação (equação 3) ou não (equação 2).

Quadro 14: Razão de produção de sedimentos na bacia do alto curso do rio Aquidauana

	Equação 2			Equação 3		
	1966	1985	1996	1966	1985	1996
SY (ton.ha.ano) ¹	0.16	4.99	4.77	0.117	3.65	3.49
SY bac (ton.ano) ²	30332.3	945989.2	904282.2	22180.5	692979.7	662325.1
SR (ton.ano) ³	15936.6	465800.7	444726.7	24088.5	718810.2	688683.8

¹SY = média anual de produção de sedimentos por unidade de área

²SYbac = sedimentos que saem da bacia

³SR = Sedimentos que ficam retidos na bacia

Os resultados obtidos demonstram que a proporção de sedimentos retidos na bacia para todos os anos, através da equação 2 é de 1/3, enquanto que para a equação 3, a proporção gerada é de 1/2.

A análise interpretativa destes resultados será abordada conjuntamente com os demais resultados no próximo capítulo.

3.1.7. Tolerância de Perdas de Solo

A tolerância de perdas de solo é a quantidade de terra que pode ser perdida por erosão, expressa em toneladas por unidade de superfície e por ano, mantendo ainda o solo com elevado nível de produtividade por longo período de tempo. Essa tolerância reflete a perda máxima de solo que se pode admitir, com um grau de conservação tal que mantenha uma produção econômica em futuro previsível, com os meios técnicos atuais.

Progressos têm sido alcançados na determinação da intensidade de erosão de muitos solos sob grande variação climática, mostrando que as medidas de conservação reduzem a erosão, mas raramente a eliminam por completo.

O problema a decidir é quanto de erosão é permissível ou tolerável. A resposta seria simples se a perda de solo fosse na mesma intensidade que o tempo de formação do solo. Esse tempo, entretanto, não pode ser determinado com precisão. Nos Estados Unidos, estimou-se em 300 anos o tempo de formação de 25mm de solo superficial, porém, quando o solo sofre a ação de lavagem e perturbações de aeração pelo seu preparo, esse tempo pode ser reduzido a 30 anos (HUDSON, 1986); a velocidade de formação de 25mm de solo em 30 anos corresponde, aproximadamente, a uma perda de terra de 12,5 toneladas por hectare por ano, considerando-se o peso específico do solo igual a 1.500Kg/m^3 .

Para solos dos Estados Unidos, a razão máxima de perdas de solo determinada varia de 2.0 a 12.5 toneladas/hectare/ano, segundo o tipo de solo, sua espessura e propriedades físicas. Em geral, uma perda de 12.5 toneladas/hectare/ano é tolerável para solos bastantes profundos, permeáveis e bem drenados. Em consequência da intensidade de erosão variar grandemente para diferentes solos, a imposição de limites fixos de perda de solo aplicáveis a solos semelhantes fica comprometida.

LOMBARDI NETO & BERTONI (1975) realizaram uma tentativa de estabelecer padrões de tolerância de perdas para solos do Estado de São Paulo, levando em consideração sua profundidade e algumas propriedades físicas, ao estudar 75 perfis de solos. O critério adotado para a escolha das propriedades do solo consideradas essenciais no estabelecimento de padrões limites de tolerância de perdas de solo foi objetivo: baseou-se na profundidade do solo favorável ao desenvolvimento do sistema radicular e na relação textural dos horizontes superficiais.

O procedimento estabelecido pelos autores acima citados foi, em síntese, o seguinte:

1. *Profundidade do solo*: a profundidade do solo favorável ao desenvolvimento do sistema radicular é, sem dúvida, a característica mais importante para o estabelecimento dos limites de tolerância de perdas por erosão. Para solos bem desenvolvidos, como os latossolos, a profundidade máxima admitida para o desenvolvimento do sistema radicular foi considerada como sendo de 1,0 metro.

2. *Relação textural entre os horizontes superficiais e os subsuperficiais*: a relação textural, entre esses horizontes afeta principalmente a infiltração e a permeabilidade do solo. Uma relação textural de argila alta, indica uma capacidade de infiltração menor nos horizontes de subsuperfície, acelerando, com isso, a intensidade de erosão dos solos superficiais.

A relação textural (R_t), é a razão entre a média ponderada dos teores de argila dos horizontes B e a percentagem de argila dos horizontes A. A média do teor de argila foi ponderado pela espessura dos respectivos horizontes, tendo-se por base as descrições dos perfis de solos apresentados pelo projeto Radam Brasil. Como horizontes superficiais, foram considerados os horizontes A (A_p , A_1 , A_2 e A_3) e como subsuperficiais os horizontes B (B_1 e B_2), quando ocorrem.

BERTONI & LOMBARDI NETO (1985) estabeleceram o seguinte critério para o cálculo de peso de solo por unidade de superfície de cada horizonte de perfil do solo:

- a) quando o valor da relação textural é inferior a 1,5 ($R_t < 1,5$), consideraram para cada horizonte estudado do perfil, o peso total de solo por hectare do horizonte;
- b) quando o valor da relação textural varia de 1,5 a 2,5 ($1,5 < R_t < 2,5$), consideraram para os horizontes superficiais apenas 75% do seu peso de solo por hectare e 75% da espessura do horizonte de subsuperfície, logo abaixo do horizonte A;
- c) quando o valor da relação textural é maior do que 2,5 ($R_t > 2,5$), consideraram para os horizontes superficiais 50% do seu peso de solo por hectare, e 50% da espessura do horizonte de subsuperfície logo abaixo do horizonte A.

3. *Escolha dos horizontes no perfil de solo*: observando os critérios estabelecidos, os autores escolheram os horizontes de cada perfil de solo para o cálculo dos limites de tolerância de perdas de solo. As seguintes exceções foram verificadas: (I) não foi incluído para o cálculo o horizonte superior ao C ou R; (II) os horizontes B_3 não foram incluídos nos cálculos.

4. *Cálculo do peso de terra por unidade de superfície (P_{us}):* para cada horizonte considerado do perfil de solo, foi medida sua espessura e a densidade de solo, calculando o peso de solo por unidade de superfície, levando-se em conta o critério adotado para a relação textural entre ambos os horizontes, especificado no item b. O cálculo foi efetuado com a equação abaixo, considerando-se a unidade de superfície igual a 1hectare ou 10.000m²:

$$P_{us} = 100 \times H \times D$$

Onde:

P_{us} = peso de terra em um hectare, t/ha;

H = espessura dos horizontes superficiais A e B, em cm;

D = densidade do solo, g/cm³.

O peso total de solo por unidade de superfície é obtido somando-se a quantidade de solo de cada horizonte considerado.

5. *Período de tempo para desgastar a quantidade de solo da unidade de superfície:* Verificou-se que é necessário cerca de um milênio para desgastar aquela quantidade de solo por unidade de superfície, não considerando nos cálculos a formação de solos por fenômenos de intemperismo. Dividindo por 1.000 o peso de solo por unidade de superfície, tem-se a tolerância de perdas de solo (T_p) por ano para cada unidade de solo, ou seja, a quantidade máxima de solo que se pode perder por ano, mantendo-se ainda com certo nível de produtividade. Assim, $T_p = P_{us}/1.000$, que corresponde ao valor de A tolerável.

Para o cálculo de tolerância de perdas de solo, foram utilizados dados de perfis que representassem os solos presentes na área de estudo (Quadro 15). Para isto foram extraídos do Projeto Radam Brasil (1982) os seguintes parâmetros: a espessura dos horizontes A e B; teor de argila e densidade do solo. Com os dois primeiros parâmetros obteve-se a Razão Textural, através da seguinte fórmula:

$$Rt = \frac{T_a}{T_b} \quad \text{onde: } T_a = \text{textura do horizonte A e} \\ T_b = \text{textura do horizonte B}$$

Quadro 15: Tolerância de Perdas de Solo

Tipo de Solo (N°.Perfil)	Espessura dos Horizontes (cm)	Argila <0.002	Razão Textural (Rt)	Densidade do Solo (g/cm ³)	Peso (Ton/ha)	Tolerância de Perdas de Solo (Ton/ha/ano)
RQ (Neossolos Quartzarênicos/221)	A = 10	9	1.22	1.43	11460	11.46
LV (Latosolos Vermelhos/222)	A = 15	17	2.45	1.43	20860	15.64
	B = 140	23				

Não foram estimados valores de tolerância de perdas de solo para os solos Aluviais e Neossolos litólicos. Os primeiros são sedimentos que ficam retidos na bacia de drenagem e devido à escala de trabalho do presente estudo não foram representados. Os segundos por não apresentarem horizonte B, não permitem o cálculo da razão textural.

Com o resultado destes cálculos, foram elaborados os mapas de limites de tolerância de perdas de solo para a bacia em estudo.

3.1.8. Técnicas Digitais

A metodologia operacional, desenvolvida e utilizada para obtenção dos mapas bases representando cada fator da EUPS, seguiu a proposta apresentada na tese de doutorado de PARANHOS FILHO (2000) e KOZCIACK (2000), a qual é empregada pelo Projeto Pantanal-Chaco, onde também insere-se o presente estudo.

O material utilizado, como as cartas topográficas da DSG - Divisão do Serviço Geográfico do Exército e do IBGE, folhas de Rio Negro (SE21ZD-II), Rochedo (SE21ZD-V) e Camapuã (SE21ZD-IV) em escala (1:100.000 de 1966), foram primeiramente escanizadas e o arquivo resultante, em formato raster, foi convertido para o formato vetorial com a utilização do programa *FreeHand 8.0*[®] e, posteriormente, introduzidos no SIG (Sistema de Informação Geográfica).

Em ambiente SIG, os dados forneceram a base topográfica (curvas de nível, pontos cotados e o modelo digital do terreno), o uso do solo da década de 60, a malha viária e a hidrografia, todos georreferenciados.

Os mapas que dão origem ao fator A, ou seja, todos os fatores (R, K, LS, CP) da EUPS, foram transformados em "grid" no sistema ArcInfo, pois este formato permite levar em conta celas de mesmo tamanho, resultando numa comparação de dimensão de áreas uniformes.

Em uma etapa seguinte, agora com técnicas de sensoriamento remoto, como correção geométrica, classificação supervisionada e controle de fotointerpretação, foram processadas no software *Imagine ERDAS 8.3*[®], *sub-sets* das imagens de satélite 225-73 e 225-74 dos anos de 1985 e 1996. Os resultados obtidos, tais como dados de uso e ocupação do solo e distribuição da vegetação para aqueles anos, também foram enviados para o ambiente SIG (*Arc Info*[®]).

A integração do fator *CP* aos mapas temáticos de uso do solo em SIG, foi realizada através dos diferentes tipos de ocupação da terra obtidos da interpretação de imagens de satélite TM-LANDSAT, composição das bandas 4, 5 e 3, referente aos meses de setembro e outubro de 1985 e 1996. E, para o ano de 1966 foi utilizado o mapeamento do uso do solo contido nas cartas topográficas (escala 1:100.000) deste mesmo ano. As categorias de cobertura do solo encontradas na bacia em 1966 (Áreas Não Classificadas, Florestas, Cerrado, Áreas Urbanas, Rios e Lagos) foram transformadas nas classes de legenda do código CORINE de 1992.

Na classificação do uso e ocupação do solo a partir das imagens de satélite foi utilizado a nomenclatura do programa CORINE Land Cover (Coordination of Information on Environment, 1992), modificada e adaptada conforme condições específicas da região do Pantanal brasileiro. Segundo PARANHOS FILHO (2000), este

programa foi desenvolvido pela Comissão Europeia no período de 1985 a 1990 e nasceu da necessidade de se ter uma base de informações da cobertura do solo de todo o território europeu e áreas limítrofes, de forma homogênea e suscetível a atualizações periódicas. O sistema é “treinado” primeiramente para reconhecer os padrões nas imagens por meio da definição dos critérios apropriados, já com controle de campo, e o resultado deste treinamento é um conjunto de assinaturas para as classes propostas, que são utilizados por um algoritmo específico para classificar toda a imagem.

A legenda derivada do projeto CORINE de acordo com RIGHINI et al (1998) e PARANHOS FILHO (2000), quadro 16, foi modificada e readaptada com o propósito de representar as peculiaridades da área de estudo.

Quadro 16: Classes de cobertura de solo, baseadas no CORINE Land Cover.

CLASSES	CÓDIGOS CORINE
1 – Áreas Antropizadas	1.1.1 - 1.1.2 – (2313 e 334)
2 – Áreas Agrícolas e Pastagens	2.1.1 – 2311 – 2312
3 – Áreas Naturais	3.1.1 - 3.2.1 - 3.2.2 - 3.2.4 - 3.3.2 - 3.3.3
4 – Pântanos (Zona úmida)	4.1.1
5 – Corpos Aquosos	5.1.2

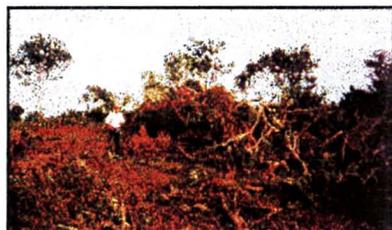
No SIG, os dados extraídos das cartas topográficas foram cruzados com aqueles fornecidos pelas imagens de satélite. Em seguida, foi efetuado ainda um controle de campo, para a avaliação da interpretação realizada (figura 13) e verificação da exatidão dos dados, obtendo-se como produto final, um banco de dados SIG de toda a área de estudo, com informações que podem ser comparadas entre si sobre a evolução geoambiental da mesma.

Numa última etapa, em ambiente SIG, os dados de 1960 (obtidos das cartas topográficas) são comparados com os de 1985 e 1996, por sua vez obtidos das imagens de satélite. As diferenças existentes entre as informações das diferentes épocas são realçadas com técnicas de álgebra de mapas.

Imagem sintética gerada a partir da composição colorida das bandas 4, 5 e 3 e algumas respectivas chaves de interpretação visual



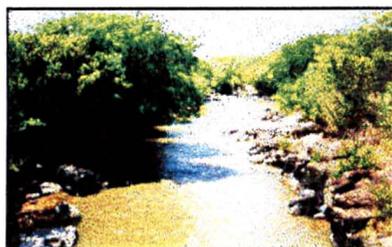
8. Vertente apresentando cicatriz natural, provocada pelo movimento de massa.



9. Área de cerrado recentemente desmatada



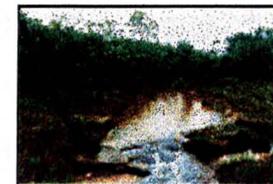
10. Em primeiro plano área de pasto, em segundo plano remanescentes de vegetação natural, floresta e cerrado



11. Rio Aquidauana em sua fóz junto à cidade de Córquinho, nos limites da bacia em estudo.



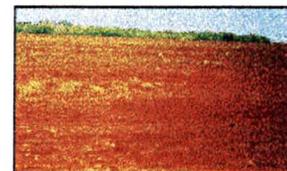
Fonte: Mosaico dos sub-set das imagens Landsat-TM 225-73 e 225-74 de setembro/1996



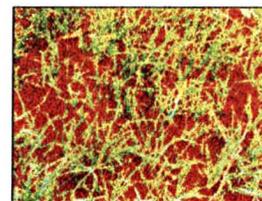
1 - Córrego Água Limpa à montante, e mata galeria.



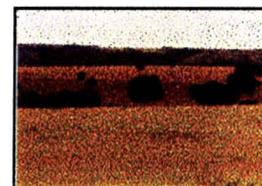
2 - Área de pasto com alto grau de vossorocamento.



3 - Latossolo exposto preparado para o plantio



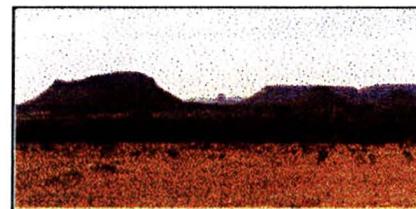
4. Soja em fase inicial de desenvolvimento



5. Área de pasto plantado



7. Area degradada, com exposição de solo arenoso em fundo de vale.



6. Em último plano relevo apresentando testemunhos residuais em forma de mesetas.

Para o reconhecimento da bacia *in loco* foi realizado um trabalho de campo, dividido em duas etapas: a primeira, em setembro de 1999 e a segunda, em maio de 2000. Ao todo foram locados 226 pontos (figura 14), que serviram de controle para interpretação do tipo de cobertura do solo e reconhecimento dos tipos de solo, geologia, geomorfologia e hidrografia. Também foram colhidas informações quanto à produção, tipos de culturas e manejo empregados.

Para registrar os pontos de controle no campo foi utilizado o sistema GPS (Global Positioning System), que permite a obtenção do posicionamento pontual, através de sinais de ondas eletromagnéticas que percorrem a distância entre o satélite e o receptor. O tempo gasto para a propagação dos sinais é que determina o posicionamento de um determinado ponto em latitude, longitude e altitude. O sistema GPS é considerado um sensor ativo por emitir sinais em direção ao alvo terrestre em determinado comprimento de onda (MOTTER, 1996). O GPS foi utilizado não só para se obter uma localização mais precisa no terreno e nas cartas mas, sobretudo, para o fornecimento das coordenadas geográficas necessárias para a inclusão das informações no banco de dados. Tanto as imagens de satélite georreferenciadas, como as cartas topográficas da área foram utilizadas para o controle dos dados de campo.

A seqüência metodológica utilizada para se chegar aos resultados deste estudo, está descrita em síntese na figura 15.

Figura 14: Mapa de identificação dos pontos de controle de campo

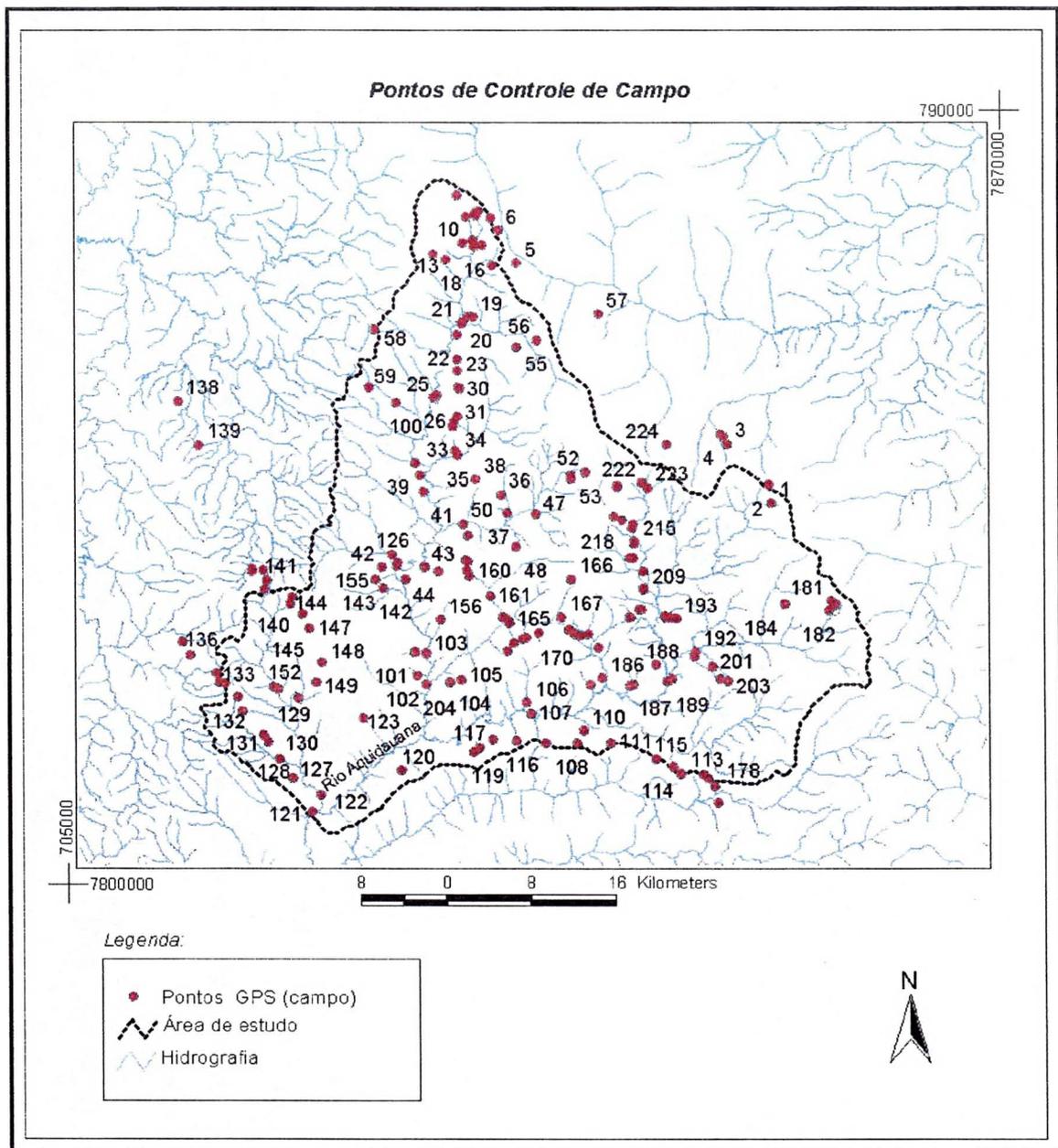
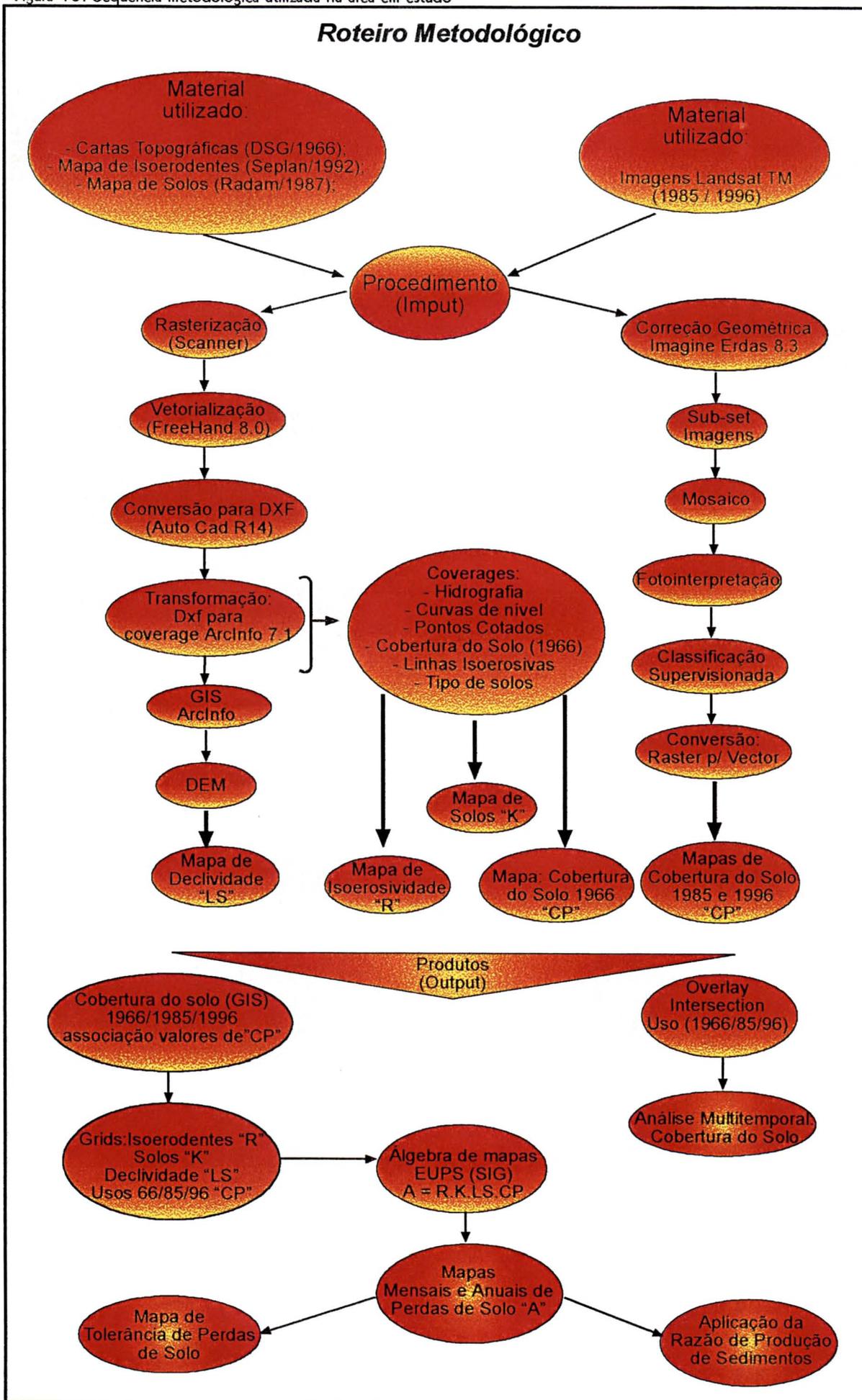


Figura 15: Sequência metodológica utilizada na área em estudo



CAPÍTULO IV

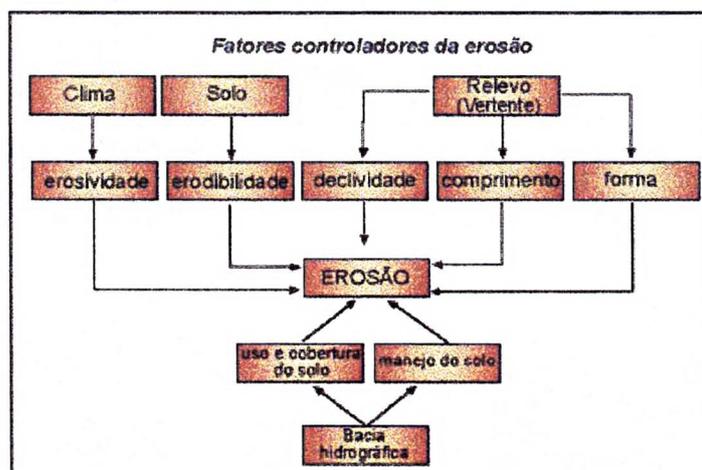
Interpretação dos resultados obtidos na bacia do alto curso do rio Aquidauana

4.1. Análise dos resultados e discussão

Os resultados e as observações de campo apontam que na bacia em estudo os processos erosivos marcam a paisagem, seja condicionando a diminuição da produtividade agrícola e das pastagens as quais são a forma de uso predominante, ou seja cortando as vertentes e os anfiteatros de cabeceiras de drenagem em forma de vossorocas.

Diante de tais constatações, e visando obter um diagnóstico do problema detectado, tem-se que o processo erosivo é desencadeado pela junção de uma série de fatores, sumarizados no esquema à seguir (Figura 16):

Figura 16: Fluxograma dos fatores que controlam a erosão



Estes fatores foram avaliados na EUPS, os resultados apontaram que na bacia em estudo ocorrem áreas de risco com perdas acima do tolerável, conforme mostra a Figura 17. Em 1966, percebe-se que as perdas acima do tolerável restringiam-se à regiões escarpadas e serras, que se justificam em parte pela probabilidade natural que estas áreas, com declividade alta e solos rasos, possuem à predisposição erosiva.

Em 1985 e 1996, multiplicaram-se as áreas com perdas de solo excessivas. Apesar da bacia continuar apresentando uma paisagem essencialmente rural, verifica-se que com a substituição da cobertura vegetal, para pastagem ou agricultura, a fragilidade do ambiente como um todo foi afetada.

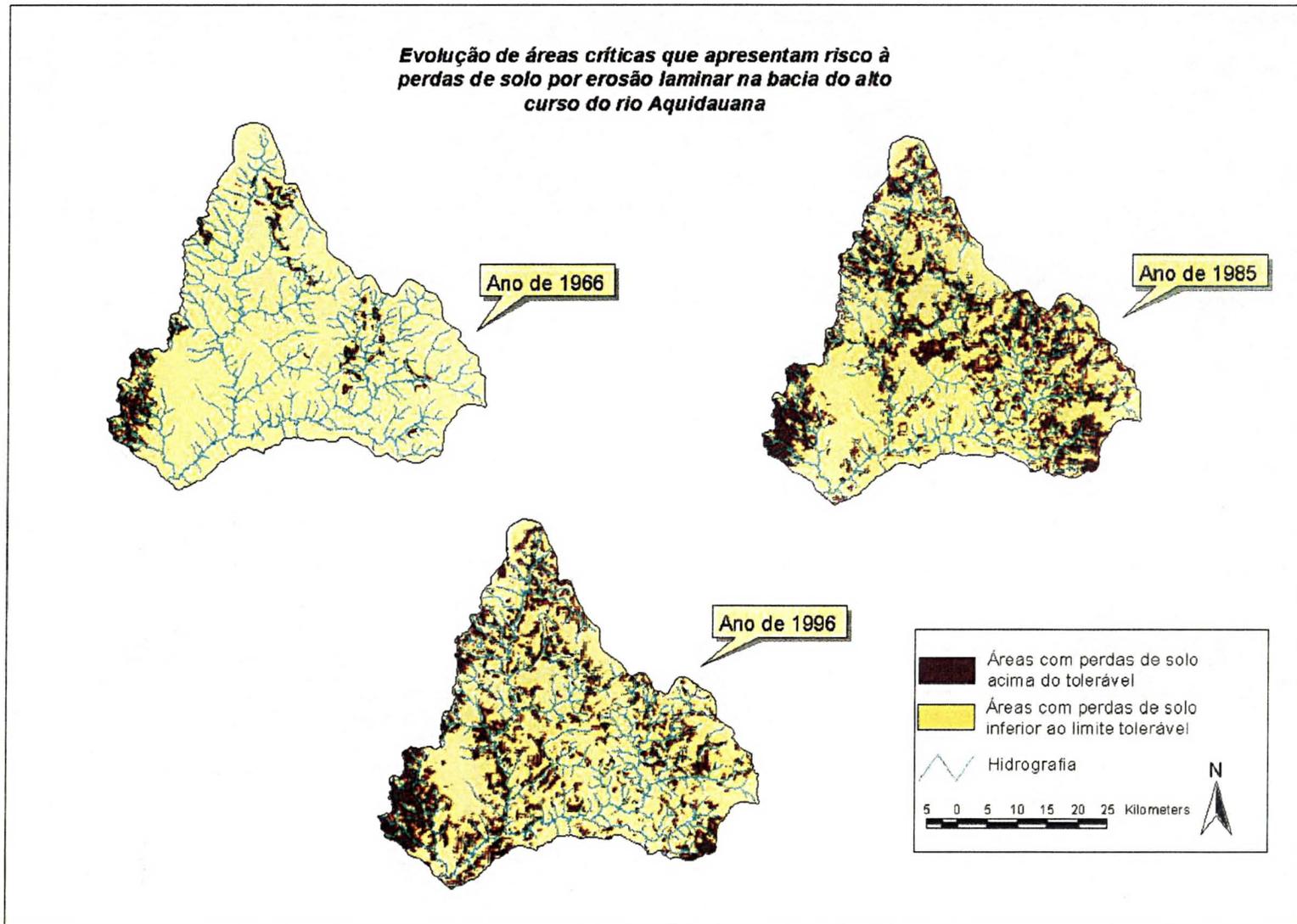
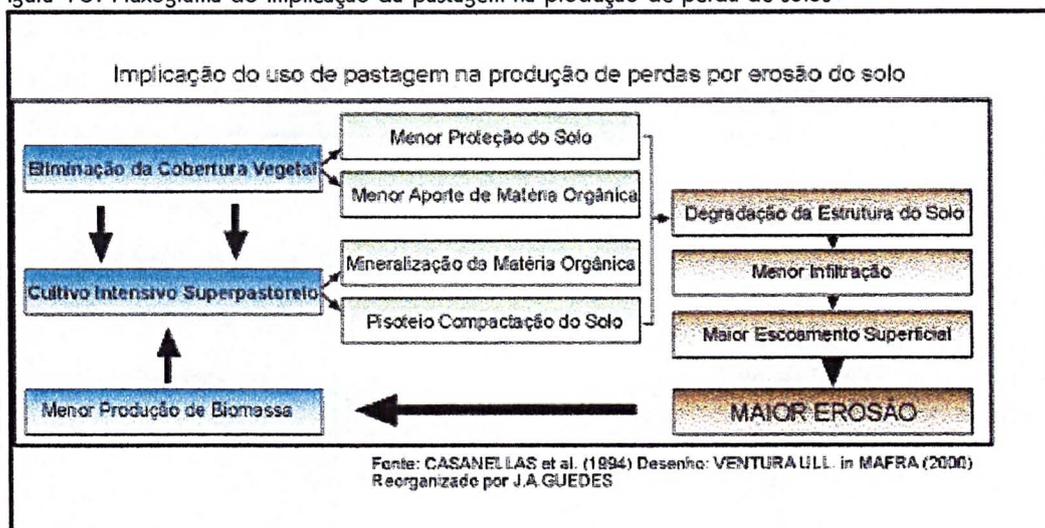


Figura 17 : Mapa de tolerância de perdas de solo no alto curso do rio Aquidauana

A pecuária é a prática dominante na área em estudo, pois segundo os proprietários de terras, para este tipo de uso não há necessidade de adubação nem correção do solo, tornando-se em termos de custo mais viável, tanto para pequenos quanto grandes proprietários. Assim, buscou-se uma interpretação para as causas diretas da implicação deste tipo de uso na paisagem.

Conforme esquema abaixo (Figura 18), é possível verificar sinteticamente as causas das perdas de solo em áreas de pastagens. Onde os solos são pouco evoluídos, como é o caso do vale do rio Aquidauana, a probabilidade de perdas é maior. Os solos rasos permitem uma rápida saturação dos horizontes superficiais, favorecendo o desenvolvimento de enxurradas e conseqüentemente maior incidência de erosões, podendo isto ser constatado no mapa anual de perdas de solo (Figura 19) e também no mapa de risco (vide figura 17), pois as perdas predominam nas áreas constituídas basicamente por solos arenosos, ou na faixa de transição destes.

Figura 18: Fluxograma do implicação da pastagem na produção de perda de solos



É comum em áreas destinadas à pecuária, a incidência de trilhas no terreno provocadas pelo pisoteio do gado. Estas trilhas, em episódios de chuvas intensas, além de funcionarem como canal de escoamento superficial difuso, causam a compactação do solo, danificando sua estrutura interna e intensificando a dinâmica erosiva dos solos. O escoamento superficial e sub-superficial, favorece a formação de sulcos ou rachaduras no terreno que podem atingir o lençol freático.

Este processo de degradação do solo, também pode levar à formação de vossoroca, que é um tipo de erosão acelerada, comuns à área drenada pelo córrego Água

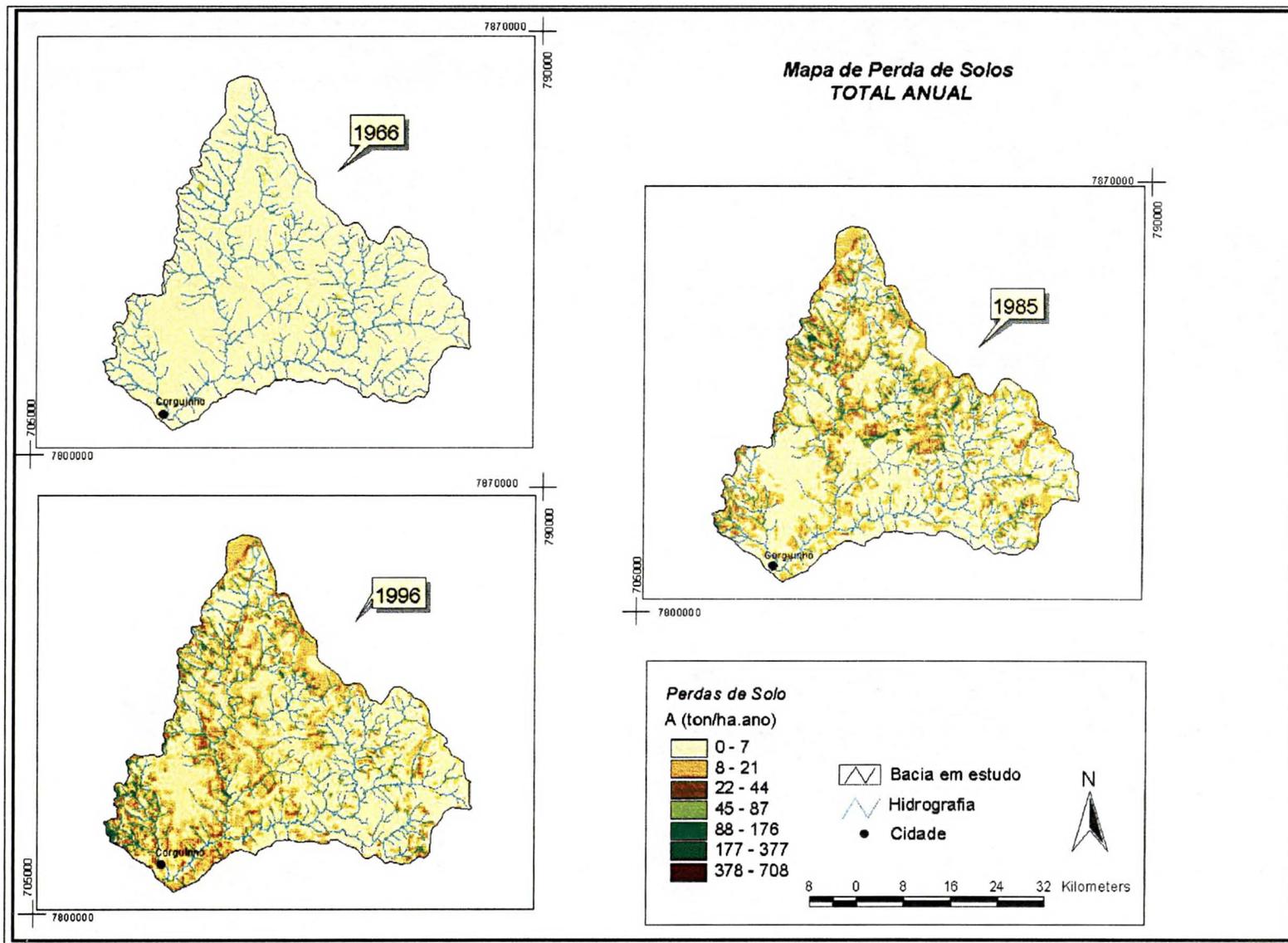


Figura 19. Mapa anual de perdas de solo na bacia do alto curso do rio Aquidauana

Limpa, principal formador do rio Aquidauana (foto 18). Neste local, mesmo com uma declividade muito baixa, o que percebe-se é que a estrutura do solo não suportou a retirada da vegetação natural e nos meses de maior pluviosidade e concentração de fluxo d'água os canais foram sendo abertos, transportando o material inconsolidado. Com isso as ramificações foram avançando e tomando conta do terreno rapidamente, especialmente quando o sulco alcançou o lençol freático, acelerando de vez o processo erosivo. Este avanço também foi favorecido pela tendência natural de regressão das cabeceiras de drenagem, comuns à esta região.

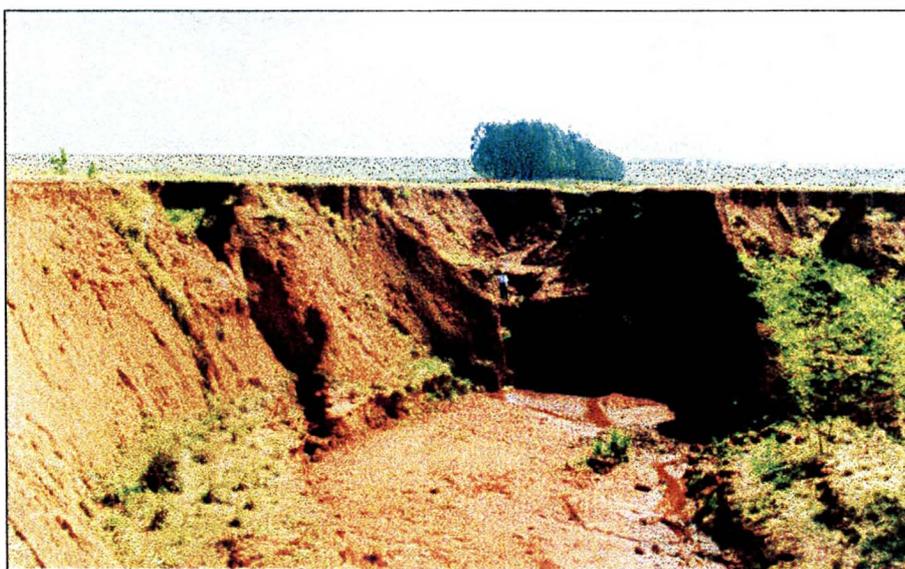


Foto 18: Área em estágio avançado de vossorocamento, apresentando surgência de água. (A.P.F.- Set/1999)

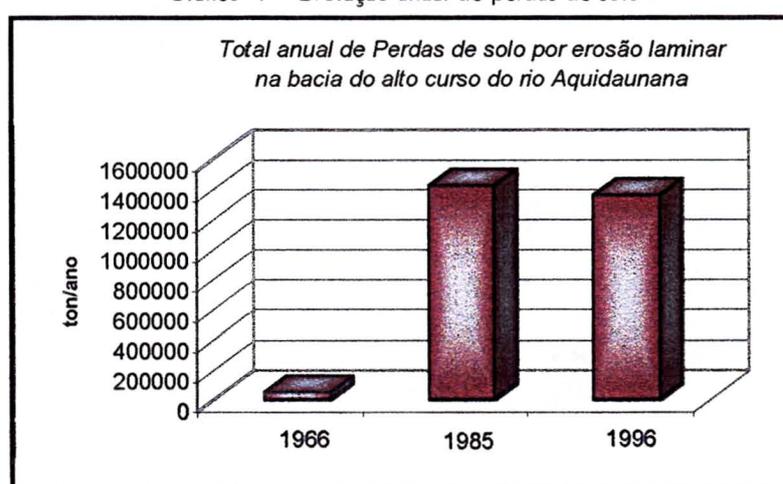
Com relação à área agrícola, que na bacia se limita à região plana da Chapada de São Gabriel, o valor encontrado para a prática de uso do solo (C) no ciclo de plantio da soja após milho, foi de 0.0968 no período mais crítico, que se estende de outubro à março onde o índice erosivo é maior. O valor de C encontrado nesses meses é oito vezes maior que no restante do ano.

A princípio, observa-se que esta situação já demonstra uma probabilidade razoável de perda de solo por erosão laminar nos meses indicados. Se comparado o resultado de C mensal (outubro à março) obtido, ao valor anual de C igual à 0,08323 encontrado por MOTTER (1996) na região do segundo Planalto Paranaense, e desconsiderando-se demais fatores, concluí-se que o resultado representa um índice alto para seis meses. Porém, como estão sendo empregadas técnicas preservacionistas nas áreas agrícolas, há de se considerar que estes índices são reduzidos pela metade.

Os meses citados acima são mais propensos à perdas, pois correspondem ao período de maior pluviosidade na região, causando um índice erosivo maior (vide figuras 7 e 8). Conforme CARVALHO (1994), o total médio anual erosivo das chuvas (figura 9) encontrado na área em estudo (700 t.m.mm/ha.h.ano) pertence à uma classe de erosividade média ($500 < R < 750$).

Com relação aos resultados encontrados de perdas de solo na bacia, e que são apresentados no gráfico 4, nota-se que há um elevado crescimento de perdas entre 1966 e 1985, e uma diminuição ainda que muito pequena, entre 1985 e 1996 em relação ao período anterior (vide também quadro 12).

Gráfico 4 – Evolução anual de perdas de solo



Esta queda mínima também é representada no gráfico de totais mensais de perdas de solo (quadro 17 e gráfico 5). O que realmente é significativo é o aumento tanto mensal quanto anual de perdas entre os anos de 66 e 85. Tanto o gráfico mensal quanto as figuras 20 à 31, demonstram também que durante 4 meses (junho à setembro) as perdas de solo são expressivamente reduzidas em todos os anos estudados. Sendo que os meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, são os meses que concentram maiores perdas de solo, com 52% para o ano de 1966, 78% para o ano de 1985 e 71% para o ano de 1996.

Conforme as características físicas da área em estudo, pode-se constatar através da aplicação da EUPS, que as áreas mais críticas e favoráveis às perdas excessivas de solo encontram-se próximas às bordas da Chapada de São Gabriel no sentido N à SE, junto ao alto curso dos afluentes da margem direita do rio Aquidaunana.

Figura 20. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Janeiro

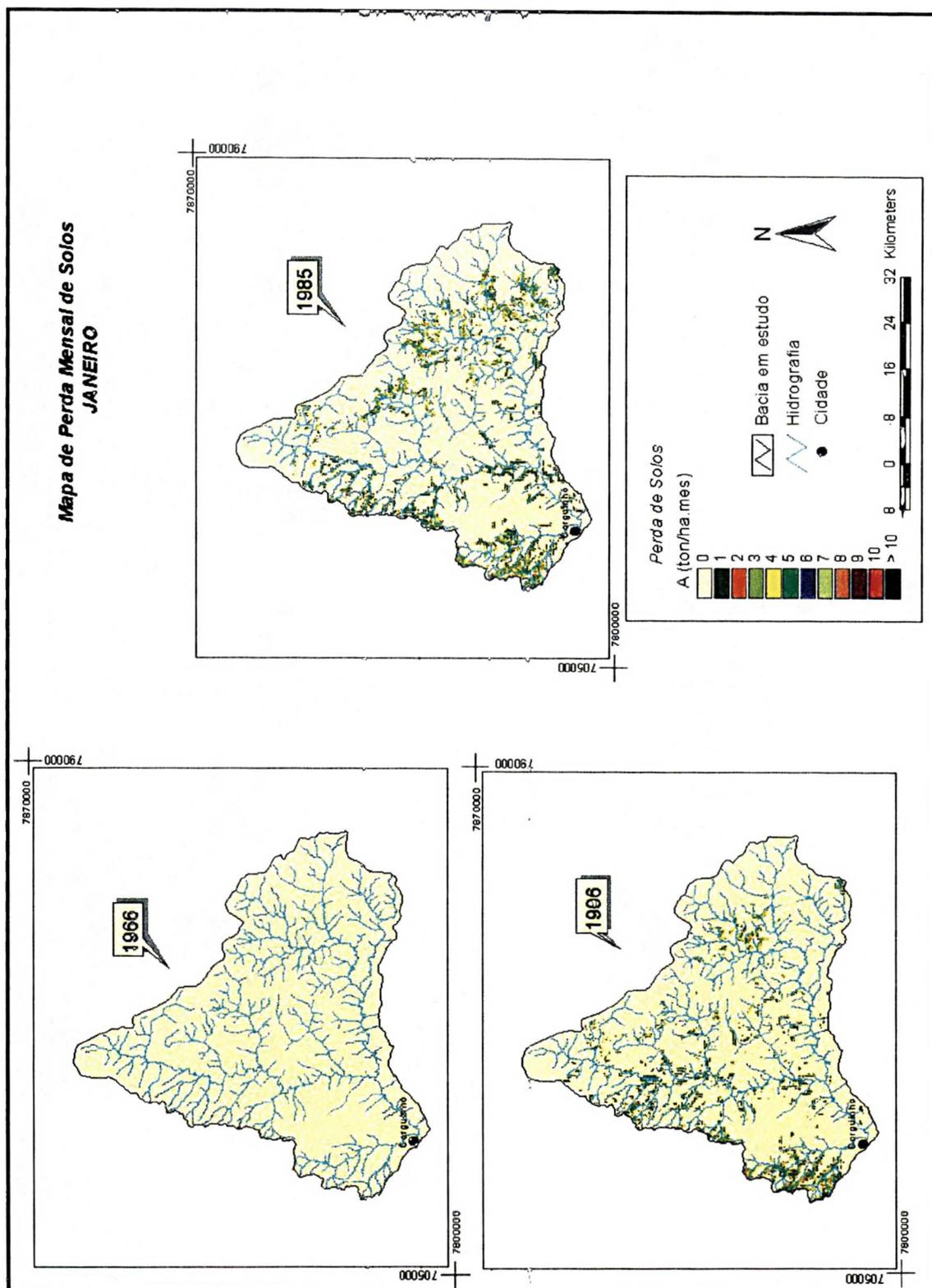


Figura 21. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Fevereiro

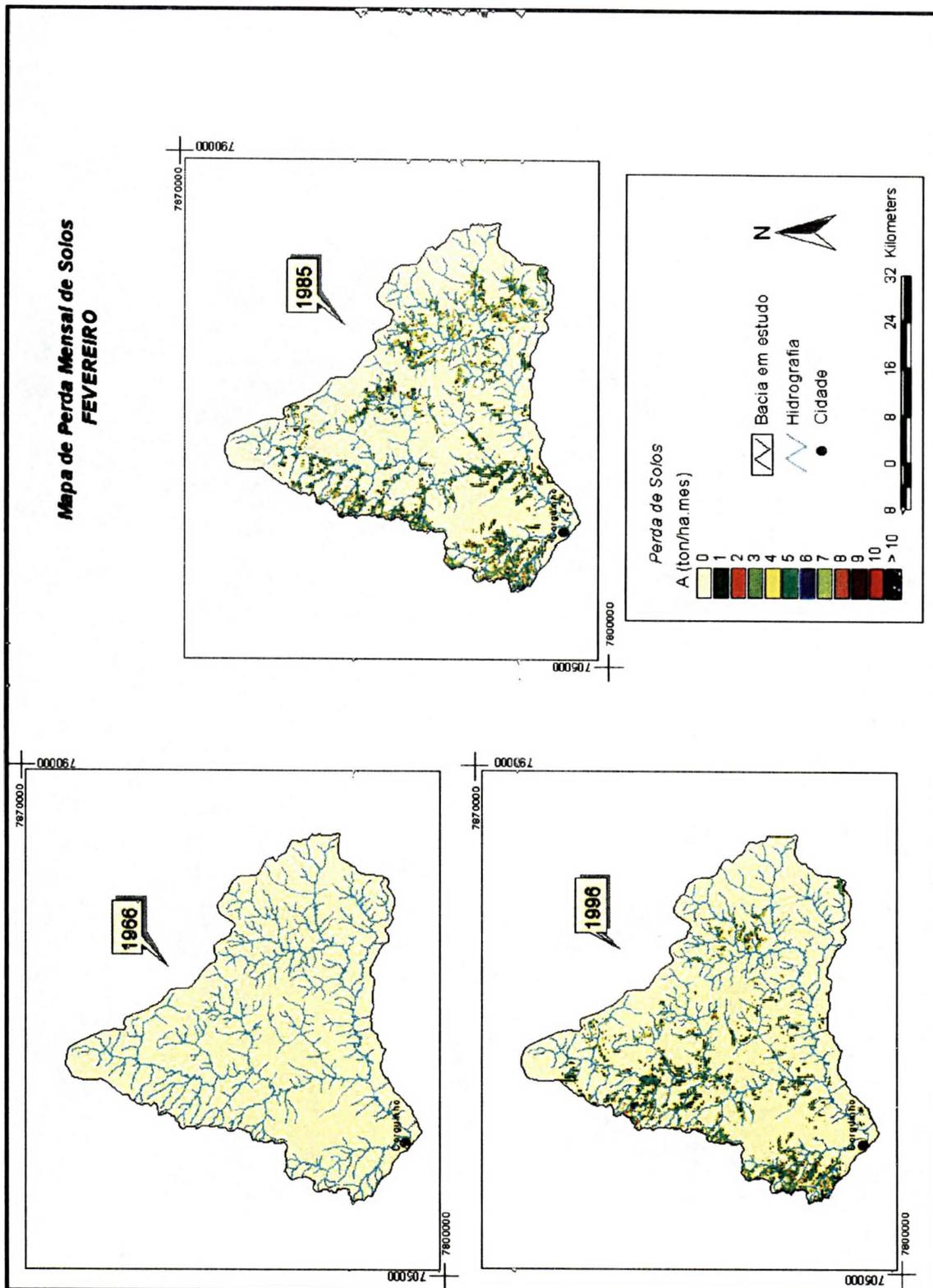
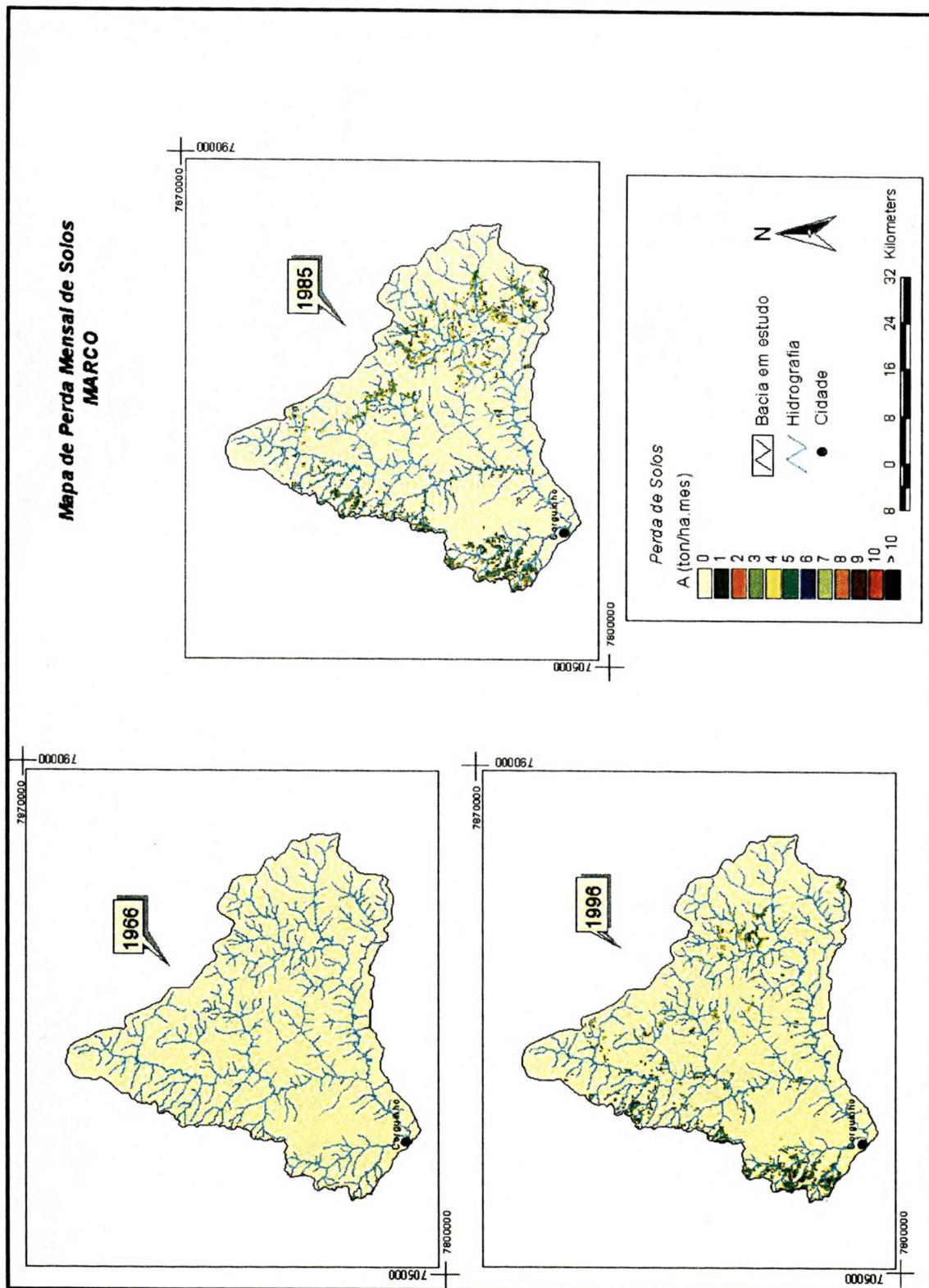


Figura 22. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Março



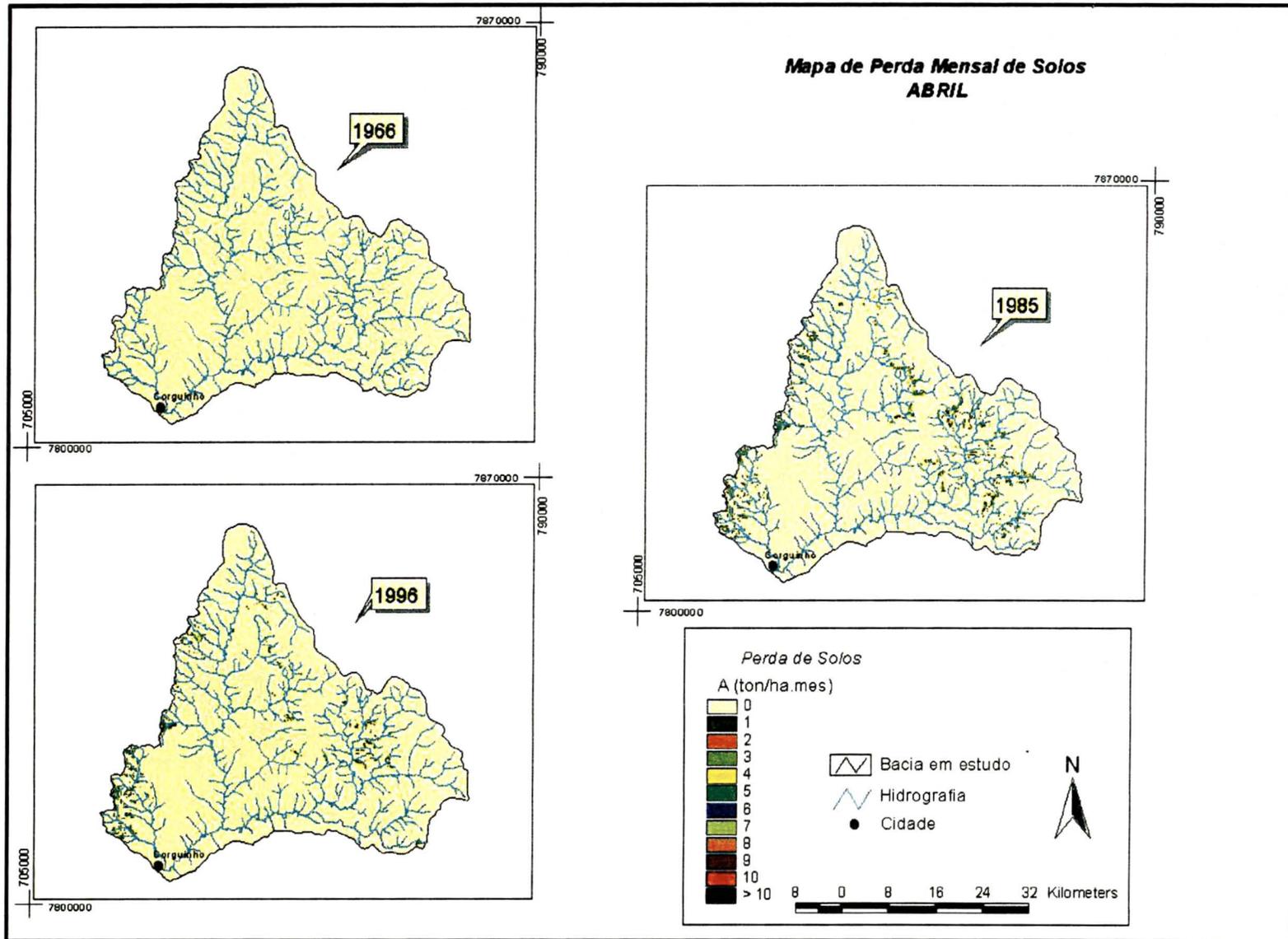


Figura 23. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Abril

Figura 24. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Maio

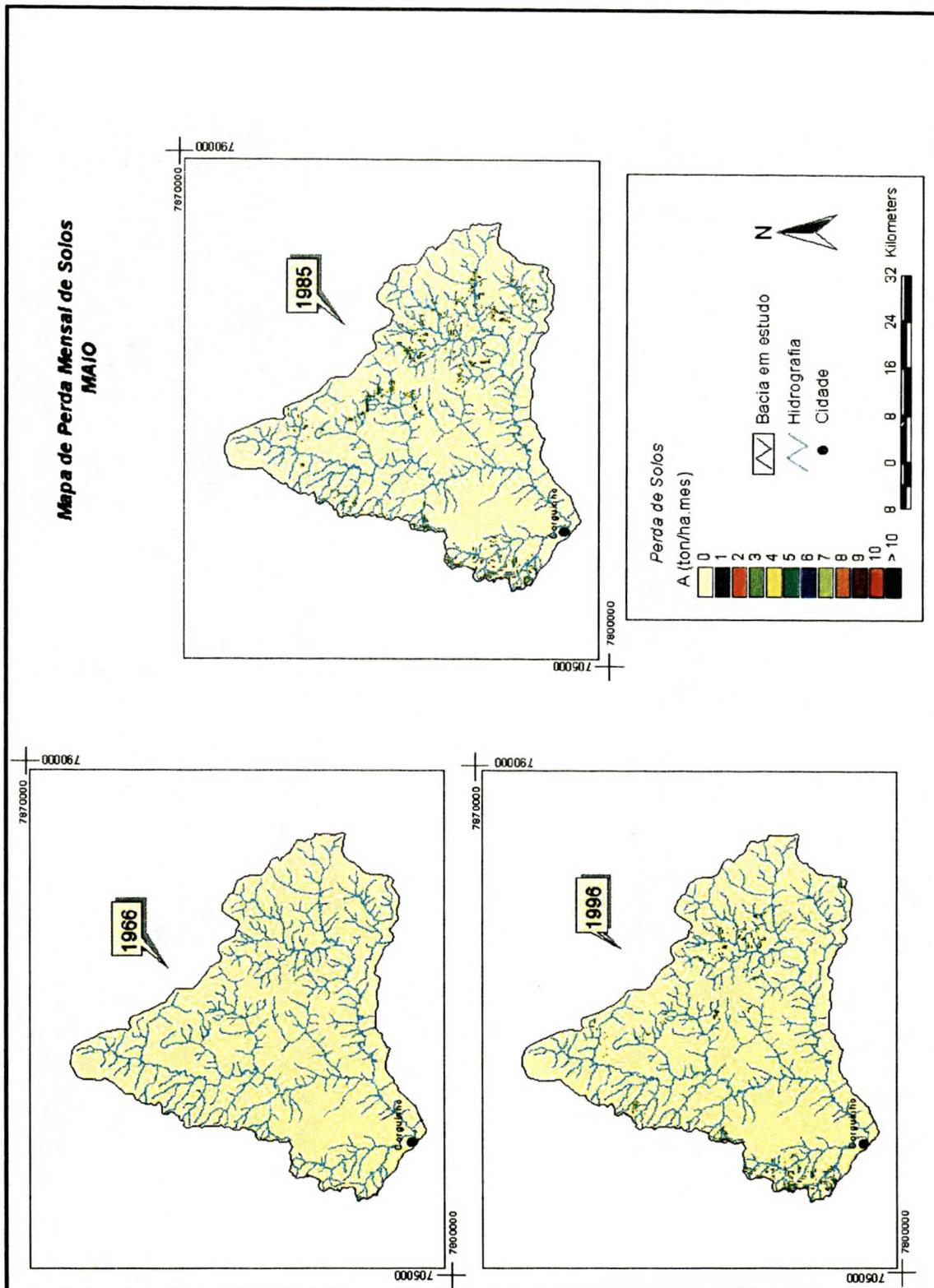


Figura 25. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana –Junho

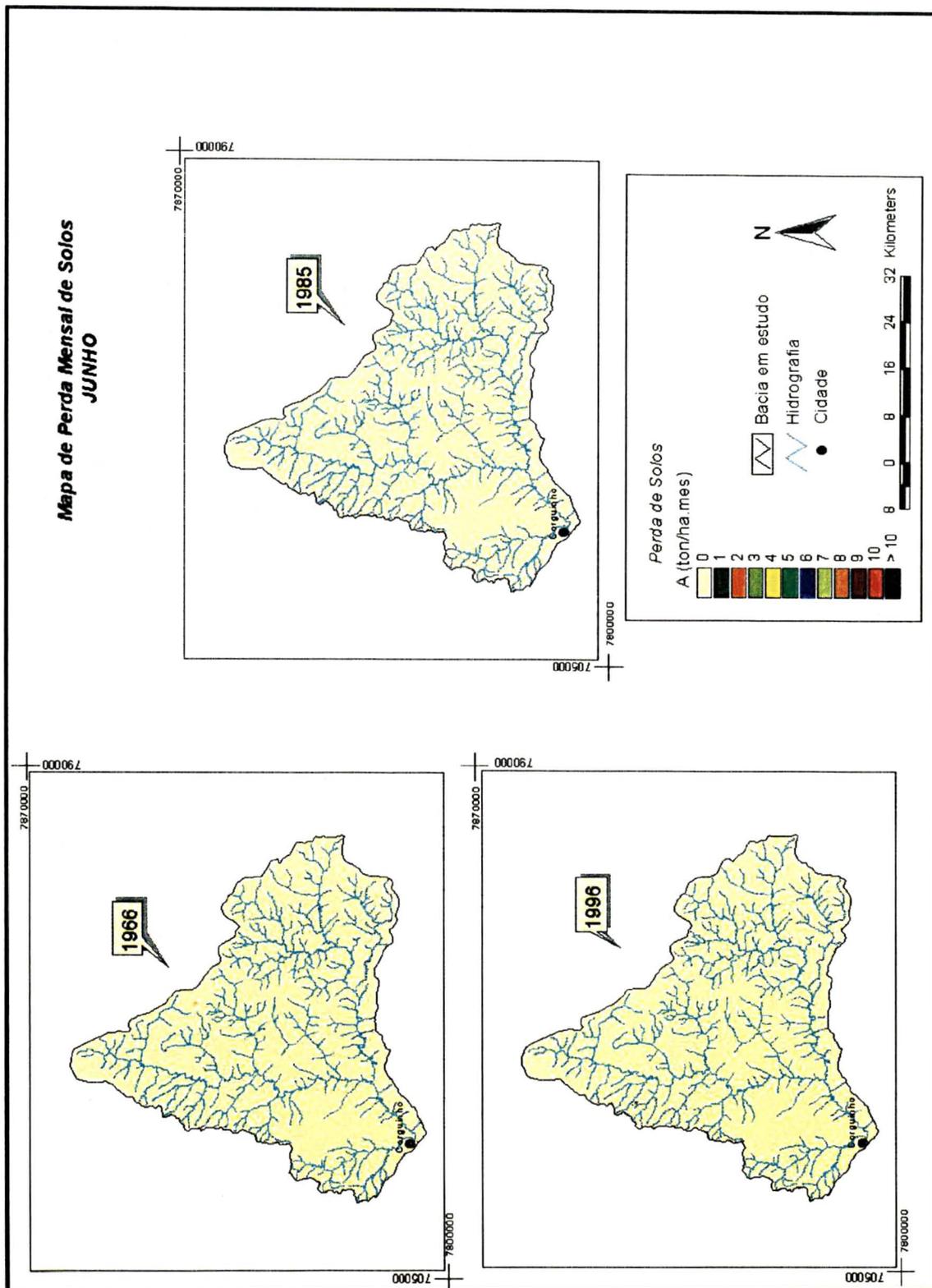
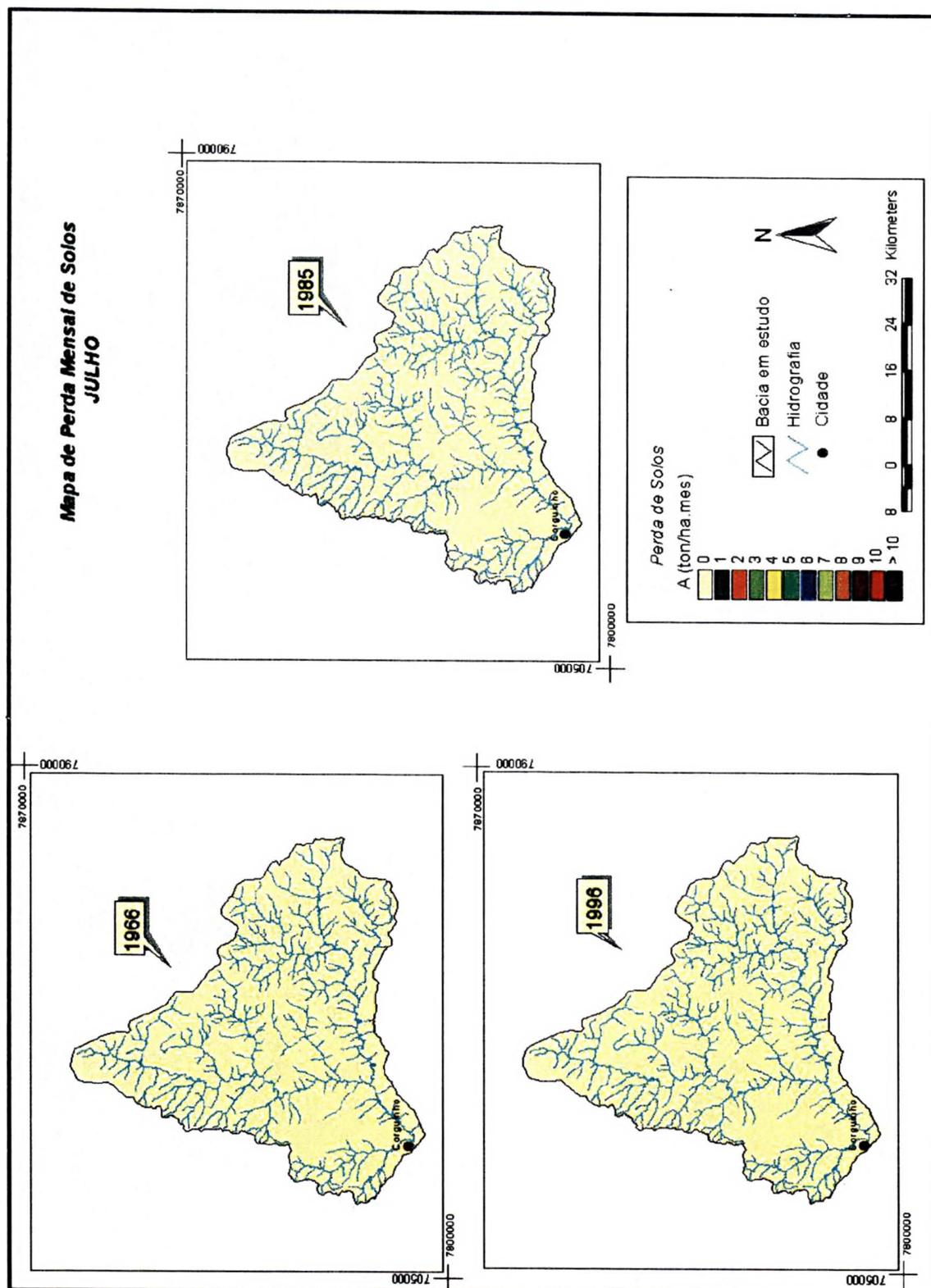


Figura 26. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Julho



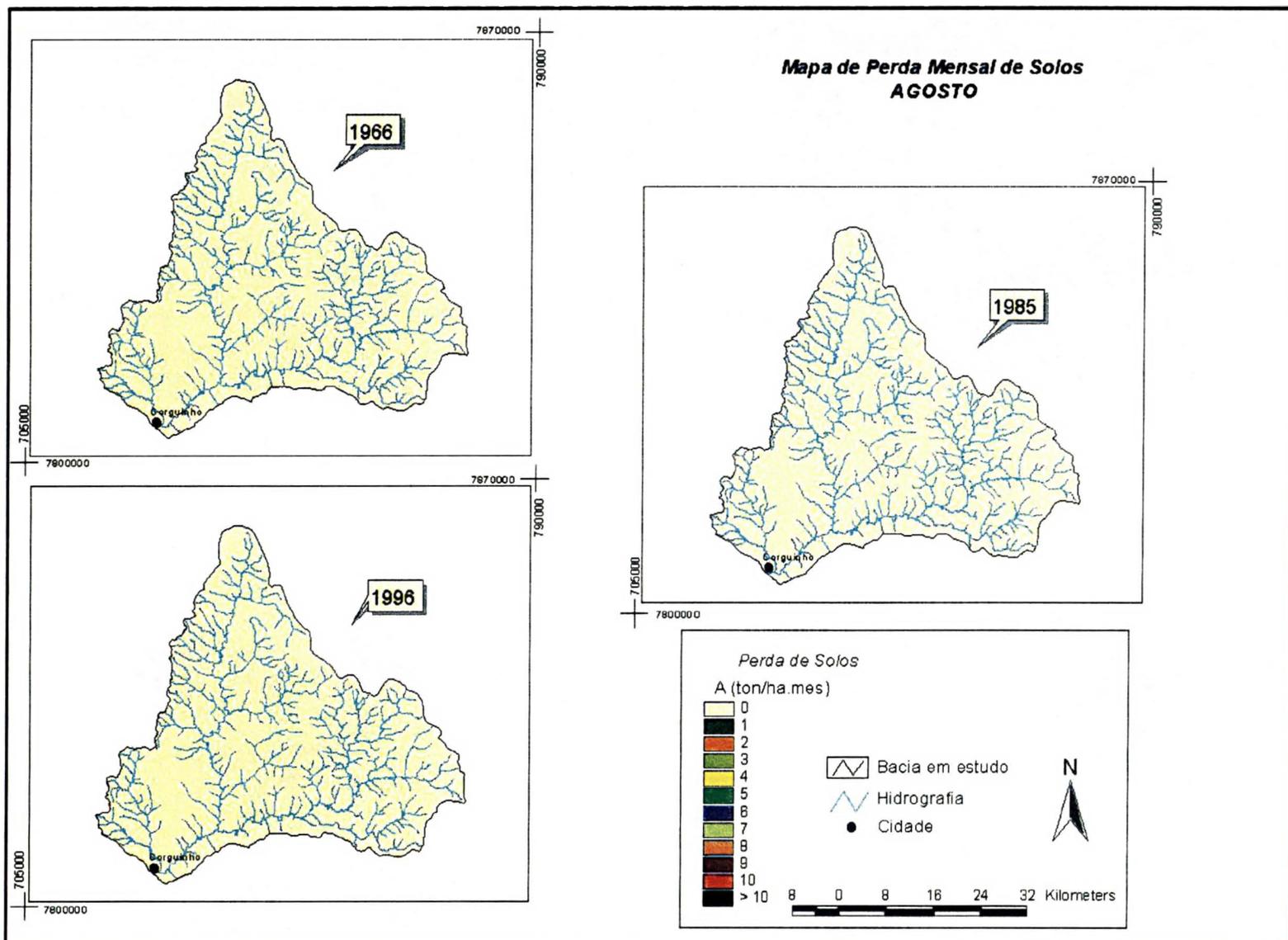


Figura 27. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Agosto

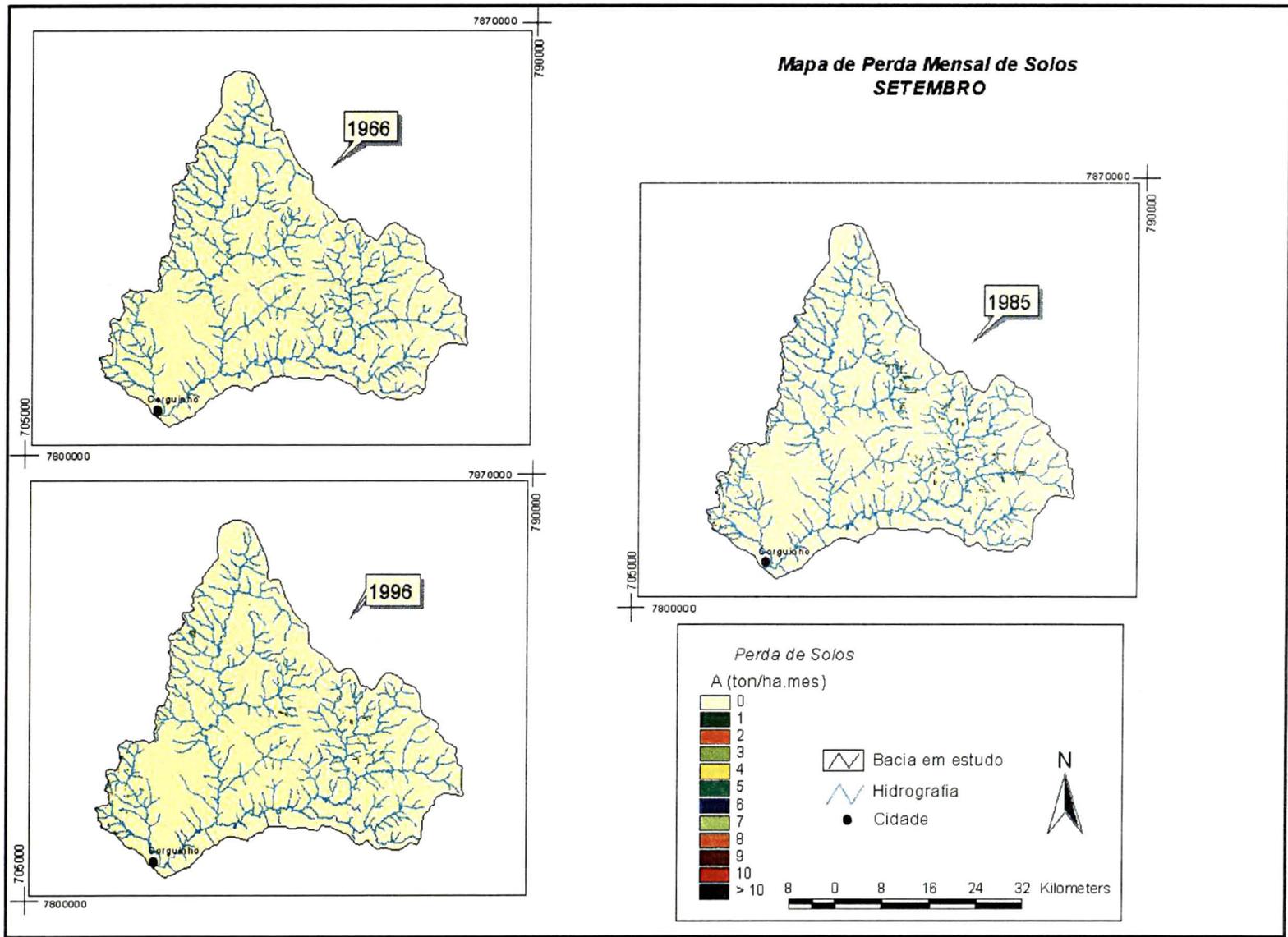


Figura 28. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Setembro

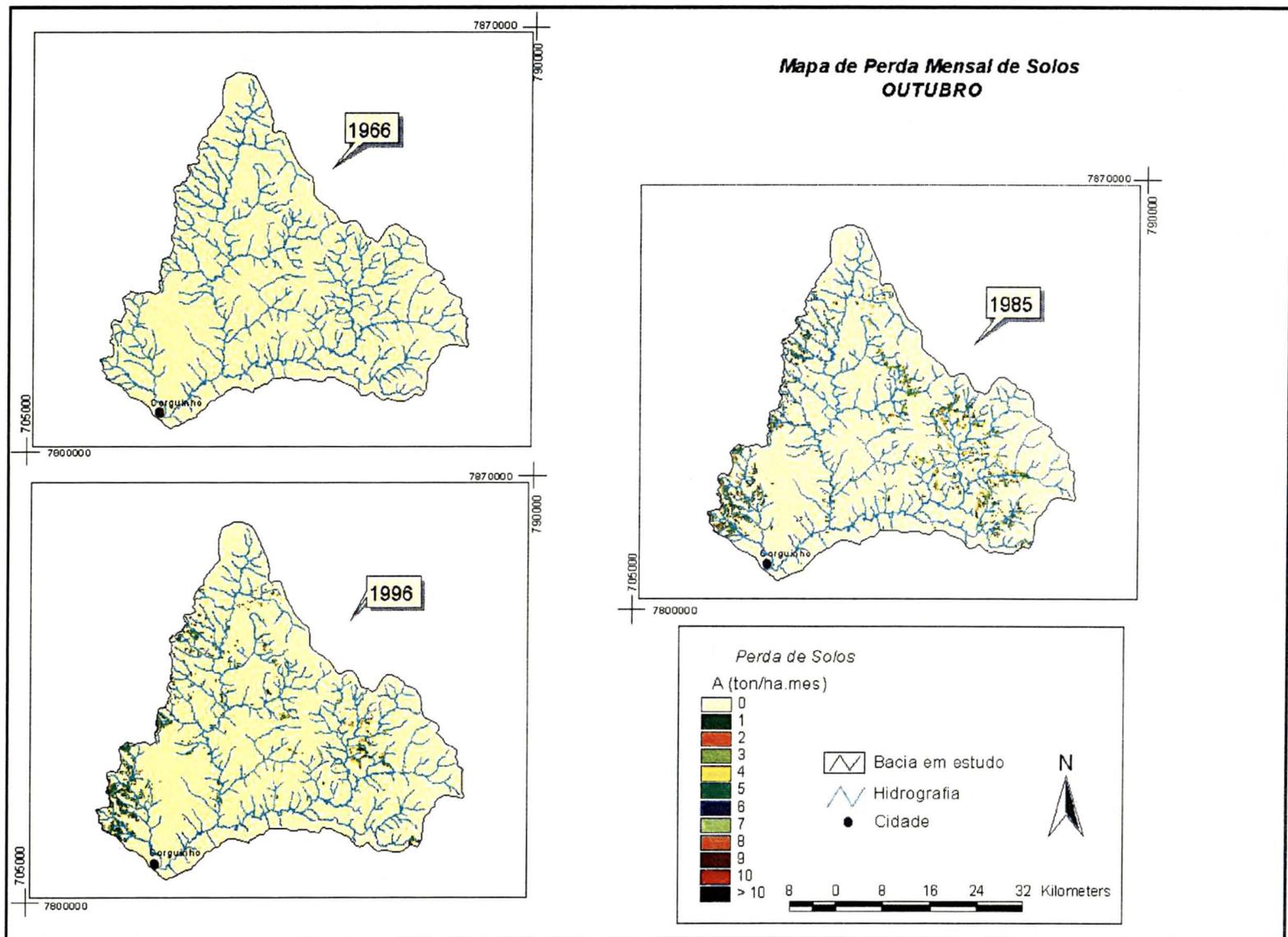
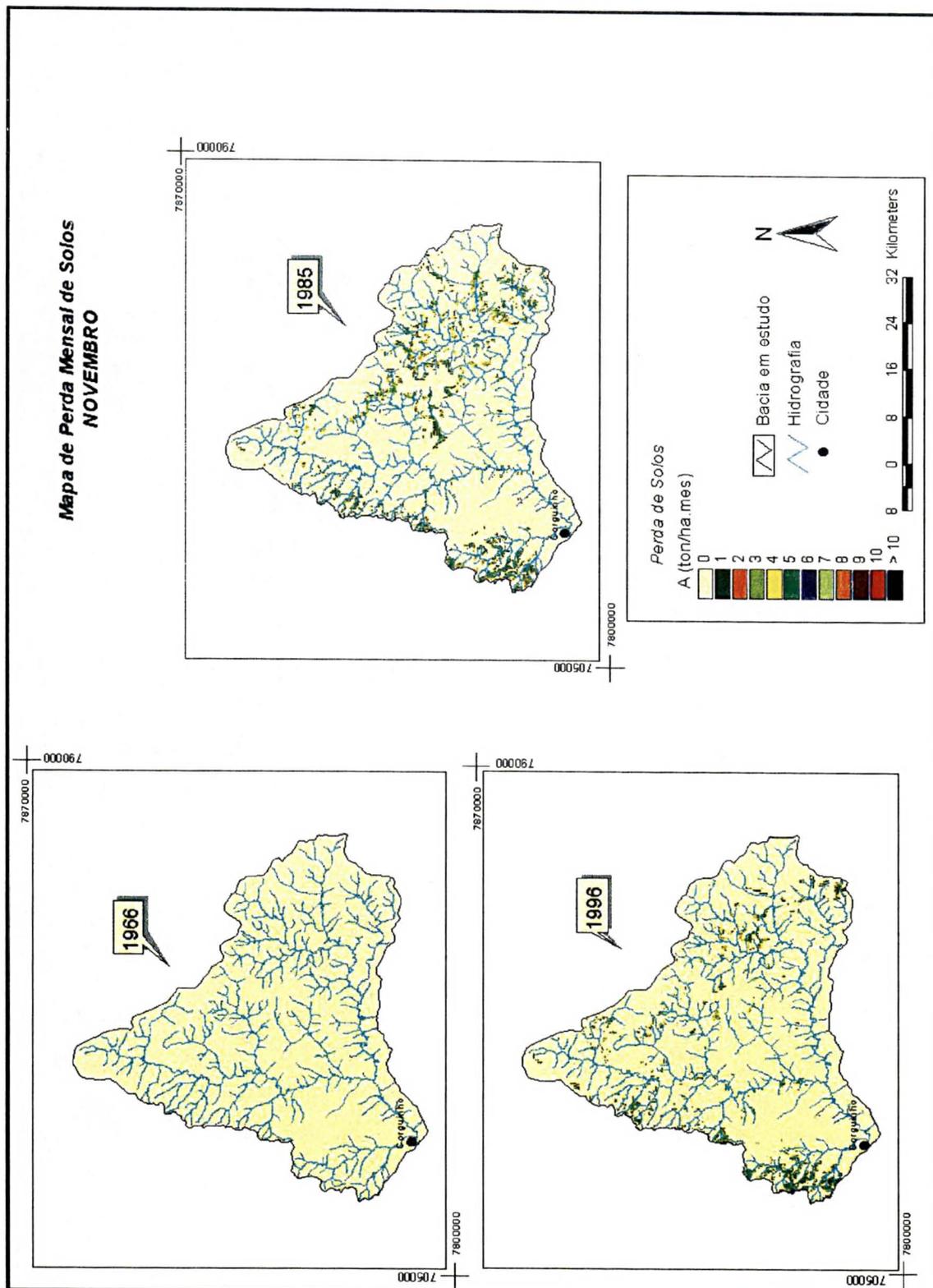


Figura 29. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Outubro

Figura 30. Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Novembro



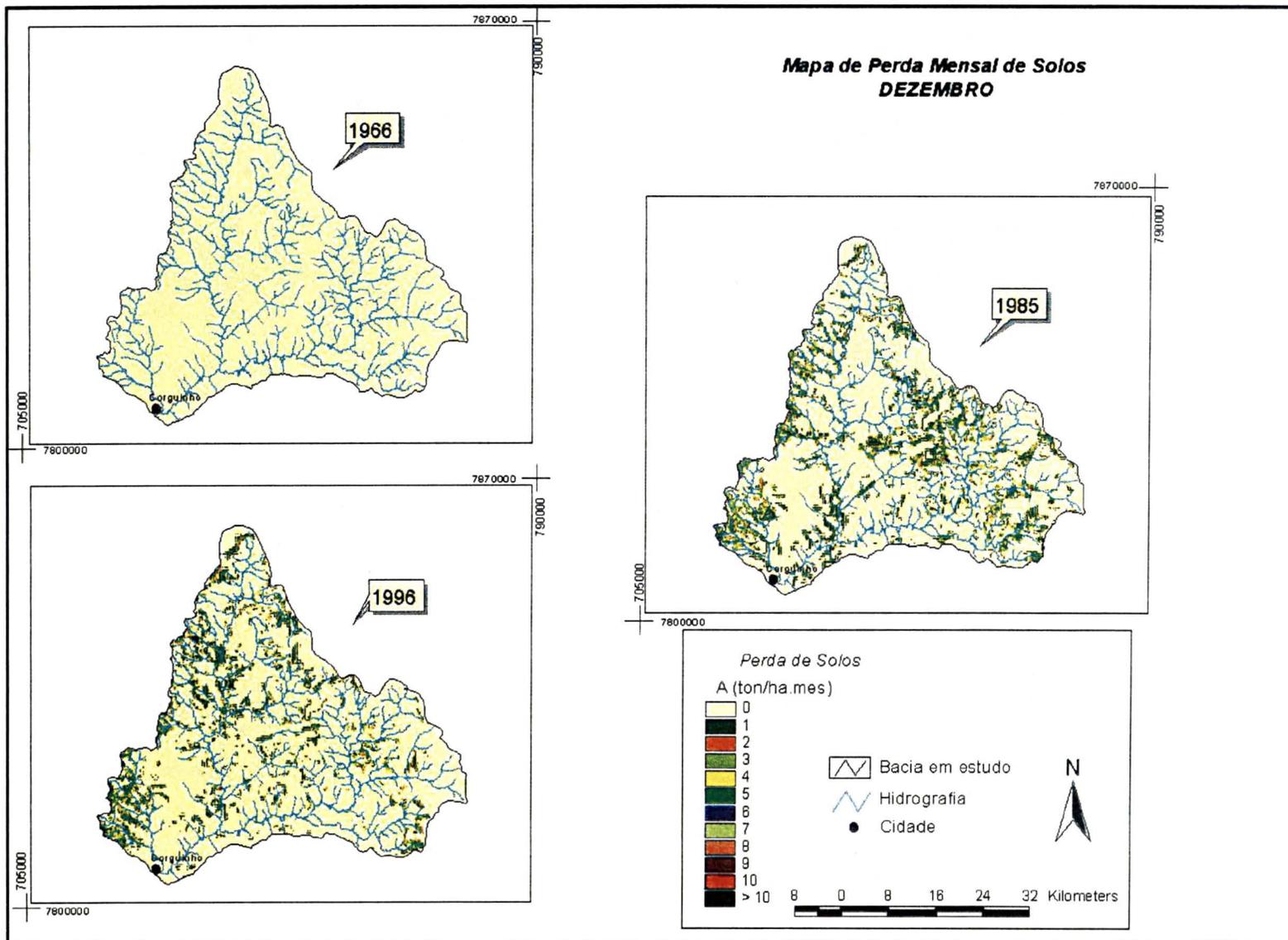


Figura 31 - Mapa mensal de perda de solos no alto curso do rio Aquidauana – Dezembro

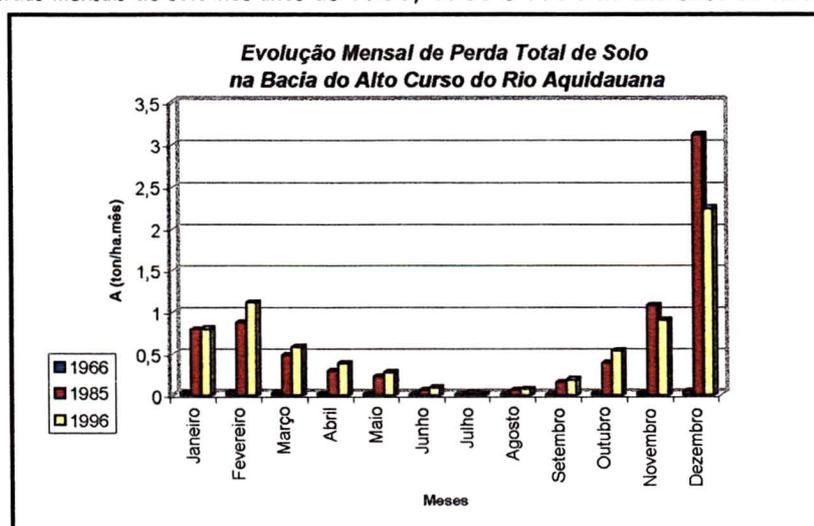
Outra região expressiva localiza-se numa área drenada pelos formadores do córrego Córquinho, também afluente da margem direita do rio Aquidauana (vide figura 19). Uma das causas mais prováveis deste resultado, está na condição do predomínio dos Neossolos litólicos (RL) e do substrato que origina este tipo de solo, que é a Formação Aquidauana, pois neste caso a declividade não apresenta-se tão acentuada (5 à 15%), e este tipo de rocha é mais susceptível à erosão mesmo sob condição relativa de baixa ocupação populacional.

Em 1966 esta área era basicamente composta por cerrado e florestas, mas em 1985, encontra-se retalhada por campo sujo, pastagens, cerrados e florestas. Estas coberturas permanecem na década seguinte, porém é possível perceber uma redução nas manchas de florestas e cerrado, e, conseqüentemente, há um aumento de pastagens e campo sujo que somado a propensão natural destes solos aos processos erosivos levou às perdas excessivas de solo verificadas.

Quadro 17: Perdas de solo por hectare nos anos de 1966, 1985 e 1996

Anos	1966		1985		1996	
	(A = ton/ha.mês)	(AT = ton.ano)	(A = ton/ha.mês)	(AT = ton.ano)	(A = ton/ha.mês)	(AT = ton.ano)
Meses						
Janeiro	0,029	5530,0	0,788	149014,7	150917,6	0,799
Fevereiro	0,037	6989,6	0,871	164587,8	209873,4	1,110
Março	0,024	4591,5	0,482	91171,1	108674,9	0,575
Abril	0,018	3383,4	0,290	54808,4	72162,2	0,382
Mai	0,015	2879,8	0,221	41713,6	51407,3	0,272
Junho	0,010	1977,6	0,059	11152,6	16644,9	0,088
Julho	0,009	1682,5	0,026	4992,3	3106,9	0,016
Agosto	0,010	1901,5	0,060	11321,2	13327,4	0,071
Setembro	0,009	1733,0	0,154	29017,0	34852,1	0,184
Outubro	0,022	4200,5	0,383	72298,9	100461,8	0,532
Novembro	0,022	4200,5	1,074	202938,1	169786,8	0,898
Dezembro	0,042	7943,1	3,115	588782,8	424946,3	2,248
Total anual	0,249	47.012,9	7,523	1.421.798,4	1.356.161,5	7,175

Gráfico 5 – Perdas mensais de solo nos anos de 1966, 1985 e 1996 no alto curso do rio Aquidauana



Na região oposta à descrita anteriormente, a quantidade de solo perdido além do limite de tolerância, concentrava-se nas escarpas da Chapada de São Gabriel, justamente onde a declividade varia de 15 à 30%, portanto mais acentuada.

É notadamente expressivo o aumento de áreas críticas nos anos de 85 e 96 no alto curso dos afluentes da margem esquerda do rio Aquidauana. Isto deve-se ao fato da quase completa substituição da vegetação natural por pastagens e agricultura mecanizada.

Além disso, esta região é constituída pela cobertura detrítico-laterítica na chapada, posicionada sobre as formações Serra Geral e Botucatu que surge sob o vale de fundo plano do rio Aquidauana. Portanto, é uma região de transição de litologias. As formações citadas originam Latossolos sobre as superfícies pediplanadas da Chapada de São Gabriel e também nas áreas mais dissecadas, a sudeste da bacia. Estas áreas apesar de possuírem solos mais profundos e relevo plano e suave, tornam-se extremamente vulneráveis quando desprovidas de vegetação, demonstrando aqui, claramente, a interdependência dos fatores que compõe a EUPS, pois em 1966 toda esta região mostra-se estabilizada, exceção à borda da escarpa, que apresentava alguma perda, já na década de 1960. O mau uso do solo neste período, deflagrou o processo erosivo observado.

De 1985 para 1996 é possível verificar uma pequena diminuição das áreas que apresentaram perdas de solo acima do tolerável sobre a chapada. Porém, ao longo do curso principal do Rio Aquidauana, mais expressivamente próximo à jusante na bacia em estudo, aumentaram os locais de perda efetiva de solo em 96. Nos mapas de uso de 85 e 96 identificou-se um número maior de áreas de pastagens, justamente onde ainda haviam algumas reservas de florestas e cerrado.

Em apenas dez anos é possível perceber o quanto a influência da vegetação e do tipo de uso contribui para a aceleração do processo erosivo. Onde as áreas agrícolas ou de pasto foram abandonadas, cedendo lugar à vegetação secundária, as perdas de solo decresceram.

Considerando que na média geral da bacia, em 1966 perdia-se 0.24 toneladas de solo em 1 hectare, e que em 1985 e 1996 este valor passou para 7.52 e 7.17 toneladas de solo em cada hectare, respectivamente, verifica-se que em cerca de vinte anos houve um aumento de aproximadamente 3.108,33%, ou seja, em 1985 aumentou em 31 vezes o valor perdido em 66. Já a redução entre os anos de 85 e 96, foi de apenas 4.42%. Nesta lógica, e neste desenvolvimento de ocupação do solo, seriam necessários 218 anos para voltar ao nível de perdas de solo que ocorriam na década de 60.

Conforme recomendação da FAO (1967), perdas de duas a quatro toneladas/ha.ano são admissíveis em solos com subsolo desfavorável, pouco profundo. Como a maioria das perdas de solo acima do tolerável, na bacia em estudo, concentram-se em solos pouco profundos, o resultado encontrado (7.52 e 7.17) para 1985 e 1996 está acima da média recomendada pela FAO.

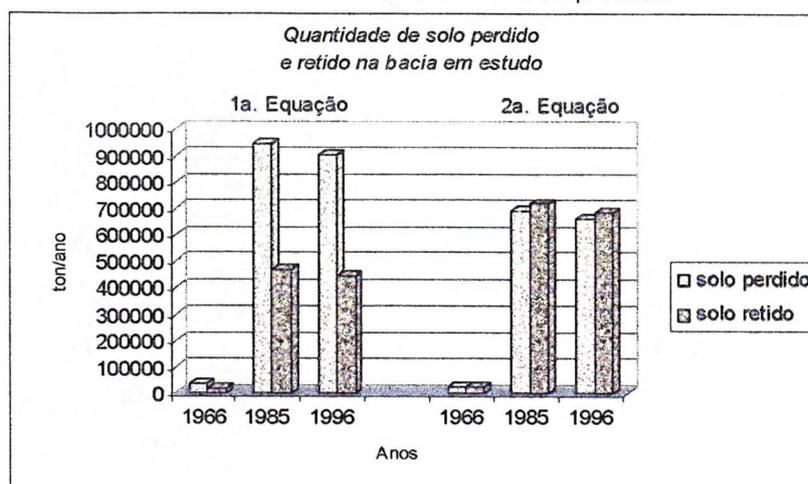
Em termos totais de perdas de solo, verifica-se que na bacia em estudo, no ano de 1966, perderam-se 47.012 toneladas de solo, com uma média de 0,24 ton/ha. Já em 1985, foram perdidas 1.421.798 ton/ano, com uma média de 7,52 ton/ano e em 1996 perdeu-se 1.356.161 ton/ano, com uma média de 7,17 ton/ha. E, na bacia do rio Taquarizinho (MS), PARANHOS FILHO (2000), obteve valores médios em ton/ha.ano de 4,44 para o ano de 1966; 5,53 para 1985 e 8,65 para 1996. Comparando-se os valores médios anuais, observa-se que na bacia do Taquarizinho houve um aumento progressivo no período de 30 anos. Enquanto que na bacia em estudo, houve um aumento exagerado nos primeiros vinte anos e uma pequena recuperação na década seguinte.

O valor encontrado para a bacia do Taquarizinho em 1996 e os valores encontrados para a bacia em estudo nos anos de 1985 e 1996, aproximam-se do valor encontrado na região de Dourados, também em Mato Grosso do Sul. Pois, de acordo com Ardenghi*, em Dourados (MS) está se perdendo anualmente, nas lavouras, 10 toneladas de terra por hectare, enquanto que em todo o estado de Mato Grosso do Sul, 10 milhões de hectares de pasto já estão degradados pela falta de critérios na ocupação e manejo da pecuária. Ainda segundo Ardenghi, no estado de Mato Grosso do Sul, não fossem as medidas de controle e prevenção da erosão, estariam sendo perdidas 40 ton/ha.ano de solo.*

De posse dos valores encontrados de perdas de solo (A) fornecido pela EUPS, foi calculado a Razão de Produção de Sedimentos, afim de se verificar o quanto de material pode ser retido antes da foz da bacia. Para isto, foram aplicadas duas fórmulas (Gráfico 6) que estimam o quanto de material erodido é depositado e o quanto deste material é transportado para fora da bacia.

* Ari Fialho Ardenghi, EMPAER, MS (Empresa de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural). Ecologia em Notícias. Boletim 230 – “Erosões levam R\$ 3.8 bilhões de MS todos os anos”.

Gráfico 6: Comparação entre dois métodos aplicados para o total de toneladas de solo perdido e retido na bacia do alto curso do rio Aquidauana.



Os resultados indicaram que a primeira fórmula, que leva em consideração a declividade como fator preponderante, tem-se uma maior quantidade de sedimentos carregados para fora da bacia, enquanto que a segunda fórmula, que leva em consideração o número de bifurcações, a quantidade de sedimentos retidos é razoavelmente maior, chegando quase a haver equilíbrio entre a quantidade de material depositado dentro dos limites da bacia e o transportado para fora (Quadro 14). Uma vez que a 2ª equação é aparentemente mais completa, por levar em conta um maior número de parâmetros, preferiu-se aceitar o resultado desta como sendo o mais correto. Ou seja, do valor total encontrado de *A*, pode-se dizer que aproximadamente metade deste valor, é que foi realmente transportado para fora da bacia.

A evidência deste resultado na bacia em estudo, está na condição de acamamento de alguns leitos de rios em seu médio e baixo curso. Observou-se que apesar dos rios apresentarem força e volume de água consideráveis ao transporte de material inconsolidado (sedimentos), verificado também pela tonalidade da água, boa quantidade do material erodido nas cabeceiras de drenagem vai sendo depositado ao longo do eixo do canal. Consequentemente, a médio e longo prazo, ocorrem o assoreamento dos rios próximos e a diminuição do tempo de drenagem da água.

Quanto à evolução da cobertura do solo na bacia em estudo, analisada através de carta topográfica e imagens de satélite (vide figuras 11 e 12) referentes aos anos de 1966, 1985 e 1996 respectivamente, constata-se o que já foi dito anteriormente na análise erosiva, houve um grande aumento de áreas agrícolas e, principalmente, de pastagem e campos. Os resultados (quadro 18) mostram que em 1966 as florestas e, cerrados recobriam cerca de 70% da bacia ou o equivalente a 151.808,7 hectares. Em trinta anos, foram reduzidas à 44%, ou seja, a 82.970,87 hectares, implicando numa

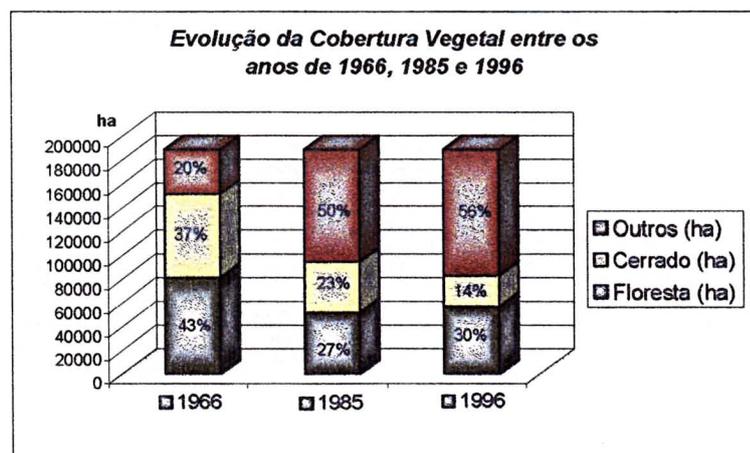
diminuição de cerca de 54,65% das áreas naturais. Ao mesmo tempo, as demais coberturas aumentaram em cerca de 285% ou seja, cerca de 2,85 vezes em relação à 1966. Esses resultados podem ser vistos no gráfico 7 e no quadro 18.

Quadro 18: Evolução da cobertura do solo na bacia do alto curso do rio Aquidauana

Cobertura do Solo	Anos					
	1966	%	1985	%	1996	%
Floresta (ha)	81136,16	43	51748,38	27	56867,16	30
Cerrado (ha)	70672,54	37	42825,82	23	26103,71	14
Outros (ha) *	37191,31	20	94425,8	50	106029,1	56

- demais coberturas de solo (áreas urbanas e agrícolas, campo, pastagem, campo sujo, queimadas, afloramentos, zonas úmidas, lagos e lagoas).

Gráfico 7: Representação evolutiva da cobertura do solo na bacia do alto curso do rio Aquidauana



O gráfico 7 mostra ainda que as áreas de florestas em 1966 ocupavam 43% da área da bacia e reduziram-se para 27% no ano de 1985. Já em 1996, houve uma pequena recuperação dessas áreas, quando passaram a ocupar 30% da área da bacia. A trajetória temporal dos cerrados, nesse mesmo período, é um pouco diferente. Em 1966 ocupavam 37% da área da bacia, passando a 23% em 1985 e reduzindo-se a apenas 14% em 1996. Por outro lado as outras coberturas do solo, que ocupavam 20% da área da bacia em 1966, aumentaram para 50% em 1985 e para 56% em 1996. O gráfico mostra também, de forma clara, que no período de 1966 a 1985 é que se verificou uma grande mudança no uso e ocupação do solo e que se refletiu fortemente no processo erosivo da área. Neste mesmo período, cabe aqui lembrar, que as perdas anuais de solo passaram de 0,24 ton/ha.ano para 7,52 ton/ha.ano.

De uma maneira geral, através da análise multitemporal, foi verificado que os solos da bacia em estudo sofreram grandes perdas por erosão com a intensa forma de apropriação sem os devidos cuidados, que visassem à uma melhor conservação nas décadas de setenta e oitenta. À medida que a produtividade era aumentada pelos produtores, tanto agrícolas quanto pecuaristas, cresceu a necessidade de implementação de técnicas conservacionistas. Paralelamente neste período, ocorreu um aumento à nível mundial da divulgação e alerta sobre desgaste dos solos e preservação de ecossistemas. Isso proporcionou um progresso em relação à procedimentos anteriormente utilizados na bacia em estudo. Em prol de uma maior produtividade e melhor conservação dos recursos naturais, foram realizados estudos pelos proprietários e órgãos institucionais dos municípios da região, que concluíram que áreas antes sub-utilizadas estão sendo recuperadas.

CAPÍTULO V

Síntese dos resultados obtidos para a bacia do alto curso do rio Aquidauana

5.1. Conclusões

A bacia do alto curso do rio Aquidauana está inserida no Planalto Maracaju-Campo Grande, o qual compreende três fisiografias diferentes que limitam as formas de apropriação do relevo. Uma delas é a Chapada de São Gabriel, onde ocorre a unidade edafoestratigráfica denominada de Cobertura Detrítico-Laterítica, a qual é circundada e sustentada por associações arenítico-basálticos das Formações Bauru e Serra Geral. Este substrato favorece o desenvolvimento da agricultura intensiva mecanizada (com cultivo alternado de soja e milho) por possuir solos mais férteis e declividade muito baixa. Uma outra, é a área circundante à chapada no vale formado pelo rio Aquidauana, onde encontra-se a Formação Botucatu, que é constituída basicamente por arenitos, e apresenta um relevo mais rebaixado e dissecado de solos rasos e pobres, onde a maior parte das terras são utilizadas para pastagem. Finalmente; em menor escala, uma faixa que se estende de NW à SW da bacia, representada pela Serra Negra, composta pela Formação Aquidauana, também formada por arenitos, que recobrem toda borda da serra.

As formações citadas, na bacia em estudo, originam solos do tipo: Neossolos quartzarênicos, Latossolos vermelhos e Neossolos litólicos. Os primeiros predominam, ocupando cerca de 70% da área da bacia, enquanto os Latossolos ocupam cerca de 25% e os Neossolos litólicos cerca de 5%.

Os tipos de vegetação encontrados na área de estudo, são classificados como cerrados e florestas. O cerrado se subdivide em diversos tipos: cerradão (savana arbórea densa), campo cerrado (savana arbórea) que esta associado à presença dos solos quartzarênicos, e campo sujo (savana parque). A floresta engloba manchas de mata tropical ou floresta subcaducifólia tropical e florestas galeria, esta última ocupando fundos de vale.

Na região em estudo as características climáticas contribuem para perdas de solo no período de plantio em áreas agrícolas, pois a concentração de chuvas nos meses de outubro à março é suficiente para elevar em oito vezes o valor obtido de C (para o uso agrícola) em relação ao restante do ano. Os meses que concentraram maiores perdas de

solo, no período estudado foram: janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, que juntos, acumularam 52% em 1966, 78% em 1985 e 71% em 1996. Durante três meses (junho à agosto) as perdas de solo foram expressivamente reduzidas nos três anos estudados.

A principal causa do aumento excessivo de perdas de solo no período estudado, está na redução significativa de áreas naturais, ou seja, floresta e cerrado, para a implementação de áreas agrícolas e de pastagem, pois esta substituição da cobertura vegetal na bacia oscilou, em 30 anos, cerca de 29.9% e 63.1% respectivamente.

No ano de 1966, as áreas de vegetação natural (floresta mais cerrado), ocupavam 80% da área da bacia, ou seja, 151.808,7 hectares, e deste total, 43 % (81.136,72 hectares) eram ocupados por florestas e 37% (70.672,4 hectares) pelo cerrado. Outros tipos de cobertura do solo, ocupavam 20% ou 37.191,31 hectares.

Em 1985, as áreas de vegetação natural diminuíram para 50% (94.594,2 hectares) sendo que deste total, 77% (51.748,3 hectares) correspondiam a florestas e 23% (42.825,8 hectares) a cerrado, enquanto que outras categorias de cobertura do solo passaram a ocupar 50 % (94.425,8 hectares) da bacia, denotando um aumento, entre outros, de áreas antropizadas.

Já em 1996, as áreas naturais passaram a ocupar 44% da área da bacia, equivalente a 82.970,87 hectares, sendo que deste total, as florestas ocupavam 30% (56.867,1 ha) e o cerrado 14% (26.103,71 ha). Os outros usos do solo passaram a ocupar 56% da área da bacia nesse ano.

Na bacia em estudo, foram determinados os limites de tolerância das perdas de solo por hectare, tendo-se por base a espessura, a densidade e a razão textural dos solos. O mapa resultante de limites de tolerância, mostra zonas com perdas acima do limite em áreas ocupadas principalmente por pastagens, demonstrando que nestas áreas se faz necessário o aumento ou implementação de práticas conservacionistas.

A aplicação da EUPS através do geoprocessamento, permitiu obter uma precisão maior nos resultados encontrados. Os valores de A (perdas de solo) indicaram uma perda anual de toneladas de solo para toda a bacia de 47.012,90 em 1966; 1.421.798 em 1985 e 1.356.161 em 1996 e uma média de solo perdido por hectare de 0.24 toneladas para 1966, 7.52 para 1985 e 7.17 para 1996. As perdas mais significativa de solos ocorreram nos anos de 85 e 96, em zonas com predomínio dos solos Neossolos litólicos, e principalmente Quartzarênicos ou na transição deste com Latossolos próximos à escarpa.

Com a aplicação da equação de Razão de Perdas de Solo, verificou-se que metade (ou seja $\frac{1}{2}$) dos sedimentos ficam retidos nos próprios limites da bacia.

A quantidade de solo perdido por erosão laminar, mais o total perdido por erosão do tipo linear, a qual não foi avaliada neste estudo, mas que foi detectada na bacia em estudo, mostra que a região apresenta sérias complicações com relação ao acelerado processo erosivo.

Pois esta perda excessiva de solo, compromete o ecossistema, desde a redução de terras agrícolas até a sedimentação e assoreamento dos rios, inclusive contribuindo para o desequilíbrio da região do pantanal.

Mesmo considerando-se o aumento exagerado de perdas de solo nas duas décadas anteriores à 1985, a diminuição nos valores de *A* entre os anos de 1985 e 1996, demonstrou que é possível minimizar os impactos causados por uma apropriação desordenada do relevo. Quando são aplicadas técnicas conservacionistas ou admitindo planejamentos e zoneamentos ecológicos, é possível obter uma real redução da degradação do solo e, conseqüentemente, do meio ambiente.

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, F. F. M. de., Borda do planalto basáltico ao norte de Campo Grande, em Mato Grosso. **Relatório anual da Divisão de Geologia e Mineralogia**. Rio de Janeiro, 1958. p. 1957-1986. In: Projeto RADAMBRASIL, 1983.
- ALMEIDA, F. F. M. de., Depósitos mesozóicos do planalto de Maracaju, Estado de Mato Grosso. In: **2º Congresso Panamericano de Engenharia de Minas e Geologia**. Petrópolis, v. 3, p. 211-245, 1946.
- ALMEIDA, F. F. M. de., Geologia do centro-leste mato-grossense. Rio de Janeiro. In: **Boletim DGM**, 150. p. 97, 1954.
- ALMEIDA, F. F. M. de., Reconhecimento geomórfico nos planaltos divisores das bacias Amazônica e do Prata, entre os meridianos 51° e 56° W Gr. In: **Rev. Brasileira de Geografia**, n. 10, v. 3, p. 397-440, 1948.
- ANDRADE, S. M. de & CAMARGO, P. E. N., Estratigrafia dos sedimentos devonianos do flanco nordeste da bacia do Paraná. In: **31 Congresso Brasileiro de Geologia**. Anais, Balneário Camboriú, v.5. p. 2828-2836, 1980.
- ASCE, Task Committee on Preparation of Manual on Sedimentation, Vito^a Vanoni, Chmn., Sedimentation Engineering, Chapter IV: Sediment Sources and Sediment Yelds, **Journal of the Hydraulics Division, American Society of Civil Engineering**, 96 (HY6): 1283-1329, 1970.
- ASSAD, M. L. L., Uso de um sistema de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola de terras: Manejo e conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 19 (1) 133-140, 1995.
- BACCARO, C.A.D., Processos Erosivos no Domínio do Cerrado. In: **Erosão e Conservação dos Solos, Conceitos, Temas e Aplicações** – Org. Guerra, A.T., Silva, A.S. da, Botelho, R.G.M., ed. Bertrand Brasil, 195-223, 1999.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. & BENATTI JR, R., Equação de perdas do solo. **Boletim Técnico do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo**. Campinas, SP. (21): 1-25, 1975.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F., **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres. 369, 1985.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F., **Conservação do solo**, Ícone. São Paulo, 335 p. 1990.
- BEURLEN, K., A geologia pós-algonquiana do sul do Estado de Mato Grosso. In: **Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia**, Rio de Janeiro. 1956. n. 163, p. 1-137. In: Projeto RADAMBRASIL, 1983.

- BIGARELLA, J. J. & SALAMUNI, R., Some paleogeographic and palaeotectonic features of the Paraná Basin. In: BIGARELLA, J. J. et al., **Problems in Brazilian gondwana geology**. Curitiba, CNPQ, 1967. p. 235-301. In: Projeto Radambrasil, 1983.
- BOTELHO, R.G.M., Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica, In: **Erosão e Conservação dos Solos, Conceitos, Temas e Aplicações** – Org. Guerra, A.T., Silva, A.S. da, Botelho, R.G.M., ed. Bertrand Brasil, 195-223, 1999.
- CÂMARA, G., “Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas: visão atual e perspectivas de evolução”, In **Sistema de Informações Geográficas a aplicações na agricultura**, Assad Ed. Sano, E.E, Planaltina: Embrapa – CPAC, 15-35p. 1993.
- CAMARGO, M. N.; KLAMT, E. & KAUFFMANN, J. H., Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. In: **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.1, n. 12, p. 11-33, 1987.
- CAMPOS, L. F. G. de., Secção geológica. In: DERBY, O. A. Relatório da Comissão Geographica e Geológica da província de São Paulo. São Paulo, Comissão Geographica e Geológica, 1889. p. 21-34. In: Projeto **RADAMBRASIL**, 1983.
- CARVALHO, N. de O., **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: CPRM – Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, 1994.
- CASANELLAS, P.J., REGUERÍN, L.A.M., & ROQUERO, L.C., **Edafología: para la agricultura y el medio ambiente**. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 1994.
- CASTRO, A. G. & VALÉRIO FILHO, M. Simulação da expectativa de perdas de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 21Ç419-426, 1997.
- CASSETI, V. , **Estudos dos efeitos morfodinâmicos pluviais no planalto de Goiânia: uma análise quantitativa de resultados experimentais**. São Pualo – 141p. Tese de doutorado. FFLCH – Faculdade de Filosofia Letras e Ci. Humanas, 1983.
- CHRISTOFOLETTI, A., **Geomorfologia**. SP., Edgard Blucher, 200 p, 1980.
- COELHO NETO, A. L., “Mecanismos e condicionantes geo-hidrológicos de vossorocamento em ambiente rural: implicações na estabilidade de encostas”, **XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, editado em CDRoom, 1997.
- COGO, N. P., Contribuição à Metodologia de Estudo das Perdas por Erosão em Condições de Chuva Natural. **Encontro Nac. de Pesquisas sobre Cons. do Solo**, 2, Passo Fundo, Anais, SBCS, p.99-107, 1978.
- CONDE, R.R.M. & RODRIGUEZ, J.P. **Ciência, Tecnologia y Gestión Ambiental. Fundamentos de Hidrologia para la Planificación Ambiental**. Santiago-Espanha, 2-35,1995.
- CORINE Land Cover (**Coordination of Information on the environment**). Comm of European Communities, Bruxelas. 106 pp. 1992.

- CORREA, J. A. et. al., **Projeto Bodoquena: relatório final**. Goiânia, MME-DNPM, 1976.
- DE PLOEY, J., & GABRIELS, D., **Measuring soils loss and experimental studies**. In: M.J. Kirkby and R. P. C. Morgan, Soil Erosion, Edit. By Wiley and Sons Ltda., pp. 63-108, 1980.
- DERBY, O. A. A., Nota sobre a geologia e paleontologia de Mato Grosso. *Archivos do Museu Nacional*, Rio de Janeiro (9):59-88, 1895. In: **Projeto RADAMBRASIL**, 1982.
- DERBY, O. A. A., Geologia da região diamantífera da província do Paraná no Brasil. In: **Archivos do Museu Nacional**, Rio de Janeiro, n. 3, p. 89-98, 1878.
- DRAGO, V. A. & PRADO, P., Aspectos metalogenéticos do Grupo Bambuí na Folha SD.22 Goiás. Goiânia, In: **Projeto RADAMBRASIL**. Relatório Interno 478G, 1981. p. 19.
- EMBRAPA: Centro Nacional de Pesquisa de Solos - Sistema brasileiro de classificação de solos. – Brasília: **Embrapa Produção de Informação**; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Xxvi, 412p., 1999.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro nacional de Pesquisa de Solos, Ministério de Agricultura e do Abastecimento: **“São Gabriel do Oeste, Um projeto de futuro enriquecendo o presente”**. R.J.,1997.
- EMBRAPA - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS**. Documentos, 11 EMBRAPA/SNLCS. Rio de Janeiro, p. 67, 1988.
- EMPAER - Empresa de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural de Mato Grosso do Sul, **“Estudo da qualidade ambiental de municípios em função do uso do solo, referencial para o planejamento e ordenação territorial”**, Município de São Gabriel do Oeste, M. Embrapa/IBGE – Rio de Janeiro, 1997.
- F.A.O. La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. **Cuadernos de fomento agropecuario da Org. de Las Naciones Unidas-FAO**, nº 81, 207 p., Roma, 1967.
- FIORI, A. P., **Estratigrafia do grupo Tubarão (Formação Aquidauana) na região sudoeste do Estado de Minas Gerais**. Tese (Doutorado, Instituto de Geociências) São Paulo, USP, p. 86, 1977.
- GLYMPH, Louis H., 1954. **Studies of Sediment Yields from Watersheds**. International Association Hydrology, IUGG, Tenth General Assembly, 1:178-191. Rome, 1954.
- GONÇALVES, A. & SCHNEIDER, R. L., **Geologia do Centro-Leste de Mato Grosso. Ponta Grossa**. PETROBRÁS-DERSUL. Relatório Interno, 1968, 370 p. In: PCBAP, 1997.
- GONÇALVES, A. & SCHNEIDER, R. L., **Geologia do centro-oeste de Mato Grosso. Ponta Grossa**: PETROBRÁS-DERSUL. Relatório Interno 394, p. 43, 1970.

- GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. da. **Geomorfologia uma Atualização de Bases e Conceitos** RJ, Ed. Bertrand do Br, 1994.
- HUDSON, N. W., **Soil conservation**. BT Batsford Limited. London, 324p, 1986.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Geografia do Brasil - **Região Centro-Oeste**, volume 4, Rio de Janeiro, 1977.
- JACOMINE, P. K. T. et. al., I - **Levantamento exploratório de solos do Estado da Paraíba**. II - **Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro, Recife, Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, SUDENE. Divisão de Agricultura e Geologia, 670 p., 1972.
- KHANBILVARDI, R. M., and ROGOWSKI, A. S., Mathematical Model of Erosion and Deposition on a Watershed. **Transactions of the ASAE**, 27(1):73-79, 83, 1984.
- KOK, K.; et al., **Land degradation and land cover change detection using low-resolution satellite images and the CORINE database: a case study in Spain**. In: ITC Journal 3:217-228, 1995.
- KOZCIAK, S., **Evolução do processo erosivo da bacia dos rios Arica-Açu e Arica-Mirim - MT, através de análise multitemporal**. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- LANGE, F. W. & PETRI, S., The devonian of the Paraná basin. In: **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba. v. 2, n. 21, p. 5-55, 1967.
- LEOPOLD, L. B., WOLMAN, M. G. and MILLER, J. P., **Fluvial Processes in Geomorphology**, w. h. Freeman and Company, San Francisco and London, 1964.
- LISBOA, M. A. R. **Oeste de São Paulo, sul de Mato Grosso: geologia, indústria mineral, clima, vegetação, solo agrícola, indústria pastoral**. Rio de Janeiro, 1909, p.172. In: Projeto RADAMBRASIL, v. 27. 1982.
- LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo. Campinas, SP, **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, nº 28, 12 p., 1975.
- LOMBARDI NETO, F., **Rainfall erosivity – its distribution and relationship with soil loss at Campinas**, Brazil. West Lafayette, Purdue University, 53 p. (Dissertação de Mestrado), 1977.
- LUDWIG, G. & RAMOS, A. N., **Estudo faciológico das formações lapó, Furnas e Ponta Grossa do paleozóico inferior da bacia do Paraná**. Brasil. Ponta Grossa, PETROBRÁS-DEPSP. Relatório Interno, 292, 1965.
- MAACK, R., **Breves notícias sobre a geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina**. In: Arquivos de Biologia e Tecnologia, n. 2. p. 64-154, Curitiba, 1947.

- MACEDO, M. A. & RUDORFF, B. F. T., Estimativa da perda de solo por erosão laminar na bacia do rio São Bartolomeu-DF usando técnicas de geoprocessamento. **IX Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota**, editado em CDRoom, p.761-770 Puerto Iguazú, 2000.
- MAFRA, N.M.C., Erosão e Planificação de Uso do Solo. In: **Erosão e Conservação dos Solos, Conceitos, Temas e Aplicações** – Org. Guerra, A.T., Silva, A.S. da, Botelho, R.G.M., ed. Bertrand Brasil, 301-320, 1999.
- MANER, S. B., Factors Affecting Sediment Delivery Rates in the Red Hills Physiographic Area. **Transactions American Geophysical Union**, 39(4):669-675, 1958.
- MOTTER, I., “**Uso do Geoprocessamento como auxílio no monitoramento da ocupação do solo em microbacias**”. Dissertação de Mestrado em Ciência do solo, setor de Ciências Agrárias da UFPR, Curitiba, 1996.
- MUHLMANN, H. et al., **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná**. Ponta Grossa, PETROBRÁS-DESUL. Relatório Interno 444, p. 186,1974.
- OLIVEIRA, E. P. de., **Geologia e recursos minerais do Estado do Paraná**. Monographias do Serviço Geológico e Mineralógico, Rio de Janeiro n. 6, p. 1-169, 1927.
- OLIVEIRA, M. A. M. de., **Reconhecimento geológico expedito na região do alto Paraguai**. Ponta Grossa. PETROBRÁS-DEBSP. Relatório Interno 266, p. 26, 1964.
- PARANHOS FILHO, A., **Método de análise Geo-ambiental multitemporal: estudo de caso da região de Coxim e da bacia do Taquarizinho (MS-Brasil)**. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- PCBAP - **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai – Metodologia do plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai – PCBAP**. Programa Nacional do Meio Ambiente – PNMA. Volume I. 73 p. 1997.
- PCBAP - **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal). - Diagnóstico dos Meios Físico e Biótico**. Meio Físico. Volume II, Tomo I. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. p. 334, 1997.
- PINTO, M. N. (org.) - **CERRADO: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Edunb, - 2ª edição. 681p. il. revista e ampliada, 1993.
- PUNDEK, M., Levantamento e planejamento conservacionista de propriedades rurais em microbacias. In: **Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água: projeto de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas**. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. Santa Catarina, 2ª ed., Florianópolis: EPAGRI, 357-384, 1994.
- RADAMBRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. - **Folha SE 22 Goiânia: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da**

- terra. Levantamento de Recursos Naturais, vol. 31. 768 p. il.6 mapas. Rio de Janeiro, 1983.
- RADAMBRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. - **Folha SF 21 Campo Grande: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, solos e uso potencial da terra.** Levantamento de Recursos Naturais, 28. Rio de Janeiro, 416p. il. 5 mapas, 1982a.
- RIGHINI, G.; BOCCI, M.; FIORI, A.P.; DISPERATI, L.; FANTOZZI, P.; KOZCIAK, S. e PARANHOS Fº, A.C., "**Exemplo de uso da metodologia CORINE em um estudo de caso brasileiro**". In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Boletim de Resumos. 3p. 1998.
- ROEHL, J. W., **Sediment Source Areas, Delivery Ratios and Influencing Morphological Factors.** Internation Association for Scientific Hydrology Commission of Land Erosion, Publication 59: 202-203, 1962.
- ROLOFF, G., **Aspectos dinâmicos da estrutura de solos agrícolas e seu estudo. Embaixada do Brasil em Washington.** Departament of soil Science, University of Minnesota, 91p. 1986.
- SALOMÃO, F. X. T., **Controle e Prevenção dos Processos Erosivos.** In: **Erosão e Conservação dos Solos, Conceitos, Temas e Aplicações** – Org. Guerra, A.T., Silva, A.S. da, Botelho, R.G.M., ed. Bertrand Brasil, 229-265, 1999.
- SCHNEIDER, R. L. et al., **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná.** In: XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, RS, 1974.
- SCOPEL, I., **Avaliação da erosão com o auxílio de técnicas de sensoriamento remoto e da equação universal de perdas de solo a nordeste de Cornélio Procopio (Pr),** Tese de Doutorado. UFPR, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 1988
- SCOPEL, I., ROCHA, H.O., SANTOS, M.E. dos, MOTTER, I., **Potencial Natural à erosão laminar e em sulcos no município de Palmeira/Pr.** Revista do Setor de Ciência Agrárias. Vol.11, nº 1-2. 1989/1990.
- SEAB – **Manual de uso, manejo e conservação do solo e água. Projeto de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas.** 2ª ed. Florianópolis, EPAGRI, 384p. 1994.
- SEPLAN – **Susceptibilidade à erosão da macrorregião da bacia do Paraná,** Secretaria de Estado de Planejamento e de Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul, Campo Grande/MS, 1992.
- SOARES, P. C. et al. **Ensaio de caracterização estratigráfica do cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru.** In: **Revista Brasileira de Geociências,** São Paulo, v. 3, n. 10, p. 177-185, 1980.
- STEIN, D.P.; DONZELLI, P.L.; GIMENEZ, F.A.; PONÇANO, E.L. & LOMBARDI NETO, F., **Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópica na Bacia do Peixe-**

Parapanema. **Anais do Simpósio Nac. de Controle de Erosão**, 4, Marília, São Paulo, ABGE/DAEE, p.105-135. 1987.

TAVARES, A. C., **A Erosão dos Solos no Contexto da Análise Ambiental: O Exemplo do Alto Curso do Rio São José dos Dourados**. SP, FFLCH-USP, Tese de Doutorado, 300p. 1986.

TAVARES, A. C. & VITTE, A. C., **Erosão do solo e assoreamento de represas: o caso de Monte Aprazível** – SP. *Geografia*, 18(1):51-95. 1993.

TEIXEIRA, W., Folhas ao milionésimo SH.22 Porto Alegre, SH.21 Uruguaiana, SI.22 Lagoa Mirim: considerações preliminares a respeito do quadro geocronológico existente. In: **Projeto RADAMBRASIL**. Relatório Interno 380-G. São Paulo, p.21, 1980.

TUCCI, C. M. – **Hidrologia**, Ciência e Aplicação. Edusp, ABRH, 1993.

VIEIRA, A. J., **Geologia do Centro-Oeste de Mato Grosso**. Ponta Grossa, Petrobrás. Relatório Interno, 303. v. 2. 1965.

VITTE, A.C., Metodologia para cálculo de perdas de solos em bacias de drenagem, **Boletim Paranaense de Geociências**, Ed. Da UFPR, Vol.45:59-63, Curitiba, 1997.

WAGNER, E., Desenvolvimento dos cerrados. In: Goedert. W. (ed.) **Solos dos Cerrados**. EMBRAPA – CPAC, Nova, 1986.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D., **Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning**. USDA Handbook N°. 537. Washington, 57 p. 1978.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D., Predicting Rainfall-Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains. In: **Agriculture Handbook**, Washington, n. 282, p. 1-47, 1965.

WISCHMEIER, W. H., **A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil Loss Equation**. Soil Sc. Soc. Am. Proc., Madison, 23(2):246-249, 1959.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D., **Rainfall Energy and its Relationships to Soil Loss**. Amer. Geoph. Union, Transactions, Washington, 39(2):285-291, 1958.