

AMÉRICO JOSÉ MARQUES

**MAPEAMENTO DE FRAGMENTOS DE MATA
NO MUNICÍPIO DE MARINGÁ, PR: UMA
ABORDAGEM DA ECOLOGIA DA PAISAGEM**

**Presidente Prudente – SP
2004**

AMÉRICO JOSÉ MARQUES

**MAPEAMENTO DE FRAGMENTOS DE MATA
NO MUNICÍPIO DE MARINGÁ, PR: UMA
ABORDAGEM DA ECOLOGIA DA PAISAGEM**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista – Campus de Presidente Prudente, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a **Maria de Lourdes B. T. Galo**

**Presidente Prudente – SP
2004**

AMÉRICO JOSÉ MARQUES

**MAPEAMENTO DE FRAGMENTOS DE MATA
NO MUNICÍPIO DE MARINGÁ, PR: UMA
ABORDAGEM DA ECOLOGIA DA PAISAGEM**

COMISSÃO JULGADORA

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

Presidente e Orientadora: Prof.^a Dr.^a **Maria de Lourdes B. T. Galo**

2º examinador: Prof. Dr. **Nilton Nobuhiro Imai**

3º examinador: Prof.^a Dr.^a **Maria Eugênia M. C. Ferreira**

Data da defesa: **10/02/2004**

À minha família

Que jamais deixou de me incentivar e nunca poupou esforços para a concretização deste trabalho

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração direta de muitas pessoas. Manifesto minha gratidão a todas elas e de forma particular:

- à prof.^a Dr.^a Maria de Lourdes B. T. Galo, pela orientação, apoio e paciência;
- ao Prof. Ms. Fernando Luiz de P. Santil, que não poupou esforços para que este trabalho fosse realizado;
- Aos meus primos Fernando, Aparecida, Fernanda, Fernando Júnior, Natália e Alexandra pela hospitalidade e receptividade que obtive;
- aos amigos de trabalho João Batista da Silva e Prof. Sergio Luiz Thomaz pela flexibilidade no horário de trabalho, pois sem isto não seria possível a conclusão deste curso;
- Aos amigos Clélia Franco e Airton que foram muito importantes no decorrer deste curso;
- à Miriam Cristina Espinhosa, por ser companheira em todo os momentos da realização deste curso;
- ao prof. Dr. Marcos Rafael Nanni, pela grande ajuda no aplicativo SPRING;
- ao Magnani, , pela grande ajuda no aplicativo FRAGSTATS; e
- ao André Luiz Scarate, pela liberação do uso de seu computador.

“O mapa é de suma importância para todos que se
interessem por deslocamentos mais racionais,
pela compreensão da distribuição e organização
dos espaços...”
(Rosângela Almeida e Elza Passini)

RESUMO

O presente trabalho está pautado nos princípios teóricos e métodos quantitativos provenientes da Ecologia da Paisagem, ramo relativamente novo da Ecologia, que focaliza as relações espaciais e interações entre padrões espaciais e processos ecológicos. Nesse sentido, foi realizada uma avaliação dos padrões espaciais em escalas compatíveis à análise dos ambientes urbano e rural, devido às particularidades inerentes a cada um deles. Como a variabilidade de uma área urbana é dada pela diversidade de materiais que a compõem, houve necessidade de se realizar um estudo mais detalhado, e a estrutura desse ambiente foi avaliada através de índices de paisagem (métricas) quantificados a partir da análise de fotografias aéreas com resolução espacial de 5 metros. Para o ambiente rural foi utilizada uma cena do satélite Landsat 7 ETM+ com 30 metros de resolução espacial, para a quantificação desses índices. Desse modo, foram utilizados dados e técnicas de Sensoriamento Remoto para gerar os mapas temáticos representando classes de uso da terra e os índices de paisagem permitiram estimar o grau de fragmentação dos dois ambientes de análise. O enfoque principal do trabalho foi dado à classe “mata, reflorestamento e arborização de ruas” no ambiente urbano e “vegetação arbórea e reflorestamento” no ambiente rural. Em ambos os casos, as manchas da classe enfocada se mostraram distribuídas de forma fragmentada e pouco conectadas e, de modo geral, as métricas utilizadas corroboraram as informações espaciais representadas espacialmente nos mapas temáticos. O aspecto de conectividade é comprometido na área rural, o que é consistente com a realidade atual de ausência, por exemplo, de continuidade na mata ciliar.

Palavras chaves: Ecologia da Paisagem, Sensoriamento Remoto, métodos quantitativos, ambientes urbano e rural.

ABSTRAT

This present paper is based on theoretical principles and quantitative methods from Landscape Ecology, a very new field of Ecology which focus on the spacious relationships and interactions between spacious patterns and Ecological process. For this reason, na evalluation of spacious patterns in compatible scales according to the urban na rural environments was accomplished due to the particularities inherent to each one of them. As the variability of na urban área is given by the diversity of materials which composes it, ist was necessary to carry out a mor detailed study and the structure of this environment was evalluated by using landscape indexes (metrical) quantified from the analysis fo pictures take from above with a 5-meter spacious resolution. For the rural environment it was used a scene of the Landsat 7 ETM+ sattelite with a 30-meter spacious resolution to make the quantification of theses indexes. Thus, Remote Sensing data and techniques were used in order to generate thematical maps representing the classes of the uses of the land and the landscape indexes permitted to estimate the fragmentation degree of the two environment of analysis. The main focus of this essay was given to the class “forest, reforestmente and arborization of streets” for the urban área and “arborous vegetation and reforestment”for the rural área. In both cases, the patches of the focused classes showed they were distributed in a fragmented way and barely connected to each other. In general, the measurements used corroborated the spacious information represented spaciously on the thematical maps. The connectivity aspect é damaged in the rural área what it is according to the present reality of absence, for example of the continuation of the riparian forests.

Key words: Landscape Ecology, Remote Sensing, quantitive methods, urban and rural environments.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	1
LISTA DE TABELAS	2
1. INTRODUÇÃO.....	3
1.1 Contextualização do assunto.....	3
1.2 Objetivo	4
1.3 Justificativa	5
1.4 Estrutura do trabalho.....	5
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	6
2.1 Localização geográfica	6
2.2 Aspectos fisiográficos.....	6
2.3 Fatores Históricos	8
2.4 A cidade de Maringá.....	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1. Ecologia da Paisagem	17
3.1.1 Considerações sobre Escala	18
3.1.1.1 Escala Geográfica e Escala Temporal.....	19
3.1.1.2 Níveis de hierarquia	22
3.1.1.3 Grão e Extensão	24
3.1.2 Padrão Espacial e Processos Ecológicos.....	24
3.1.3 Estrutura, Função e Mudança	26
3.1.4 Fragmentação da Paisagem.....	27
3.1.5 Modelo Mancha – Corredor – Matriz	29
3.1.6 Métricas utilizadas na Ecologia da Paisagem	30
3.2 Ecologia da Paisagem X Sensoriamento Remoto	34
3.3 Extração de informações a partir de dados de Sensoriamento Remoto	36
3.4 Métricas da Ecologia da Paisagem usualmente derivadas de dados de Sensoriamento Remoto	39
4. MATERIAL E MÉTODO.....	45
4.1 Material e Equipamento	45
4.1.1 Fotografias aéreas e imagem de satélite.....	45
4.1.2 Softwares e equipamentos	45
4.2. Desenvolvimento	46
4.2.1 Ambientes de Análise	47
4.2.1.1 Ambiente Urbano.....	47
4.2.1.1.1 Conversão para o formato digital.....	47
4.2.1.1.2 Coleta dos pontos de controle	47
4.2.1.1.3 Georreferenciamento e mosaico no SPRING	48
4.2.1.1.4 Extração dos elementos da paisagem.....	49
4.2.1.2 Ambiente Rural.....	51
4.2.2 Métricas utilizadas	53
4.2.2.1 Índice de Manchas	53
4.2.2.1.1 Número de manchas – PN (<i>Patch Number</i>).....	53

4.2.2.1.2 Índice da maior mancha – LPI (<i>Largest Patch Index</i>).....	54
4.2.2.1.3 Densidade das Manchas – PD (<i>Patch density</i>)	54
4.2.2.1.4 Total de Margens – TE (<i>Total Edge</i>)	55
4.2.2.2 Complexidade	55
4.2.2.2.1 Índice de forma das manchas – SHAPE (<i>Shape Index</i>).....	55
4.2.2.2.2 Dimensão fractal – FRAC (<i>Dimensão Fractal</i>).....	56
4.2.2.3 Organização Espacial.....	56
4.2.2.3.1 Índice Médio de Proximidade – PROX_MN (<i>Proximity Index Distribution</i>).....	56
4.2.2.3.2 Contágio – CONTAG (<i>Contagion</i>).....	57
5. RESULTADOS	59
5.1 Ambiente Urbano.....	59
5.1.1 Mosaico da fotografias aéreas da área urbana	59
5.1.2 Segmentação do mosaico	59
5.1.3 Mapa temático do uso do solo urbano	62
5.1.4 Métricas utilizadas na quantificação da paisagem urbana	68
5.1.4.1 Índice de Manchas	68
5.1.4.1.1 Considerações sobre os índices de manchas.....	70
5.1.4.2 Índices de Complexidade.....	70
5.1.4.2.1 Considerações sobre os índices de complexidade das manchas	71
5.1.4.3 Organização Espacial.....	71
5.1.4.3.1 Considerações sobre os índices de organização espacial.....	72
5.1.4.4 Análise global da paisagem urbana	72
5.2 Ambiente Rural.....	72
5.2.1 Delimitação do município na Imagem ETM+/Landsat	72
5.2.2 Segmentação da área rural	73
5.2.2 Mapa Temático do uso do solo no município de Maringá.....	76
5.2.3 Métricas utilizadas na quantificação da paisagem rural	79
5.2.3.1 Índice das manchas	79
5.2.3.1.1 Considerações sobre os índices de manchas.....	81
5.2.3.2 Índice de complexidade das manchas	81
5.2.3.2.1 Considerações sobre os índices de complexidade das manchas	82
5.2.3.3 Organização espacial	82
5.2.3.3.1 Considerações sobre os índices de organização espacial.....	83
5.2.3.4 Análise global da paisagem rural.....	83
5.3 Aspectos divergentes na paisagem urbana e rural de Maringá	83
6. CONCLUSÃO.....	85
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Localização do município de Maringá	7
Figura 2:	Frentes de ocupação do Estado do Paraná	9
Figura 3:	As três fases marcadas pelos avanços da cultura cafeeira no norte do Paraná pela Companhia Melhoramentos Norte do Paraná	10
Figura 4:	Apresentação das terras adquiridas, bem com os núcleos básicos implantados pela Companhia Melhoramentos Norte do Paraná	11
Figura 5:	Projeto urbanístico inicial e áreas incorporadas	15
Figura 6:	Gráficos mostrando o princípio espaço/tempo para mudanças ambientais e biológicas	21
Figura 7:	Hierarquia espacial da superfície terrestre	22
Figura 8:	Causas de efeito de fragmentação na diversidade	28
Figura 9:	Parâmetros necessários no aplicativo FRAGSTATS	51
Figura 10:	Mosaico das fotografias aéreas da área urbana	60
Figura 11:	Imagem segmentada da área urbana	61
Figura 12:	Detalhe da imagem segmentada indicando três áreas de fragmentos de mata	62
Figura 13:	Mapa temático do uso do solo urbano	64
Figura 14:	Detalhe do mapeamento indicando três áreas de fragmentos de mata	65
Figura 15:	Representação das áreas de “mata, reflorestamento e arborização de ruas” no ambiente urbano	66
Figura 16:	Representação das áreas com “alta densidade de construção” e “média densidade de construção”	67
Figura 17:	Composição colorida com a delimitação do município de Maringá	74
Figura 18:	Imagem segmentada da área rural	75
Figura 19:	Mapa temático do uso do solo rural	77
Figura 20:	Representação da classe mata na área rural do município	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Equações para análise de um mosaico	31
Tabela 2: Equações para medidas das formas dos fragmentos	33
Tabela 3: Resumo das inter-relações entre Sensoriamento Remoto e Ecologia da Paisagem	44
Tabela 4: Resultados obtidos para área urbana	68
Tabela 5: Resultados obtidos para área rural	79

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do assunto

O município de Maringá, importante produtor agrícola do estado do Paraná, conta com uma superfície de aproximadamente 474 km², sendo que nesta área há somente 11,5 km² remanescentes da floresta nativa, ou seja, apenas 2,4% da mata original distribuída em pequenos fragmentos. Este ambiente altamente fragmentado resulta da substituição da mata original pelo desenvolvimento de atividades antrópicas. Entretanto, nesses fragmentos de mata conservados é encontrada uma diversidade de exemplares da flora e da fauna, principalmente de algumas espécies de aves mais resistentes às modificações autotróficas e adaptadas à disponibilidade dos recursos locais (PERFIL DE MARINGÁ, 1996).

A profunda descaracterização da paisagem nativa gerou várias medidas para a recuperação do déficit de vegetação, bem como a manutenção das manchas de mata ainda existente. Dentro dessas medidas está a real aplicação do Código Florestal de 1965, o qual não foi suficiente para garantir a preservação das matas ocorrentes no município de Maringá.

Para preservar é necessário conhecer e mensurar o que existe, onde existe e como existe. Portanto, quantificar o que ainda existe, definir a sua localização espacial e a sua forma são condições básicas para qualquer política preservacionista que se queira implantar. A Ecologia da Paisagem, ramo relativamente novo da Ecologia, preocupada com estas questões, focaliza as relações espaciais e as interações entre padrões e processos, utilizando-se para tanto de ferramental advindo das áreas de sensoriamento remoto e processamento de dados.

Assim, o estudo atual dos fragmentos da mata do município de Maringá vem ao encontro do interesse crescente das conseqüências da fragmentação florestal sobre a conservação da biodiversidade. Isso porque se constata que a maior parte da biodiversidade se encontra hoje

localizada em pequenos fragmentos florestais, pouco estudados e historicamente marginalizados pelas iniciativas conservacionistas (VIANA e PINHEIRO, 1998).

O atual estágio de desenvolvimento dos computadores com capacidade para armazenar e processar grande quantidade de dados, aliado ao desenvolvimento de softwares específicos para processar dados de fotogrametria, sensoriamento remoto, cartografia, geodésia, SIG etc., está permitindo fazer-se precisas observações e medições do ambiente biofísico e da paisagem. Alia-se a esta ferramenta os constantes avanços na tecnologia dos sensores remotos, dentre os quais se destacam aqueles usados na obtenção de imagens que cobrem várias bandas do espectro eletromagnético, cuja evolução permite a aquisição de imagens com resoluções espacial e espectral com boa definição.

A união das tecnologias de processamento e aquisição de dados beneficia todos os campos da atividade humana, incluindo o da Ecologia da Paisagem, que apoiados pelos dados de sensoriamento remoto, com destaque para as imagens multiespectrais, obtém análises quantitativa e espacial de fragmentos de vegetação bem definidos.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é aplicar métodos quantitativos para avaliar a estrutura da paisagem na área urbana e rural de Maringá, associada à ocorrência de cobertura vegetal e sua relação com outros objetos da superfície do município com o intuito de fornecer informações para um diagnóstico da qualidade ambiental dos dois ambientes de análise no auxílio da tomada de decisões para melhoria do meio ambiente.

Para quantificar a estrutura da paisagem serão considerados três aspectos: a) índices dos fragmentos; b) complexidade dos fragmentos e c) organização espacial.

1.3 Justificativa

Quando se aborda a área de um município evidenciam-se duas grandes unidades representadas pelos ambientes urbano e rural. Ao focar-se o ambiente urbano fica claro que a presença de áreas florestadas e a arborização urbana têm papel significativo na qualidade do ambiente proporcionado aos seus habitantes. Com referência ao ambiente rural também é evidente que a mata desempenha papel preponderante atuando como elemento regulador nas propriedades biofísicas do meio.

A avaliação destes ambientes poderá ser obtida integrando-se os princípios da Ecologia da Paisagem com a tecnologia do Sensoriamento Remoto, permitindo uma definição da estrutura e também a aplicabilidade prática dessa metodologia na quantificação dos elementos paisagísticos (número, complexidade e distribuição do fragmentos) vinculados aos fatores ambientais.

1.4 Estrutura do trabalho

A sistematização do trabalho é desenvolvida da seguinte forma:

No Capítulo 2 faz-se um levantamento histórico da colonização do município de Maringá levando-se em conta, como aspecto principal, a questão do desmatamento sistemático ocorrido no local, e que ocasionou a atual degradação que se verifica na qualidade ambiental. No Capítulo 3 apresentam-se conceitos da Ecologia da Paisagem e do Sensoriamento Remoto. O Capítulo 4 expõe os materiais e a metodologia empregados para a realização deste trabalho. No Capítulo 5 apresentam-se os resultados das métricas aplicadas nos dois ambientes de análise.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização geográfica

O município de Maringá está localizado no norte central do estado do Paraná, entre as coordenadas aproximadas de 23° 15' 14" e 23° 33' 40" latitude sul e 51° 50' 01" e 52° 05' 40" longitude oeste, sendo delimitado ao norte pelos municípios de Ângulo e Mandaguaçu; ao sul por Floresta, Marialva e Ivatuba; ao leste por Sarandi e Marialva; a oeste por Paiçandu e Mandaguaçu e a nordeste por Astorga e Iguaçu (Figura 1).

2.2 Aspectos fisiográficos

O município de Maringá apresenta resquícios da floresta estacional semidecidual submontana que se estende pelos planaltos com altitudes inferiores a 500 metros, enquanto a floresta estacional semidecidual montana ocorre em altitudes superiores a 500 metros. Essas matas recobriam extensivamente o planalto arenítico/basáltico, nas suas porções mais elevadas do leste e do norte onde se encontram solos férteis, argilosos originários da decomposição das rochas basálticas, popularmente conhecidos por “terra roxa” (argissolos, nitossolos e latossolos). Esta floresta original caracteriza-se por apresentar espécies decíduas (entre 20 a 50% das espécies), perdendo suas folhas devido à seca fisiológica de inverno ou a exposição a temperaturas baixas, raras geadas nos meses mais frios, geralmente entre junho e agosto (FERREIRA, 2002).

Por estar situada na zona de transição dos climas tropical e subtropical - Cfa(h) e Cfa, respectivamente, o município, que é cortado pelo Trópico de Capricórnio, recebe influências tanto das massas atlântica tropical e equatorial como massas de ar frio da frente polar. O clima predominante é o subtropical onde a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e as temperaturas médias anuais superiores a 20°C.

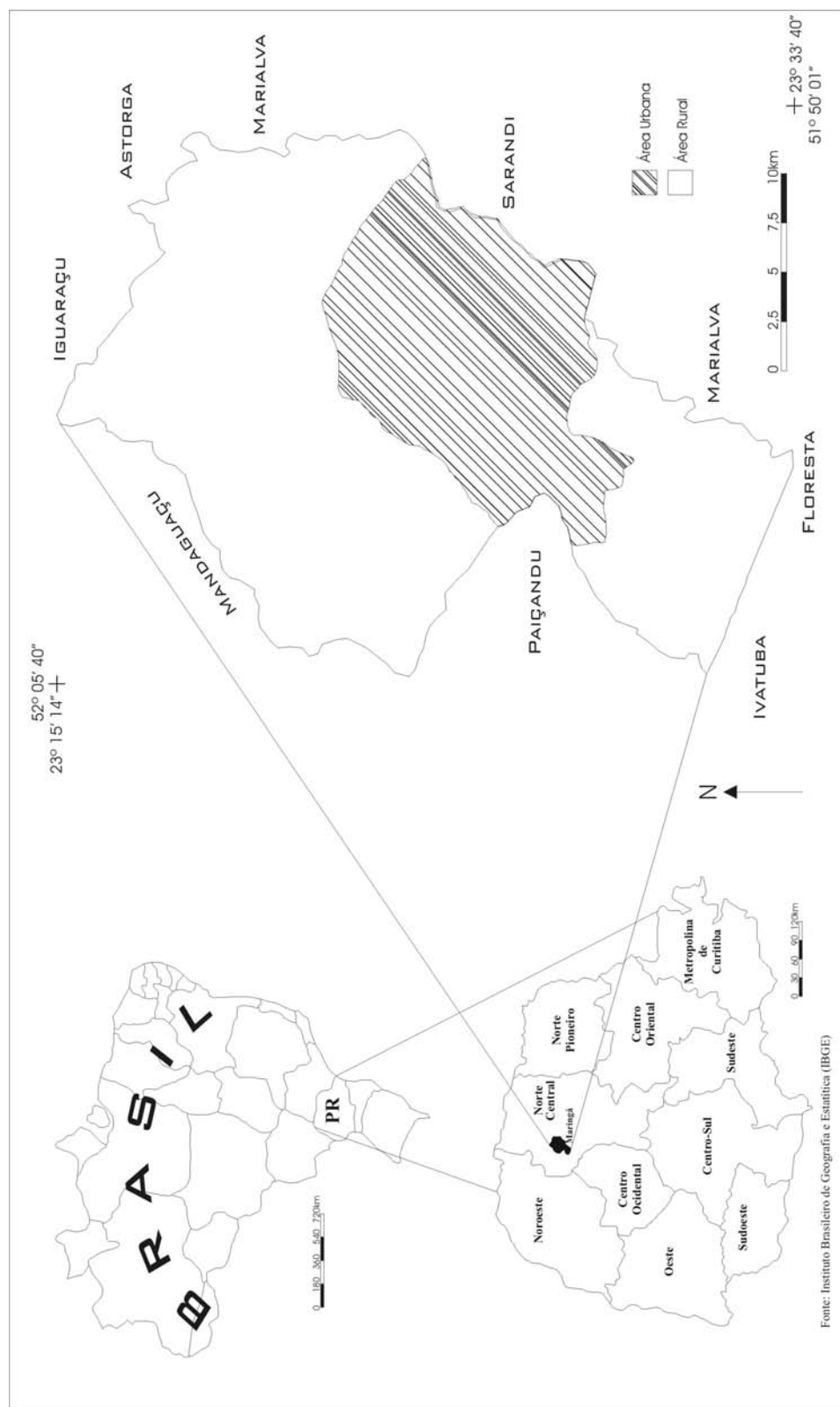


Figura 1: Localização do Município de Maringá
Organização: Américo José Marques

O município de Maringá pertence à área de abrangência dos basaltos da Formação Serra Geral, que foram originados dos derrames de lavas básicas a sub-básicas ocorridos na Era Mesozóica. Na região noroeste do município, o basalto foi parcialmente coberto pelos arenitos da Formação Caiuá (PERFIL DE MARINGÁ, 1996). Na área o relevo é de planalto, apresentando patamares e mesetas com colinas suaves.

2.3 Fatores Históricos

O Estado do Paraná é considerado um dos estados brasileiros mais pobres em área de cobertura vegetal (BACHA, 1998). Este déficit provém de fatores históricos ocorridos nas diferentes etapas de colonização implantadas a partir do século XVII: Paraná Tradicional, Região Norte e Região Sudoeste, conforme mostra a Figura 2.

Segundo Serra (1992), a primeira etapa de colonização do estado do Paraná (Paraná Tradicional) teve sua gênese a partir da segunda metade do século XVII, vinculada ao ciclo da mineração do ouro e a contingentes populacionais provindos de São Paulo para explorá-lo. Após a decadência da exploração do ouro no Paraná deu-se origem a novas fases econômicas, caso do tropeirismo¹ e da extração e beneficiamento de madeira e erva-mate completando, desta forma, a primeira etapa de ocupação de terras no Paraná, na terceira década do século XIX.

A partir de meados do século XIX, teve início a outra etapa de ocupação ocorrida na região norte do estado através da aquisição de expressivas glebas de terras por parte de cafeicultores paulistas, quando se obteve o maior impulso da economia cafeeira no início da década de 1960 (PARANÁ, 1994).

1 Caminhos de tropas partindo das zonas extensivas de criação de gado (Rio Grande do Sul, Argentina e Uruguai) até Sorocaba, SP (SERRA, 1990).

A terceira frente deu-se a partir dos anos 40, com a entrada de gaúchos e catarinenses na região sudoeste do estado ocorrendo, desta forma, o encontro das três frentes pioneiras na década de 1960 e conseqüentemente a ocupação de todo o território paranaense (SERRA, 1992).

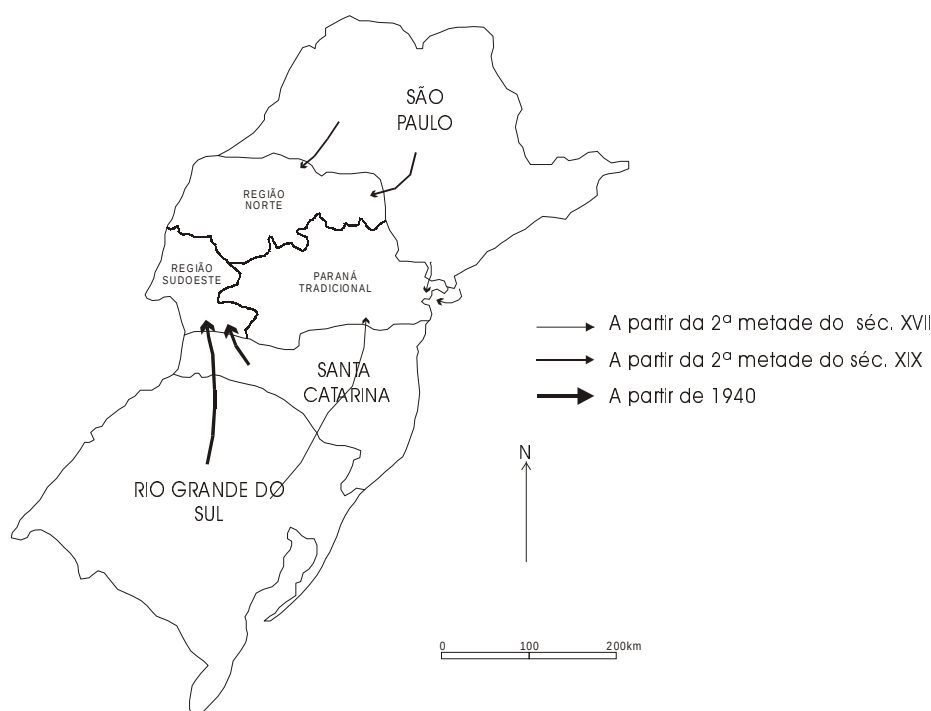


Figura 2: Frentes de ocupação do Estado do Paraná
Adaptado de Serra (1992)

Com a crise na economia cafeeira paulista motivada, entre outros fatores, pelo empobrecimento do solo nas zonas produtoras e a desagregação da primeira frente pioneira (Paraná Tradicional), inicia-se o deslocamento do movimento expansionista paranaense à região norte, tendo o café como carro chefe, sendo a área total ocupada em pouco tempo (SERRA, 1992). Segundo este autor, a região teve três fases marcadas pelos avanços da cultura cafeeira (Figura 3):

- A primeira fase, compreendeu o período do final do século XIX até a segunda década do

século XX, designada Norte Velho, foi marcada pela colonização espontânea, estendendo-se desde a divisa com São Paulo até o rio Tibagi.

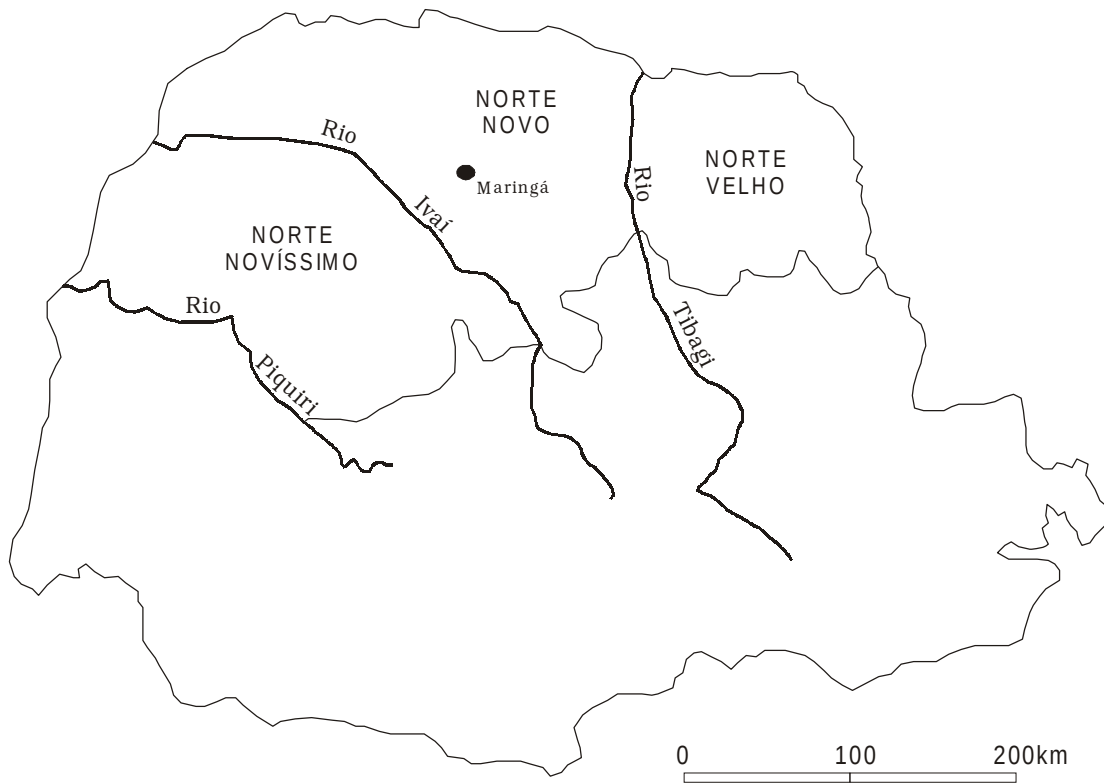


Figura 3: As três fases marcadas pelos avanços da cultura cafeeira no Norte do Paraná.

Adaptado de Companhia Melhoramento Norte do Paraná (1975).

- A segunda fase, chamada de Norte Novo, dá-se a partir de 1930 de forma lenta até o final de segunda guerra mundial, acelerando posteriormente. Esta área se estende do rio Tibagi, passando por Maringá, até as margens do rio Ivaí.
- A última etapa do processo de colonização no norte do Paraná ocorre entre 1940 e 1960, definindo o Norte Novíssimo, compreendendo a região que se estende do rio Ivaí até o rio Piquiri.

Cabe aqui salientar que esta regionalização efetuada pela CMNP foi estratégica para a colonização, não sendo levada em conta para planejamentos atuais. De acordo com o

exposto anteriormente, o município de Maringá situa-se no mesorregião Norte Central do Paraná (Figura 1).

A colonização efetuada a partir de 1930 (segunda etapa de colonização, o designado Norte Novo), foi realizada pela empresa inglesa Companhia de Terras, atual Companhia Melhoramentos Norte do Paraná (CMNP). Esta adquiriu diversas áreas que totalizaram 515 mil alqueires e posteriormente comprou mais 30 mil alqueires de terras situadas à oeste da gleba principal conforme mostrado na Figura 4.

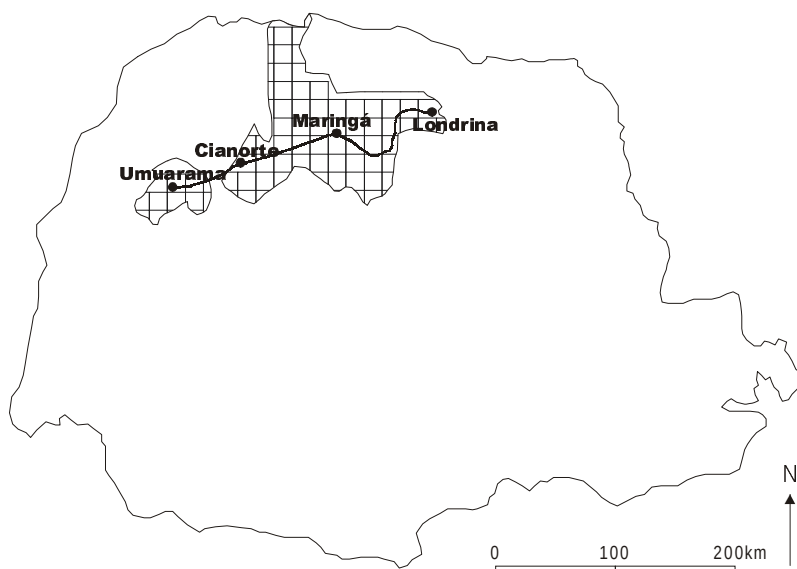


Figura 4: Apresentação das terras adquiridas bem como os núcleos básicos implantados pela Companhia Melhoramentos Norte do Paraná.

Adaptado da CMNP (1975).

O planejamento realizado nas terras adquiridas pela CMNP obedeceu aos seguintes critérios, conforme relatado por Herman Moraes de Barros (Diretor Gerente da CMNP):

Os núcleos básicos de colonização foram estabelecidos progressivamente, distanciados cerca de 100 quilômetros uns dos outros, na seguinte ordem: Londrina, Maringá,

Cianorte e Umuarama. (...) Entre estes núcleos principais, fundaram-se, de 15 em 15 quilômetros, pequenos patrimônios, cidades bem menores cuja finalidade é servir como centro de abastecimento para a numerosa população rural. (BARROS, 1975, p. 125).

A Companhia Melhoramentos Norte do Paraná não se preocupou muito com a questão ambiental nas áreas rurais, conforme o relato do Diretor Gerente da CMNP descrevendo a forma como a terra foi ocupada:

Chegavam à região nos famigerados caminhões ‘paus de arara’ e logo se engajavam nas turmas de derrubada de mata para plantio do café (...) À derrubada seguiam-se a queima, a coveação e o plantio de café. (BARROS, 1975, p. 125).

Originalmente, o estado do Paraná tinha 84,72% de sua superfície ocupada com cobertura vegetal, sendo pouco alterada até o começo da segunda década do século XX (BACHA, 1998). Segundo o autor, de 1912 a 1992 o estado sofreu uma intensa retirada dessa cobertura florestal, para a prática de atividades agropecuárias ou pela infra-estrutura econômica (estradas, hidroelétricas) e urbanas. Quando este processo de degradação desordenada estagnou, apenas 5% da área do estado estava coberta pela floresta nativa.

A prática do desmatamento desenfreada ocorrida inclusive em áreas protegidas constituídas como reservas florestais aliada à pequena eficácia dos critérios políticos da federação para ocupação de áreas resultaram no déficit de cobertura vegetal no Estado (BACHA, 1998).

Esta situação fez com que o próprio Estado do Paraná se preocupasse, adotando medidas de incentivo para realização de reflorestamento e gerando condições para um manejo em regime sustentado das florestas nativas que persistiram. Segundo Bacha (1998), o Estado do Paraná vem trabalhando esta questão com critérios baseados em quatro experiências:

- 1) **Proteção e exploração ordenada:** com relação à reserva legal no Paraná, o estado tem duas experiências importantes: as reservas legais coletivas e as permissões do uso de reserva legal em certas áreas. A primeira é realizada em áreas a serem colonizadas, resguardando um

espaço contíguo para a manutenção da reserva legal coletiva. Esta prática tem as vantagens de delimitar o lote mais adequado a ser mantido como reserva legal sem perder a possibilidade de produção agropecuária e manter uma área nativa maior e contígua.

- 2) **Incentivo ao reflorestamento:** os programas estaduais de incentivo ao reflorestamento contam com os projetos Paraná Rural, referente ao componente florestal, e o Programa de Desenvolvimento Florestal Integrado (PDFI), no qual o estado produz mudas que são doadas ou vendidas a preço de custo e ainda concede assistência técnica. Por intermédio de ambos os programas plantam-se, em média, 4000ha de floresta por ano no estado.
- 3) **Conscientização e medidas judiciais:** a experiência com ações judiciais que visam repor as matas ciliares e as reservas legais iniciou-se com a Associação de Defesa e Educação Ambiental de Maringá (ADEAM), uma entidade sem fins lucrativos, que busca identificar as áreas que tiveram suas matas destruídas, iniciando um processo de conscientização dos proprietários rurais da importância de se repor, principalmente, as matas ciliares e a reserva legal. Se o processo de conscientização falhar, a ADEAM notifica o proprietário rural para que ele recomponha essas matas, advertindo-o sobre as penalidades legais. Se isto ainda for ineficaz, a ADEAM inicia uma ação judicial. Com isto, o Ministério Público do Estado despertou para o problema e os mesmos procedimentos têm ocorrido em outras cidades do estado.
- 4) **Criação de dispositivos legais:** a legislação florestal do estado conta com vários dispositivos, como por exemplo: a lei de reposição florestal, a taxa ambiental, a lei florestal do estado e a lei do ICMS ecológico. Esta última (Lei Complementar Estadual n.º 59/91) estabelece que 5% de 25% do total de ICMS arrecadado pelo estado e que se destinam aos municípios, devem ser rateados entre aqueles que possuam unidades de conservação ambiental e/ou áreas

preservadas protetoras de mananciais que abasteçam municípios vizinhos. Com isto, existem municípios que têm no ICMS ecológico sua principal fonte de renda.

Apesar destes dispositivos criados para a preservação de remanescentes de floresta nativa da região, isto foi, de certa forma, ineficaz, não somente em Maringá, mas em todo o estado. Hoje o Paraná é o estado brasileiro mais pobre em vegetação nativa e o município de Maringá possui apenas 2,39% de toda sua área com floresta, quando o mínimo deveria ser 20% (MARINGÁ-PR, 2000).

Com o processo de colonização implantado, primeiro com o desmatamento para a plantação do café, depois com a substituição deste por culturas temporárias (trigo, soja etc), houve uma grande fragmentação dos habitats, obtendo-se assim uma alta dispersão, bem como o tamanho reduzido dos fragmentos florestais no município.

2.4 A cidade de Maringá

Maringá, colonizada pela Companhia Melhoramentos Norte do Paraná, foi fundada no dia 10 de maio de 1947, como distrito de Mandaguari. Em 14 de fevereiro de 1951, foi elevada a categoria de município e em 14 de novembro do mesmo ano, conquistou sua autonomia política.

O projeto urbanístico inicial, elaborado pelo urbanista Jorge Vieira de Macedo, foi dimensionado para abrigar uma população final em torno de 200.000 habitantes, porém a cidade expandiu consideravelmente e novas áreas foram sendo anexadas à área do projeto inicial (Figura 5). O projeto original contemplava preocupações com questões ecológicas e preservacionistas: *Praças, ruas e avenidas foram demarcadas considerando, ao máximo, as características topográficas do sítio escolhido, e revelando preocupação lúcida no que se refere à proteção de áreas verdes e vegetação nativa* (PERFIL DE MARINGÁ, 1996).

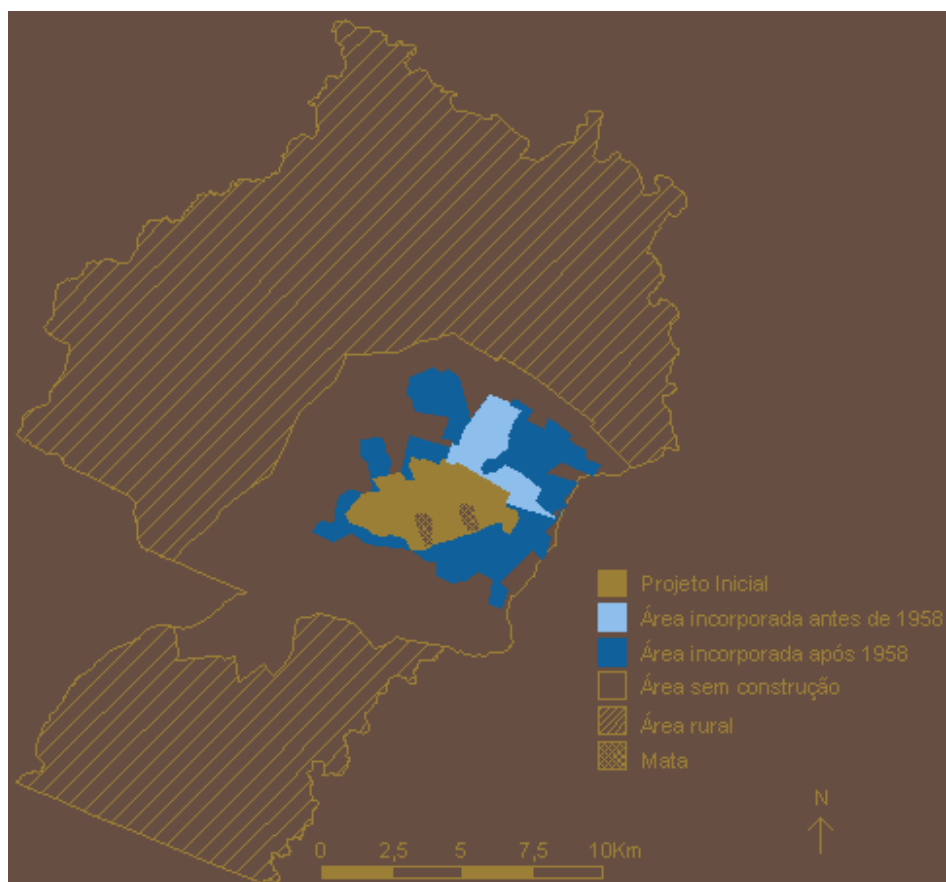


Figura 5: Projeto urbanístico inicial e áreas incorporadas.
Organização: Américo José Marques²

Já na área rural, mesmo com o Código Florestal de 1965, poucos fragmentos de florestas foram preservados; as matas ciliares e reservas protetoras de nascentes, quando existem, são de dimensões muito inferiores ao exigido por lei, acarretando sérios prejuízos ao meio ambiente. A quase total eliminação das áreas verdes no ambiente rural é explicada pela grande fertilidade do solo, o que estimula a exploração economicamente de culturas agrícolas.

Devido ao fato dos agricultores aproveitarem ao máximo os limites de sua propriedade, a cobertura florestal é mais significativa na área urbana, representada pelos núcleos de reservas florestais com matas naturais e a grande quantidade de árvores nos canteiros centrais

²Elaborado com base no Plano Diretor de Maringá de 1968.

e laterais de ruas, avenidas e praças. As três principais reservas urbanas são o Parque do Ingá, o Bosque II e o Horto Florestal (PERFIL DE MARINGÁ, 1996).

É interessante frisar que a própria legislação municipal rege a favor da arborização urbana, instituindo cobrança de multas para danos causados à arborização urbana de ruas. Desta forma, qualquer que seja a alteração na questão de arborização das ruas, deve passar pelo crivo da Secretaria do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Maringá. Outro ponto que merece ser realçado é a obrigatoriedade da implantação de arborização em todos os loteamentos novos da zona urbana. O município também está preocupado com a preservação das matas ciliares, aplicando rigidamente as penas legais aos infratores.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Ecologia da Paisagem

A Ecologia é geralmente definida como o estudo das interações entre organismos e seus ambientes (FORMAN, 1995). A Ecologia da Paisagem é um ramo da ecologia que focaliza as relações espaciais e as interações entre padrões e processos, tendo sido desenvolvida na Europa pelo geógrafo alemão Carl Troll em 1939, onde existe uma rica tradição no planejamento da paisagem e tomada de decisões (TURNER, 1989).

Na América do Norte, a Ecologia da Paisagem se desenvolveu mais tarde que na Europa, sendo derivada da Ecologia de Ecossistemas e fazendo grande uso de métodos computacionais e tecnologias tais como: Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informações Geográficas e modelos de simulação. Em decorrência disso surgiram, recentemente, modelos quantitativos para examinar as interações entre os padrões e processos (MLADENOFF, 2002).

Forman (1995) divide o desenvolvimento da Ecologia da Paisagem em três fases:

- a) a primeira fase se estendeu até 1950, sendo esta a fase da história natural e a do ambiente físico. Ela se estabeleceu a partir do entendimento da natureza por extensas áreas. Seus principais contribuidores foram Herodotus, A. Von Humboldt, C. Darwin, F. E. Clements, A. W. F. Schimper, A. P. deCandolle, G. White, H. D. Thoreau, A. Losch, W. Christaller, entre outros.
- b) a segunda fase, denominada por Forman de “waving phase” (fase da tecelagem), deu-se entre aproximadamente 1950 a 1980, onde diversas “linhas foram entrelaçadas” para chegar ao estágio atual em que se encontra a Ecologia da Paisagem, através do enriquecimento dos conceitos de Carl Troll por autores de várias disciplinas.

c) a última fase se deu aproximadamente a partir de 1980. Esta fase é denominada por Forman de “land mosaic” ou “coalescence phase”, ou seja, fases dos mosaicos da terra ou da aglutinação de peças de quebra-cabeça, emergindo daí o conceito geral de paisagem e ecologia regional. É neste período que surge uma vasta quantidade de trabalhos relacionados às bases conceituais da Ecologia da Paisagem tais como: fragmentação e conservação dos habitats, corredores e conectividade, metodologia quantitativa, heterogeneidade, bordas e restauração³.

Segundo Turner (1989), a Ecologia da Paisagem enfatiza as grandes áreas e os efeitos ecológicos do padrão dos ecossistemas, considerando o desenvolvimento e dinâmica da diversidade espacial, interações e mudanças através de paisagens heterogêneas, além das influências da heterogeneidade espacial sobre os processos bióticos e abióticos, e manejo da diferença espacial.

A seguir são apresentados conceitos de fundamental importância para o entendimento dos aspectos relacionados com a Ecologia da Paisagem, sendo muitos deles já consagrados na Cartografia, mesmo que com outra terminologia.

3.1.1 Considerações sobre Escala

Segundo Turner (1989), a palavra *escala* é usada em muitos contextos, denotando freqüentemente diferentes aspectos no espaço e no tempo. A importância da escala é fundamental em pesquisas de cunho geográfico, cartográfico ou ambiental, ou qualquer outra que se realize sobre o espaço físico de atuação de um fenômeno (MENEZES E COELHO NETO, 2002). É um tema muito antigo e apresenta muitas controvérsias.

3 Medida conservacionista que implica na correção dos abusos do passado que reduziram a produtividade dos recursos básicos (Dicionário Michaelis, 1998).

3.1.1.1 Escala Geográfica e Escala Temporal

Devido à inexistência de clareza e a falta de consenso sobre o que seria o conceito de escala geográfica, ou ainda, um conceito de escala útil, que permitisse a análise geográfica dos fenômenos, esta se confunde com a escala cartográfica⁴ (CASTRO, 1996). Segundo a autora, a escala geográfica é “a escolha de uma forma de dividir o espaço, definindo uma realidade percebida/concebida, é uma forma de dar-lhe uma figuração, uma representação, um ponto de vista que modifica a percepção da natureza deste espaço e, finalmente, um conjunto de representações coerentes e lógicas que substituem o espaço observado”. A autora enfatiza ainda a inversão do conceito de escala fração (escala cartográfica) e a escala geográfica, argumentando que seria no mínimo estranho dizer que a evolução de uma voçoroca é um fenômeno de grande escala, enquanto que a deriva continental é um fenômeno de pequena escala, colocando em voga o entendimento disto ao cartógrafo, que pensaria nas escalas adequadas para a representação no mapa.

Para deixar mais clara esta questão referente às escalas cartográfica e geográfica, é necessário considerar a área de ocorrência de determinado fenômeno. Se este fenômeno abranger uma grande área, como é o caso da aridez do nordeste que atinge aproximadamente 1.000.000 km² (escala geográfica), seria necessário um mapa com uma escala de aproximadamente 1:2.500.000 (escala cartográfica), que é uma escala pequena⁵. Em contrapartida, se um fenômeno abarcar uma área pequena, como é o caso de um deslizamento de terras, sua área de abrangência pode chegar aproximadamente a 4.000 m² e deve ser representado em um mapa com escala de aproximadamente 1:1.000.

⁴ É a razão entre as dimensões gráficas (mapa) e dimensões naturais (objeto real) (Duarte, 1989).

⁵ Critério adotado com base na proposta de classificação de mapas em função da escala, de Oliveira (1988).

Através desta analogia, pode-se verificar que a relação das escalas cartográfica e geográfica é inversamente proporcional, ou seja, quanto maior for a área compreendida por um fenômeno, menor deverá ser a escala cartográfica adequada para a sua representação e quanto menor for a área de ocorrência de um fenômeno, maior deverá ser a escala cartográfica necessária para a sua representação.

No caso dos estudos realizados na Ecologia da Paisagem, há um consenso quanto à utilização da escala para evitar confusão e proporcionar uma terminologia clara. Segundo Forman (1995), as terminologias “fine scale” e “broad scale” se referem a padrões de pequenas e grandes áreas, respectivamente. Na verdade, estes termos referem-se à escala geográfica.

Uma outra abordagem de importância fundamental na Ecologia da Paisagem é a escala temporal, pois é através da passagem do tempo que se detectam quaisquer modificações na paisagem. Nesta mesma linha, há uma grande variação na ordem temporal, alguns fenômenos se manifestando após um grande espaço de tempo e outros se manifestando na escala de tempo humano. No caso de fenômenos geológicos, uma cordilheira pode processar-se por dezenas de milhões de anos, enquanto que um vulcão pode atingir uma altura considerável alguns meses após ser gerado (PENHA, 1998).

Mesmo considerando o desenvolvimento de pesquisas, muitas delas são realizadas em escalas temporais inadequadas. Jelinski et al. (1994) relataram que algumas pesquisas a respeito das respostas da vegetação em relação às mudanças climáticas têm sido feitas na ordem de minutos ou horas, ao invés de se utilizar escalas de tempo mais apropriadas, tais como semanas ou meses. Além desta questão, deve-se atentar também para distúrbios que ocorrem e devastam partes ou ecossistemas por inteiro, sendo que o tempo de recomposição dos mesmos é de ordem temporal mais longa. É o caso, por exemplo, da ocorrência de um incêndio

que devasta uma área em poucas horas, mas o tempo de recomposição desta área é da ordem de anos.

A relação do princípio espaço/tempo no âmbito da Ecologia da Paisagem é exposta por Forman (1995), na qual o autor coloca que geralmente os eventos perturbadores (distúrbios) ou processos ecológicos afetam uma grande área. Em contrapartida, a maior parte dos processos com curta duração afeta áreas menores. Esta relação está mostrada na Figura 6.

Cabe aqui salientar que alguns processos ecológicos são imperceptíveis para o homem quanto ao tempo cronológico. Por exemplo: na questão da deriva continental, levou-se milhões de anos para se chegar à configuração atual dos continentes, atingindo a extensão planetária. Em contrapartida, existem também processos que são perceptíveis e que são detectados na escala cronológica do homem, tais como o surgimento e evolução de uma voçoroca.

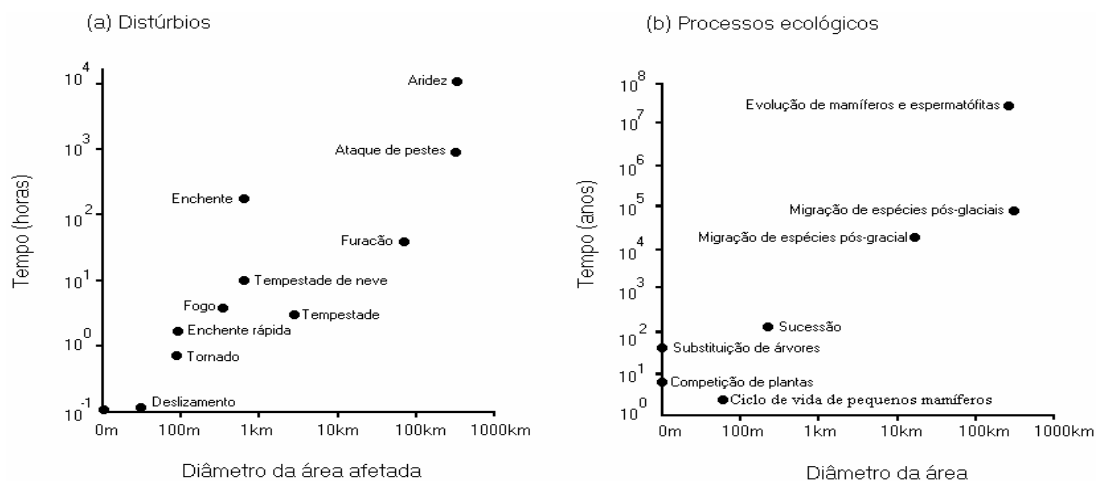


Figura 6: Gráfico mostrando o princípio espaço/tempo para mudanças ambientais e biológicas. Adaptado de Forman (1995, p. 8).

3.1.1.2 Níveis de hierarquia

Forman (1995) apresenta outra questão relativa a escala, a qual se refere aos níveis de hierarquia determinados pelos domínios da escala. Estes domínios representam mosaicos quase estáveis, individualizados por mudanças rápidas, onde cada domínio exibe um determinado padrão espacial. Segundo o autor, estes domínios seriam representados a partir de uma visão geral do planeta e gradativamente seriam focalizadas extensões menores, passando por etapas intermediárias, até se obter uma visão microscópica de partículas do solo. Para melhor se entender a respeito dos níveis de hierarquia, apresenta-se a seguinte analogia:

Uma laranja pode parecer um ponto quando observada de muito longe, mas aproxima-se de uma esfera quando observada mais de perto. Sob uma lente, veremos os diversos poros na sua casca e sob um microscópio poderemos observar as células que a constituem (COSTA e BIANCHI, 2002, p. 40).

Forman (1995) relata que o planeta é subdividido espacialmente de várias maneiras, de acordo com os objetivos humanos, sejam eles, político, econômico, climático e geográfico. A Figura 7 mostra os níveis de hierarquia formados na superfície terrestre.

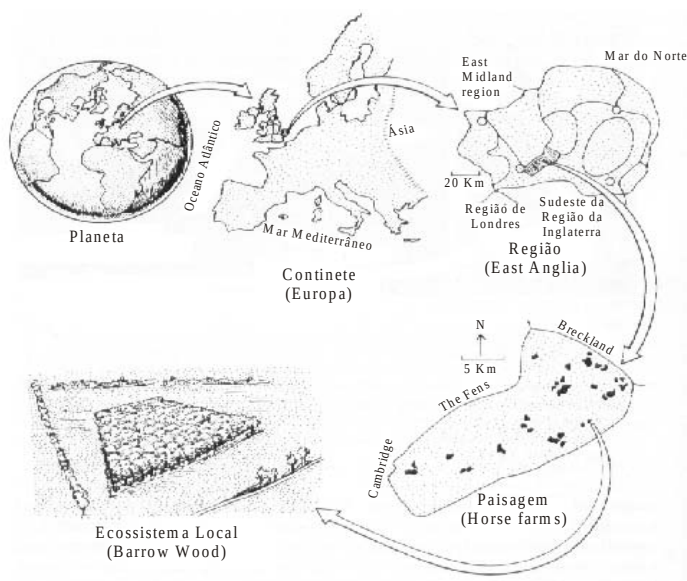


Figura 7: Hierarquia espacial da superfície terrestre.
Adaptado de Forman (1995)

Miller (1978) apud Forman (1995) esclarece os aspectos relacionados com os níveis de hierarquia, em termos de energia e massa, incluindo confinamentos e fluxos. A Biosfera ou planeta é subdividido em continentes, que são subdivididos em regiões, estas são divididas em paisagens, as paisagens são divididas em ecossistemas locais e estes podem ainda ser divididos, de acordo com a sua estrutura interna, sendo que cada degrau deve ser representado em uma escala própria (Figura 7). Forman (1995) mostra as seguintes definições referentes aos níveis de hierarquia: continentes abarcam áreas extremamente dissimilares em relação ao clima, tipos de solos, topografia, vegetação e usos do solo; a região é uma ampla área geográfica determinada por um macroclima comum de esferas de interesse e atividades humanas; a paisagem é um mosaico onde há um misto de ecossistemas locais ou usos do solo repetidos de forma similar por extensas áreas; e ecossistema local ou usos do solo são elementos relativamente homogêneos dentro de uma paisagem que são freqüentemente distintos em seus limites. O autor relata que devem ser utilizadas as regiões e paisagens que comparem e integrem processos naturais e atividades humanas para antecipar o uso da ecologia nas atividades de projeto, planejamento, conservação, manejo e programação de ações.

Diante do exposto e ainda tomando-se como base a Figura 7, percebe-se que esta abordagem adotada na Ecologia da Paisagem encontra paralelo na Cartografia, no que se refere a aspectos básicos e já consagrados nesta área do conhecimento: mapas de grandes escalas mostram pequenas porções da superfície terrestre onde a informação detalhada pode então ser mostrada, enquanto que mapas com escalas pequenas contém grandes áreas terrestres e menos detalhes específicos e deve usar símbolos que são mais generalizados (KEATES, 1989), ou seja, deve haver uma seleção e simplificação das feições (eliminação ou redução de elementos gráficos) representadas no mapa de acordo com a escala e ou propósito, mantendo a relação

verdadeira com a realidade, a fim de se obter um mapa legível (SWISS SOCIETY OF CARTOGRAPHY, 1977).

3.1.1.3 Grão e Extensão

Outra forma de se referir ao conceito de escala em Ecologia da Paisagem é relatado através dos termos grão e extensão. Turner (1989) define grão como a menor resolução, seja espacial ou temporal, dentro de um conjunto de dados e extensão como o tamanho da área de estudo e duração do estudo.

Segundo Forman (1995), a resolução de uma fotografia aérea inclui sua habilidade em distinguir ou diferenciar os objetos ou elementos espaciais na cena. O autor relata que a diferença na resposta radiométrica entre objetos ou elementos espaciais adjacentes se refere ao contraste. Como a paisagem pode ser considerada uma área espacialmente heterogênea (TURNER, 1989), a fotografia deverá ter um alto contraste quando ocorrer uma abrupta diferença (borda) entre objetos ou elementos radiometricamente homogêneos (FORMAN, 1995).

Assim sendo, a frequência das mudanças de tonalidade em uma fotografia aérea (textura ou granulidade) se referem ao grão, sendo este determinado pelo tamanho (diâmetro médio ou área) dos fragmentos que são distinguíveis ou reconhecidos. Desta forma, o autor define termos como “fine-grained”, que se refere a paisagens constituídas primariamente de pequenos fragmentos e “coarse-grained”, que se refere a paisagens que são formadas principalmente por grandes fragmentos.

3.1.2 Padrão Espacial e Processos Ecológicos

De acordo com Turner (1989), a primeira meta a ser buscada para se realizar pesquisas sobre as paisagens é se entender as relações entre padrão da paisagem e processos

ecológicos. Mas o que significa padrão e processo? Para tentar elucidar estes conceitos, particularmente confusos no âmbito da Ecologia da Paisagem, são apresentadas algumas definições, embora algumas delas sejam genéricas.

Gardner et al (1987); O'Neill et al. (1988) apud Dunn et al (1990) apresentam uma definição de padrão da paisagem relacionado com o número, tamanho, e justaposição dos elementos ou fragmentos, os quais têm importantes contribuições na formação de um padrão de paisagem global e na interpretação dos processos ecológicos.

Em se tratando dos estudos a partir de fotografias aéreas, que registram a situação de um espaço físico em determinada época, Kirchner et al. (1990) definem o termo padrão como sendo o arranjo espacial dos objetos nas mesmas.

Por outro lado, Santos (1985) define, genericamente, processo como uma ação que se realiza continuamente, visando um resultado qualquer, implicando tempo e mudança. Um processo ecológico, dessa forma, está relacionado com sucessão de plantas, dinâmica de nutrientes, tipos de devastações, interações presa-predador, dispersão de espécies, dinâmicas de nutrientes e a difusão de distúrbios, todos apresentando componentes espaciais (TURNER e GARDNER, 1991 apud FROHN e MENZ, 1996).

Estes dois termos, padrão espacial e processo ecológico, são de fundamental importância na Ecologia da Paisagem pois, segundo Turner (1989), a ênfase nos padrões e processos é o que diferencia a Ecologia da Paisagem de outras disciplinas ecológicas. A autora ainda relata que essa ênfase, no passado, se focalizava na descrição dos processos que definiam os padrões observados na biota, mas que hoje também incorpora o processo inverso, ou seja, o desenvolvimento e dinâmicas da heterogeneidade da paisagem e seus efeitos sobre os processos ecológicos.

Forman (1995) relata que são três os mecanismos que definem os padrões: a heterogeneidade do substrato, distúrbios naturais e atividades humanas. Nesta mesma linha, Turner (1989) argumenta que os padrões que são observados na paisagem resultam de interações complexas entre forças físicas, biológicas e sociais.

Com relação à escala, a autora mostra que as medidas dos padrões e heterogeneidade da paisagem são dependentes da escala na qual as medidas são feitas, conforme Gardner (1987) apud Turner (1989), que demonstrou que o número, tamanho e forma dos fragmentos dependem da escala linear do mapa.

3.1.3 Estrutura, Função e Mudança

Dentro do estudo da Ecologia da Paisagem, deve-se considerar ainda, segundo Turner (1989), três características básicas: estrutura, função e mudança. Segundo a autora, estrutura se refere às interações entre os elementos de um ecossistema ou entre ecossistemas distintos, ou seja, à distribuição de energia, espécies e materiais em relação ao tamanho, forma, tipo, número e configuração dos ecossistemas. Função se refere às interações entre os elementos espaciais, isto é, aos fluxos de energia, materiais e espécies entre os ecossistemas componentes. Mudança se relaciona com as alterações na estrutura e função dos mosaicos ecológicos através do tempo.

Para elucidar o entendimento destes termos, vamos utilizar um exemplo prático. A cidade de Maringá foi projetada de acordo com as divisões sócio-econômicas da população. Cada bairro loteado – ecossistema - teve sua localização especificada – configuração – de acordo com o interesse da CMNP⁶ (**estrutura**). Os bairros não satisfazem as necessidades totais das pessoas, sendo necessário que as mesmas se desloquem para outros bairros – fluxos – a fim de

trabalhar, fazer compras, pagar contas, entre outros afazeres (**função**). Com o passar dos anos a cidade expandiu, surgindo novos bairros, parques industriais, e alguns bairros já existentes desenvolveram-se apresentando novas funções e alterando a estrutura da cidade, ou seja, mudaram suas características (**mudança**).

Nesta analogia da organização espacial de uma cidade, no caso Maringá, com a Ecologia da Paisagem, comparece a visão de Santos (1985), o qual relata que para se entender a organização espacial e sua evolução é necessário que se interprete a relação dialética entre os objetos da cidade que devem ser tomadas em conjunto, pois tomados individualmente seus elementos representariam apenas realidades parciais, limitadas. Tomando-se como base os termos relacionados à Ecologia da Paisagem, ou seja, estrutura, função e mudança, a análise pode ser feita da mesma forma, sendo assim investigados em conjunto, pois desta forma permitem um entendimento da base teórica e prática onde se pode avaliar os fenômenos espaciais na sua totalidade.

Em se tratando de ambientes naturais, Metzger (1999) argumenta que a estrutura da paisagem age interferindo na dinâmica das populações, fazendo com que se alterem os riscos de extinção e as possibilidades de deslocamento das populações pela paisagem, ou seja, se a estrutura da paisagem sofre algum processo de fragmentação do *habitat* (LORD e NORTON, 1990 apud METZGER, 1999), a mesma é modificada e ocorrem mudanças na composição e diversidade das comunidades.

3.1.4 Fragmentação da Paisagem

A fragmentação da paisagem ocorre quando padrões naturais de heterogeneidade e conectividade são modificados até o ponto em que os processos ecológicos

normais são interrompidos e/ou novos processos são inicializados (PEARSON, 1994). Segundo o autor, uma das maiores ameaças à diversidade biológica é a perda de habitat e fragmentação.

Metzger (1999) relata que, para estudar o efeito da fragmentação sobre as espécies, é necessário levar em conta parâmetros como área e grau de isolamento, conectividade e a complexidade de um mosaico na paisagem (Figura 8).

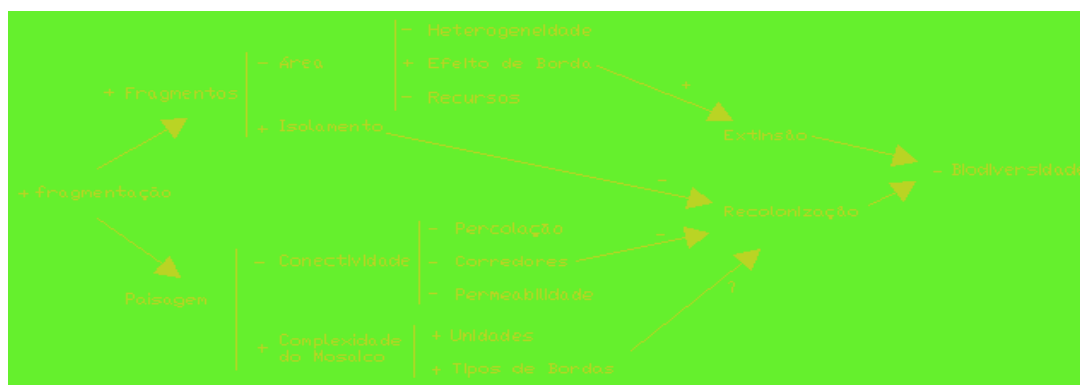


Figura 8: Causas do efeito da fragmentação na biodiversidade. + maior; - menor e ? efeito desconhecido
Adaptado: Metzger (1999) - Organização: Américo José Marques

Para melhor análise deste gráfico, pode-se utilizar uma área onde anteriormente o homem ainda não havia explorado, como por exemplo uma floresta. Este ambiente antes intacto, passa por transformações provocadas pelo homem. Estas alterações vão provocando uma maior fragmentação da mata, acarretando um aumento da quantidade de manchas com áreas menores e mais isoladas. A paisagem se torna menos conectada e há um aumento na complexidade do mosaico. A consequência da fragmentação produz um produto final que é a perda da biodiversidade do ambiente.

Com relação à área dos fragmentos, o autor relata que, em geral, este é o parâmetro mais importante para explicar a riqueza de espécies. Já o isolamento age negativamente na riqueza ao diminuir a taxa de imigração de espécies. O conceito de conectividade é essencial na medida em que a sobrevivência das espécies em habitats fragmentados (ou distribuídos de forma heterogênea na paisagem) depende da capacidade destas

espécies atravessarem as unidade da matriz. Quanto à complexidade do mosaico pode ser avaliada em função da diversidade da paisagem e complexidade de bordas. Segundo Metzger (1999), a diversidade da paisagem tem, basicamente, por origem as discontinuidades ambientais (geomorfológicas, pedológicas etc) e o regime de perturbações, tanto natural como antrópico. Para Forman (1995), os efeitos de bordas se referem à alta densidade de populações e diversidade de espécies na porção externa ou margem de um fragmento ou outro elemento espacial.

3.1.5 Modelo Mancha – Corredor – Matriz

Para caracterizar a paisagem, Forman (1995) concebeu o modelo Mancha – Corredor – Matriz, reconhecendo a estrutura de mosaico da paisagem como sendo a manifestação de uma forma espacialmente heterogênea em diferentes escalas (desde escalas microscópicas até escalas planetárias), e estabelecendo cada um dos elementos espaciais componentes do mesmo, como sendo unidades relativamente homogêneas na paisagem.

O autor define cada um dos elementos espaciais deste modelo da seguinte forma: i) mancha é uma área homogênea não linear que difere de seus arredores, sendo que as micro-heterogeneidades internas presentes se repetem de forma similar por toda área do fragmento; ii) corredor é uma faixa de um tipo particular que se difere dos usos do solo adjacentes em ambos os lados, tendo várias funções, tais como condutividade, barreira e ligação entre habitats; e iii) matriz é um ecossistema de fundo ou tipo de uso do solo em um mosaico, caracterizado pelas manchas e corredores.

Forman (1995) relata que os elementos deste modelo (mancha – corredor – matriz) ligaram-se quando se reconheceu que o mosaico da paisagem é composto somente por estes três objetos espaciais, podendo ter origem natural ou antrópico e ser aplicado a padrão

espacial de diferentes ecossistemas, tipos de comunidades, estágios sucessionais ou tipos de usos de terra.

3.1.6 Métricas utilizadas na Ecologia da Paisagem

Segundo Turner e Gardner (1990), os índices da paisagem derivam da teoria da informação, e têm sido aplicados em muitos estudos da paisagem. Os autores relatam que a estrutura da paisagem deve ser identificada e quantificada de maneira significativa antes que as interações entre padrões da paisagem e processos ecológicos possam ser entendidos. Desta forma, os métodos quantitativos utilizados na Ecologia da Paisagem são necessários para comparar diferentes paisagens, identificar mudanças significativas através do tempo e relatar as respostas dos padrões da paisagem sobre as funções ecológicas.

Considerando o modelo exposto no item 3.1.5, Forman (1995) agrupa as métricas da paisagem em quatro categorias de medidas ou índices: as medidas de diversidade e de bordas que analisam, essencialmente, a heterogeneidade de um mosaico; e as medidas centradas nos fragmentos e nos padrões de todos os fragmentos, sendo estas dependentes da abundância dos objetos e sua localização em relação a outros objetos (Tabela 1).

Na Tabela 1, são apresentadas também as equações usadas na explicitação de algumas dessas métricas, de acordo com o agrupamento realizado por Forman (1995). A primeira coluna relaciona as categorias de medida, a segunda expressa os índices utilizados na Ecologia da Paisagem; na terceira coluna são expressas as equações pertinentes aos índices; a quarta coluna exprime as variáveis utilizadas nas equações; e a quinta apresenta as fontes originais das relações apresentadas.

Forman (1995) mostra, ainda, métricas relacionadas à forma dos fragmentos, agrupando-as em sete categorias: i) medidas baseadas nos comprimentos dos eixos ou corredores

Tabela 1: Equações para análise de um mosaico

Categoria	Índice	Equação	Variáveis	Fonte
MEDIDAS DE DIVERSIDADE	Riqueza Relativa (R)	$R = \frac{s}{s_{\max}} * 100$	s = número de tipos de habitats $s_{\max}$ = número máximo possível de tipos de habitats	Romme (1982) Turner (1999)
	Uniformidade Relativa (E)	$E = \frac{H2(j)}{H2(\max)} * 100$	H2 (j) = Índice da dominância de Simpson para paisagem. H2 (max) = máximo possível de H2 por s tipos de habitat	Romme (1982) Turner (1989)
	Diversidade (H)	$H = - \sum_{k=1}^s p_k \ln p_k$	s = número de tipos de habitat p_k = proporção de área no habitat k	O'Neill et al (1988a) Turner (1989)
	Dominância (D _o)	$Do = \ln s + \sum_{k=1}^s p_k \ln p_k$	s = número de tipos de habitat p_k = proporção de área no habitat k	O'Neill et al (1988a) Turner (1989)
MEDIDAS DE BORDAS	Número de borda (E _{i,j})	$E_{i,j} = \sum e_{i,j} * l$	$e_{i,j}$ = número de interfaces horizontal e vertical entre grid de células do tipo i e j l = comprimento da borda de uma célula	Gardner et al. (1987) Turner (1989) Turner et al. (1991)
	Dimensão Fractal (D)	$D = \frac{\log P}{\log A}$	A = área de um fragmento bi-dimensional P = perímetro de um fragmento para uma de escala particular	O'Neill et al (1988a) Milne (1988, 1991a, 1992) Turner (1989)
	Partição	$P = \frac{\sum_{i=1}^N D_i}{N} * 100$	N = número de limites entre células de grid adjacentes D _i = valor de dissimilaridade do i th células adjacentes	Pielou (1977) Romme (1982) Turner (1989)
	Isolamento de um fragmento (r)	$r_i = - \sum_{j=1}^{i=n} d_{ij}$	n = número de fragmentos vizinhos considerados d_{ij} = distância entre um fragmento i e algum fragmento j	Forman e Gordon (1986)
MEDIDAS CENTRADAS NOS FRAGMENTOS	Acessibilidade de um fragmento (a _i)	$a_i = \sum_{j=1}^{i=n} d_{ij}$	d_{ij} = distância ao longo de uma ligação (corredor) n = número de fragmentos vizinhos considerados	Lowe & Moryadas (1975) Forman e Godron (1986)
	Dispersão de fragmentos (R _c)	$R_c = 2d_c \left(\frac{\lambda}{\pi} \right)$	d_c = distância média de um fragmento ao seu vizinho mais próximo λ = Densidade média de fragmentos	Pielou (1977) Forman & Godron (1986) O'Neill et al. (1988a) Ripple et al (1991)
	Isolamento de fragmentos (D)	$D = \sum \left(\frac{2}{\sigma_x + \sigma_y} \right)^2$	x e y = coordenadas dos fragmentos localados no grid σ_x^2 e σ_y^2 = variancia sobre as coordenadas x e y, respectivamente.	Lowe & Moryadas (1975) Forman & Gordón (1986)
	Probabilidades do vizinho mais próximo (q _{i,j})	$q_{i,j} = \frac{n_{i,j}}{n_i}$	$n_{i,j}$ = número de células do grid do tipo i adjacente ao tipo j n_i = número de células do tipo i	Turner (1988, 1989) Ripple et al (1991)
MEDIDAS DE BORDAS	Contágio (C)	$C = 2s \log s + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s q_{i,j} \log q_{i,j}$	s = número de tipos de habitat $q_{i,j}$ = probabilidade do habitat i ser adjacente ao habitat j	Godron (1966) O'Neill et al. (1988a) Turner (1989) Gardner & O'Neill (1991)

Adaptado de Forman (1995)

(forma, alongamento e circularidade); ii) medidas baseadas no perímetro e na área das manchas (compacidade, desenvolvimento do contorno ou diversidade de Patton e circularidade); iii) medidas baseadas na área (circularidade e razão de circularidade); iv) medida baseada no raio (raio médio); v) medidas baseadas na área e comprimento (razão de forma e índice de elipticidade); vi) medida baseada no perímetro (fator de forma); e vii) medida baseada no perímetro e comprimento (índice de forma do grão). A Tabela 2, na qual essa segunda caracterização de métricas é apresentada, se encontra sistematizada da mesma forma que a Tabela 1, com exceção das variáveis expressas nas equações que se encontram no rodapé da tabela.

Turner (1989) destaca alguns estudos realizados com os índices da paisagem. Em um deles, foram calculados os índices de paisagem relacionados com a riqueza, uniformidade e partição (Tabela 1) para uma porção subalpina do Parque Nacional Yellowstone, os quais foram relacionados com um histórico de incêndios no local desde 1600, de modo que as tendências observadas no padrão da paisagem e no regime de perturbação sugerem que Yellowstone é um sistema não estabilizado caracterizado por mudanças cíclicas de longo prazo na composição e diversidade da paisagem. As hipóteses estabelecidas foram de que as mudanças na diversidade ocasionaram efeitos na diversidade das espécies, no habitat usado por animais selvagens, no conteúdo de nutrientes e produtividade de sistemas aquáticos.

Em uma segunda aplicação destacada por Turner (1989), os índices de diversidade, fragmentação e dimensão fractal foram aplicados a seis áreas com influência humana, relativamente pequenas, ao longo de um gradiente montanhoso em direção à planície costeira na Geórgia. Os resultados mostraram que a diversidade da paisagem aumenta na direção sul a partir das montanhas até a costa, ao passo que a diversidade das espécies de plantas diminui. Entretanto, um estudo que inclui padrões de atividades humanas revelou uma tendência geral de

Tabela 2: Equações para medidas das formas dos fragmentos

Categoria	Índice	Equação	Fonte
MEDIDAS BASEADAS NO COMPRIMENTO DOS EIXOS	Forma (F)	$F = \frac{l}{w}$	Davis (1986)
	Alongamento (E)	$E = \frac{w}{l}$	Davis (1986)
	Circularidade (C ₁)	$C_1 = \sqrt{\left(\frac{lw}{l^2}\right)}$	Davis (1986)
MEDIDAS BASEADAS NO PERÍMETRO E ÁREA	Compacidade (K ₁)	$K_1 = \frac{2\sqrt{\pi A}}{p}$	Bosch (1978) Davis (1986)
	Diversidade de Patton (D)	$D = \frac{p}{2\sqrt{\pi A}}$	Patton (1975) Taylor (1977) Cole (1983)
	Circularidade (C ₂)	$C_2 = \frac{4A}{p^2}$	Griffith (1982) Davis (1986)
	Circularidade (C ₃)	$C_3 = \sqrt{\frac{A}{A_c}}$	Unwin (1981) Davis (1986)
MEDIDAS BASEADAS NA ÁREA	Razão de circularidade (C ₄)	$C_4 = \frac{A}{A_c}$	Stoddart (1965) Unwin (1981)
MEDIDA BASEADA NOS RAIOS	Raio médio ($\bar{R}$)	$\bar{R} = \frac{\sum R_j}{n}$	Boyce & Clark (1964) Lo (1980) Stoddart (1965) Austin (1984)
MEDIDAS BASEADAS NA ÁREA E COMPRIMENTO	Razão de forma (FR)	$FR = \frac{A}{l^2}$	Horton (1945) Stoddart (1965) Austin (1984)
	Índice de elipticidade (EI)	$EI = \frac{\pi(0.5l)}{A}$	Stoddart (1965) Davis (1986)
MEDIDA BASEADA NO PERÍMETRO	Fator de forma (SF)	$SF = \frac{p_c}{p}$	Bosch (1978) Davis (1986)
MEDIDA BASEADA NO PERÍMETRO E COMPRIMENTO	Índice de forma do grão (GSI)	$GSI = \frac{p}{l}$	Davis (1986)
Legenda das Variáveis A = área do fragmento A _c = área do menor círculo englobado por um fragmento l = comprimento ao longo dos eixos n = número de lados, considerado como um polígono p = perímetro do fragmento p _c = perímetro do círculo tendo a mesma área do fragmento R _j = j th raio do fragmento, medido do centróide para a margem w = largura do fragmento perpendicular ao longo dos eixos			

Adaptado de Forman (1995)

decréscimo na diversidade da paisagem das montanhas para planície costeira, mostrando uma aparente contradição que ilustra a sensibilidade destes índices em relação ao esquema que é usado para classificar os diferentes componentes da paisagem.

Varela et al. (2002) enfocam um outro contexto ao descrever um trabalho realizado no município de Ribadeo na Galiza – Espanha, onde foram utilizados os índices diversidade de Patton, compacidade, dimensão fractal, relação perímetro-área, área interior, porcentagem de área interior, composição específica e conectividade, que serviram para apontar zonas nas quais seria mais eficaz e necessário o planejamento de ações visando um aumento da qualidade e superfície das massas de frondosas autóctones.

As medidas que explicitam espacialmente o arranjo dos padrões da paisagem podem expressar tanto as propriedades dos seus elementos componentes (manchas e corredores), como focalizar as relações entre um elemento específico e seus vizinhos, ou mesmo a configuração de toda a paisagem (mosaico). Galo (2000) relata que, devido à variedade de métricas disponíveis e da crescente utilização de métodos quantitativos de análise da paisagem, existe uma sobreposição na informação fornecida por muitas deles. Além disto, o fato de muitas dessas medidas constituírem-se em adaptações de índices desenvolvidos a partir dos objetos de estudo da Ecologia e da Biogeografia, a aplicação destas métricas deve ser feita de forma criteriosa para que sejam evitadas interpretações errôneas com base nos resultados obtidos.

3.2 Ecologia da Paisagem X Sensoriamento Remoto

Durante as últimas décadas, a tecnologia da informação teve um rápido desenvolvimento e tem como base o avanço na área da informática que disponibilizou os meios para se trabalhar com uma quantidade muito grande de dados, tanto na sua obtenção, armazenamento, representação, transmissão, quanto pesquisa e processamento.

Concomitantemente, foram também se desenvolvendo, através de esforços multidisciplinares, as formas de aquisição de produtos como fotografias aéreas, que são obtidas por aeronaves, e imagens multiespectrais, obtidas por satélites. Frohn e Menz (1996) destacam que as análises de produtos de sensoriamento remoto se tornaram muito importantes no manejo de recursos naturais desde o lançamento do Landsat-1 em 1972 pois, face às suas características multiespectral, multitemporal e diferentes resoluções espaciais, proporcionaram perspectivas ímpares para observação e medidas das características do ambiente biofísico e outras características da paisagem.

Lulla e Mausel (1983) apud Quattrochi e Pelletier (1990) apresentam três vantagens do Sensoriamento Remoto para os estudos ambientais: i) a interferência do observador é evitada devido a grande distância entre o sensor e o objeto; ii) medidas regionais e até globais podem ser realizadas repetitivamente; e iii) existe uma ampla variedade de intervalos espectrais e sensores disponíveis para proporcionar dados de Sensoriamento Remoto.

Atualmente, devido à existência de uma grande quantidade de sistemas sensores em órbita e uma “popularização” na divulgação de seus produtos, o sensoriamento remoto orbital vem sendo utilizado em vários campos da ciência como arqueologia, geologia, geografia, ecologia, etc.

Na Ecologia da Paisagem não poderia ter sido diferente. Para Jensen (2000), os princípios da Ecologia da Paisagem têm se desenvolvido pela incorporação crescente dos dados de Sensoriamento Remoto, usado para avaliar a condições e diversidade da vegetação e outras variáveis em um ecossistema, resultando disto o desenvolvimento de numerosas métricas ou indicadores da paisagem.

Bradshaw e Garman (1994) destacam que, devido ao aumento da acessibilidade às bases de dados disponíveis em Sistema de Informações Geográficas e produtos provenientes

de satélite, é possível integrar aproximações empíricas e simulações para as análises de padrões e interpretar os conhecimentos de processos que ocorrem nos ecossistemas, tanto ao escala da paisagem como para escalas regionais. Os autores relatam que a quantidade e qualidade de bancos de dados têm mudado o foco das pesquisas, passando de uma abordagem desenvolvida a partir de amostras de pequenas áreas da paisagem para áreas maiores, onde os padrões temporal e espacial são considerados explicitamente, acarretando um trabalho não somente realizado com conjuntos de dados multivariados, mas também com conjuntos de dados com variadas escalas.

McGarigal (2002) expõe que a Ecologia da Paisagem é largamente baseada na premissa que os padrões dos elementos da paisagem (fragmentos, corredores, etc) têm grande influência nos processos ecológicos, e que a habilidade em quantificar a estrutura da paisagem é essencial ao estudo da função e da mudança, acarretando um desenvolvimento de métodos que quantifiquem a estrutura da paisagem. Para isto, são requeridos métodos que comparem diferentes paisagens, identifiquem mudanças significativas através do tempo e relacionem padrões da paisagem para função ecológica (TURNER, 1989).

3.3 Extração de informações a partir de dados de Sensoriamento Remoto

Segundo Novo (1995), devido ao fato das fotografias aéreas serem os primeiros dados coletados por sistemas sensores, foram desenvolvidas técnicas específicas para a sua análise, visando a extração de informações sobre a superfície terrestre. Uma das formas de extração de informações é a inspeção visual, porém não se trata de uma atividade simples. Cabe aqui salientar que outra forma da extração das informações das fotografias aéreas é a estereoscopia que proporciona a visão tridimensional nas áreas da sobreposição das mesmas. O tratamento de dados digitais tem os mesmos objetivos da interpretação visual, ou seja, extrair informações sobre alvos da superfície, porém fazendo uso de computadores, para a análise de

dados coletados por sensores remotos, em substituição aos procedimentos de interpretação visual (MOREIRA, 2001).

Segundo o referido autor, o tratamento dos dados pode ser caracterizado em: pré-processamento, transformação de dados digitais, classificação e pós-processamento. O pré-processamento consiste na preparação dos dados digitais, empregando-se técnicas que visam melhorar a qualidade dos dados para realizar a classificação. A transformação dos dados é utilizada quando é mais conveniente trabalhar com dados espectrais transformados do que com os dados originais. A classificação de imagens de sensoriamento remoto que tem como objetivo separar os objetos em classes distintas, mas similares entre si. O pós-processamento é o produto final da classificação.

A classificação implica na implementação de um processo de decisão para que o computador possa atribuir certo conjunto de pontos da imagem (pixels) a uma determinada classe, com o objetivo de tornar o processo de mapeamento ou reconhecimento de características da superfície terrestre menos subjetivo e com maior potencial de repetição em situações subseqüentes (NOVO, 1995). Os métodos de classificação podem ser categorizados segundo o grau de participação do intérprete no processo de definição das classes em: em classificação não-supervisionada e supervisionada (CENTENO, 2003).

Segundo o autor, para a definição das classes no método de classificação não-supervisionada, o usuário faz uso de sua experiência e conhecimento. No entanto, quando há falta de conhecimento suficiente da região, existe a opção de automatizar a busca dos grupos de pixels espectralmente homogêneos e assumir que estes grupos correspondem às classes de interesse. Neste caso, o usuário não define quais são as classes de interesse, ele apenas fixa o número de classes que deseja obter e os algoritmos de processamento de imagens se encarregam de separar os pixels na imagem em grupos segundo critérios previamente definidos. Estes grupos têm com

característica um alto grau de uniformidade e ao mesmo tempo um pixel enquadrado num destes grupos se parece mais ao grupo que a qualquer outro grupo resultante do processo. Após a finalização do processo, cabe ao usuário interpretar o resultado e observar se os grupos resultantes fazem algum sentido e correspondem aos objetivos por ele propostos.

O método de classificação é dito supervisionado quando existe um conhecimento prévio das características de áreas da imagem que se deseja classificar, possibilitando uma seleção de regiões de treinamento confiável. Segundo Centeno (2003), o usuário é que define as classes e apresenta amostrar ao computador, a partir das quais ele pode calcular parâmetros estatísticos para descrever cada classe. Uma vez definida as classes e calculados seus descritores, todos os pixels na imagem são classificados, aplicando um regra de decisão geralmente baseada em conceitos estatísticos. A fase mais importante deste processo é a amostragem, pois é nela que o usuário define as classes e escolhe amostras representativas. Essa decisão depende do interesse do usuário e pode ser diferente para cada aplicação. Em certas situações algumas classes devem ser subdivididas em função de sua aparência na imagem e outras classes podem ser resumidas em apenas uma, por não serem relevantes ao estudo pretendido.

Neste trabalho foi utilizado o classificador supervisionado por regiões. Segundo Moreira (2001), este classificador utiliza, como critério de decisão, os procedimentos de análise dos *pixels* da imagem e a informação espacial que envolve a relação do *pixel* e seus vizinhos. O autor relata que a classificação por regiões é dividida nas seguintes fases: segmentação, extração de regiões, classificação e mapeamento. No processo de segmentação, a imagem é dividida em regiões espectralmente homogêneas e espacialmente conectadas, na qual, algumas dessas áreas são utilizadas como treinamento do classificador. A extração de regiões consiste em extrair informações de média, variáveis de cada região, para cada banda considerada no processo de

classificação.

O procedimento de classificação envolve duas fases distintas: o treinamento e a classificação propriamente dita (MOREIRA, 2001). De acordo com o autor, o treinamento consiste em reconhecer a assinatura espectral de cada uma das classes de uso do solo da área total imageada. Quando o usuário identifica uma área da imagem como representante de uma determinada classe, tem-se o que é chamado de área de treinamento (CROSTA, 1992). Segundo o autor, várias áreas de treinamento, para uma mesma classe, podem ser selecionadas para garantir que os *pixels* pertencentes a ela sejam realmente representativos dessa classe.

A última etapa da classificação por regiões é o mapeamento, que consiste na obtenção do mapa temático. Segundo Joly (1990) mapas temáticos são mapas especializados dedicados a aspectos particulares da superfície terrestre, para facilitar o exercício de uma atividade ou ainda recensear recursos de uma província ou de um país. O autor relata que o objetivo destes mapas é o de fornecer, com o auxílio de símbolos qualitativos e/ou quantitativos dispostos sobre uma base de referências, uma representação convencional dos fenômenos localizáveis de qualquer natureza e de suas correlações.

Segundo Valeriano et al. (1987), nos casos de levantamento da cobertura vegetal, os mapas temáticos que descrevem a distribuição espacial dos tipos de vegetação de uma área, podem ser usados, tanto integrados como individualmente, com outros tipos de levantamentos, para o planejamento e gerenciamento de recursos naturais.

3.4 Métricas da Ecologia da Paisagem usualmente derivadas de dados de Sensoriamento Remoto

A Ecologia da Paisagem está preocupada com as relações entre processos ecológicos e padrões espaciais, particularmente para grandes áreas, e a análise quantitativa destas

relações necessitam de desenvolvimento e uso de medidas quantitativas dos padrões da paisagem (MUSICK e GORVER, 1990). Esses autores relacionam uma ampla variedade de índices de padrões que são necessários para abrigar as diferenças de tipos e formatos de dados usados por ecologistas da paisagem para medir diferentes aspectos dos padrões. Para isto, os autores utilizaram métodos para quantificar aspectos da textura (heterogeneidade), em dados de imagens pictoriais e descrevem como esses métodos podem ser usados para medir alguns aspectos relacionados com os padrões da paisagem.

Jensen (2000), a partir de sugestão da Agência de Proteção Ambiental (Estados Unidos) propõe que a integridade da paisagem possa ser monitorada pela observação cuidadosa do estado dos seguintes indicadores: padrão e composição da cobertura do solo, distribuição e extensão de mata ciliar, águas superficiais, padrões de verdor, grau de restrição do ambiente biofísico e erosão potencial. Para o monitoramento destes indicadores é necessário que se obtenha medidas precisas e freqüentemente repetidas das manchas na superfície terrestre, incluindo de áreas urbanas.

Frohn e Menz (1996) utilizaram algumas métricas para investigar e avaliar a separabilidade de sete classes de cobertura do solo ao longo de um corte vertical no ecossistema montanhoso da Sierra Nevada, a partir de dados de Sensoriamento Remoto. As métricas utilizadas foram a de contágio, dimensão fractal (apresentadas na Tabela 1 e nos itens 4.2.3.2.2 e 4.2.3.3.2), fragmento por unidade de área (PPU), dada pela equação $PPU = m / n * \lambda$, onde m é o número de fragmentos, n é o número de pixels e λ é uma constante de escala e a métrica do pixel quadrado (SqP), dada pela equação $SqP = 1 - (4 * A^{1/2} / P)$, onde A é área e P é o perímetro. A métrica PPU é utilizada como uma medida para a quantificação da fragmentação da paisagem, ou seja, quando o valor da medida PPU for pequeno, a paisagem não é fragmentada, e a medida em

seu valor for aumentando indica uma maior fragmentação na paisagem. Já a medida SqP foi utilizada para a quantificação da complexidade dos fragmentos e efeitos de borda, considerando a relação entre perímetro e área para estruturas de dados matriciais em Sensoriamento Remoto e normalizando a razão entre o perímetro e área para valores entre 0 (para quadrado) e 1 (a máxima variação para um quadrado perfeito). Ambas as medidas, PPU e SqP, são capazes de quantificar o grau da fragmentação e complexidade da forma, respectivamente, na paisagem.

Os autores observaram que as métricas SqP e PPU puderam ser utilizadas para distinguir as categorias de usos de solo, enquanto que medidas tradicionais como Contágio e Dimensão Fractal foram inadequadas. Outra vantagem destas métricas em relação a estas medidas tradicionais é que elas se mostraram menos sensíveis com relação às mudanças de resolução espacial, enquanto que o Contágio e a Dimensão Fractal se mostraram muito sensíveis a estas mudanças, produzindo, desta forma, resultados imprevisíveis.

Para a separabilidade entre classes, como no caso descrito por Frohn e Menz (1996), a Dimensão Fractal e o Contágio apresentaram restrições quanto ao uso. Porém, em outros estudos, seu uso se mostrou bem sucedido. Turner (1989) relata que o uso de três índices da paisagem complementares (dominância, contágio e dimensão fractal) aplicados a uma região no oeste do Estados Unidos distinguiu os tipos de paisagem mais representativos tais como: urbano costeiro, florestas de montanhas e áreas agrícolas. A autora descreve que estes três índices também parecem fornecer informação adicional para diferentes escalas, com a dimensão fractal e a dominância retratando áreas amplas e o contágio refletindo os atributos de áreas com menores dimensões. Acrescenta ainda que essa sensibilidade à escala pode ser útil na seleção de medidas de padrões que podem ser monitoradas facilmente no tempo, através do uso de produtos de sensoriamento remoto, e que podem estar relacionadas a diferentes processos.

Milne (1990), apresenta um trabalho no qual explicita as definições, utilidades e princípios da dimensão fractal, ilustrando uma ampla variedade de situações nas quais a dimensão fractal pode ser aplicada e promove um entendimento intuitivo da origem dos padrões fractais e as equações utilizadas para descrevê-los. O autor relata que a geometria fractal pode representar muitos tipos de padrões, caracterizados em termos de densidade, diversidade, redes dendríticas de rios, terrenos montanhosos e tamanho de distribuições de ilhas, e acrescenta que a geometria fractal é uma medida que vem sendo continuamente desenvolvida para o cálculo da heterogeneidade da paisagem, e sua aplicação em muitos princípios básicos pode revelar novos aspectos dos padrões e a dinâmica de organismos vivendo nas paisagens fractais.

O autor ainda expõe que a complexidade dos padrões naturais originada, na maioria das vezes, pelas interações entre diferentes respostas de organismos atuando em várias escalas e os padrões heterogêneos da abundância de recursos ou distribuição espacial ou dos fragmentos de habitats, requerem quantificações que permitam aumentar a habilidade de ecologistas em fazer predições. A rica coleção de modelos proporcionada pela geometria fractal permite quantificar padrões em distintas escalas ou resoluções, conferindo oportunidades de harmonia para uma análise espacial onde se realçam as estruturas da paisagem, tal como ecotonos⁷ (que existe para muitas escala simultaneamente). Em resumo, segundo o autor, os modelos fractais da estrutura da paisagem proporcionam os elementos para quantificar e prever as dinâmicas nas várias escalas dos processos ecológicos.

O'Neill et al (1997) *apud* Jensen (2000), sugerem que as condições de um ecossistema poderiam ser monitoradas através do tempo, através da utilização das métricas dominância, contágio e dimensão fractal. Para os autores, esses três índices podem capturar

⁷ Ecotono: área de transição entre dois (ou mais) habitats ou ecossistemas distintos, que pode ter características de ambos ou próprias (ART, 1998).

aspectos fundamentais dos padrões da paisagem que influenciam os processos ecológicos, mudanças significativas nesses índices, para um dado ecossistema, poderiam indicar que talvez processos nocivos estão ocorrendo no ambiente.

A paisagem apresenta propriedades multidimensional, multitemporal e multiescalar, e a soma das dimensões horizontal, vertical e multiespectral se interagem de forma simultânea, de modo que essa integração dos três eixos produza uma quantidade muito maior de informações que se considerado um domínio individualmente (QUATTROCHI e PELLETIER, 1990). Os autores relatam, porém, que as aplicações das técnicas de sensoriamento remoto não podem ser feitas sem as devidas considerações dos parâmetros a serem medidos, da escala da medida para análise, da ordem de tempo para observação e de uma consciência ou entendimento dos processos que afetam os fenômenos. Nesta linha, a Tabela 3 apresenta um resumo das inter-relações entre Sensoriamento Remoto e Ecologia da Paisagem.

Enfim, o sensoriamento remoto constitui uma importante ferramenta de observação e medida para análise das relações ecológicas da paisagem, oferecendo a possibilidade de coletar dados das características e interações da paisagem sem perturbações dos ambientes adjacentes, proporcionando uma visão dos componentes do ambiente físico e cobertura do solo que anteriormente era impraticável (QUATTROCHI e PELLETIER, 1990).

Tabela 3: Resumo das inter-relações entre Sensoriamento Remoto e Ecologia da Paisagem.

Características Ecológicas da Paisagem
Estudo do padrão, estrutura e morfologia do fenômeno: Os atributos de medidas podem geralmente ser classificados em:
Propriedades físicas
Propriedades Espaciais (ex: forma, área, padrão, arranjo, e textura)
Propriedades da escala (micro, meso, regional, ou global)
Atributos de Sensoriamento Remoto
Medidas das propriedades físicas: Um objeto é a assinatura ou resposta espectral que pode proporcionar dados sobre:
Cor espectral ou aparência espectral
Temperatura
Conteúdo de umidade
Composição orgânica e inorgânica
Medidas de propriedades espaciais:
Proporciona informações sobre geometria e posição (ex: forma, área, padrão, arranjo, e textura)
Proporciona informações de ponto (por pixel) e de área (integração de propriedades espaciais)
Contribui para melhor elaboração de mapas temáticos para o uso em análise espacial
Proporciona análises de múltiplas escalas (micro, meso, regional, ou global)
Medidas de propriedades temporais:
Capacidade de análises multitemporal
Proporciona capacidade para análises da mudança da paisagem através do tempo

Fonte: Quattrochi e Pelletier (1990, p. 60).

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1 Material e Equipamento

4.1.1 Fotografias aéreas e imagem de satélite

Para a realização do trabalho foram utilizados:

- Fotografias aéreas pancromáticas provenientes de levantamento realizado pela AEROSUL em 1995, cobrindo a área urbana de Maringá, na escala 1:8.000, totalizando 103 fotos.
- Imagem de satélite Landsat 7 ETM+, bandas 3, 4 e 5, órbita ponto 223/076, obtida em 28/06/2002.
- Dados descritos do município e cidade de Maringá.

4.1.2 Softwares e equipamentos

Os softwares utilizados foram:

- Aplicativo SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas), versão 3.6.02., banco de dados geográfico de segunda geração, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para ambientes UNIX e Windows. Esse aplicativo tem se mostrado uma opção atrativa na área de geoprocessamento, pois é um software de domínio público, podendo ser adquirido pela Internet (<http://www.dpi.inpe.br/spring>) nos idiomas inglês, português e espanhol, bastando se cadastrar na própria "home-page".
- aplicativo Fragstats, na versão 3.3, é um programa de análise de padrões espaciais para mapas temáticos. O aplicativo foi desenvolvido para quantificar uma ampla variedade de métricas da paisagem. É encargo do usuário: a) estabelecer uma base segura para a

escolha da paisagem; b) seleção da melhor escala de análise da paisagem (incluindo o grão e extensão da paisagem); e c) determinar quais fragmentos irão ser classificados e retratados. O Fragstats é um aplicativo de domínio público e pode ser encontrado na página (<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats>) da Universidade Estadual de Oregon.

Os equipamentos utilizados foram:

- Computador Pentium II, 950MHz, 128Mbytes de RAM, com 20GB de capacidade de armazenamento de informação;
- Computador K7, 1300MHz, 256Mbytes de RAM, com 40GB de capacidade de armazenamento de informação;
- Scanner HP 3600;
- Receptor GPS 12 XL GARMIN.

4.2. Desenvolvimento

Como o objetivo do trabalho é a caracterização da paisagem do município de Maringá, com ênfase nos fragmentos florestais remanescentes e áreas verdes da cidade, foram considerados dois ambientes de análise para o desenvolvimento do trabalho: o rural e o urbano, uma vez que tais ambientes precisam ser tratados de forma diferenciada face detalhamento necessário à extração da informação requerida.

A especificação de dois ambientes de análise (urbano e o rural) foi necessário devido ao diferente grau de fragmentação existente em cada um. A tônica da paisagem urbana é dada pela diversidade de materiais que a compõem, havendo a dificuldade na detecção de manchas de menor expressão, enquanto que o ambiente rural é mais homogêneo. Por esta razão,

foram utilizados produtos com melhor resolução (fotografias aéreas com resolução de 5 metros) para o ambiente urbano enquanto que para o ambiente rural foi usado um produto com menor resolução (cena do Landsat 7 ETM+ com 30 metros de resolução).

4.2.1 Ambientes de Análise

4.2.1.1 Ambiente Urbano

A análise realizada da área urbana foi executada utilizando-se fotografias aéreas, na escala de 1:8000. Um detalhamento maior é exigido para a análise de fragmentos urbanos, pois a disputa de espaços produz fragmentos de dimensões reduzidas que devem ser estudados para a compreensão da dinâmica da paisagem urbana.

As fotografias aéreas, provenientes do vôo realizado pela AEROSUL em 1995, foram obtidas pela Prefeitura Municipal de Maringá. O tratamento destas fotografias foi realizado de acordo com as seguintes etapas: conversão para o formato digital, coleta dos pontos de controle, georreferenciamento no SPRING e extração dos elementos da paisagem.

4.1.1.1.1 Conversão para o formato digital

Um conjunto de 103 fotografias aéreas foi convertido para o formato digital, extensão TIFF, usando uma resolução de 300 dpi, através do Scanner HP 3600.

4.1.1.1.2 Coleta dos pontos de controle

Os pontos de controle foram usados para georreferenciar e realizar o mosaico das fotografias aéreas. As coordenadas desses pontos no terreno foram medidas através do receptor GPS 12 XL GARMIN, adotando-se o sistema de projeção UTM, datum SAD69. Foram

medidos cerca de 300 pontos de controle em campo. Estes pontos de controle foram selecionados de acordo com a área de sobreposição de fotografias adjacentes.

4.1.1.1.3 Georreferenciamento e mosaico no SPRING

O georreferenciamento das fotos aéreas foi feito através da associação de pontos de controle correspondentes, medidos em campo e nas fotografias aéreas. Porém, para a realização do georreferenciamento no SPRING, as fotografias devem ser convertidas para o formato GRIB, através do Impima (um dos módulos que compõe o sistema SPRING). Para executar o georreferenciamento propriamente dito, deve-se exibir a tela 5, onde foi desenhada a imagem a ser georreferenciada. Após este procedimento digita-se as coordenadas dos pontos de controle e vincula esta coordenada ao ponto correspondente na fotografia aérea.

Previamente à realização do mosaico no SPRING é necessário que se tenha criado um Banco de Dados e um Projeto, além da definição do Modelo de Dados caracterizando os dados utilizados. Criar um Banco de Dados implica na definição de um diretório onde são armazenados os dados, e também definir qual gerenciador de banco de dados é utilizado para armazenar as informações tabulares. A especificação do Projeto implica em estabelecer o sistema projeção, *datum* e coordenadas que definem a área de trabalho, no contexto do banco de dados ativo (SPRING, 2002).

Foi criado um único Banco de Dados para gerenciar dois Projetos, um referente à área urbana e outro à área rural, tendo sido denominado Maringá, já que se trata do município em estudo. No caso específico da área urbana (Projeto “Área Urbana”), o sistema de projeção adotado foi o UTM, *datum* SAD 69, retângulo envolvente definido pelas coordenadas planas: 394050 a 411738 m E e 7402374 a 7416445 m N. Definido o modelo de dados para o formato

imagem para receber os dados, as fotografias foram sendo georreferenciadas individualmente e importadas para o plano de informação específico.

4.1.1.1.4 Extração dos elementos da paisagem

Concluído o mosaico das fotos aéreas foi realizada uma fase de processamento desses dados para a extração e mapeamento da cobertura do solo urbano. Primeiramente foi realizada a segmentação do mosaico pelo método crescimento de regiões, considerando a área de 50 pixels (250 m²) com similaridade 10. Estes parâmetros foram escolhidos devido a melhor resposta em relação aos outros testados como na delimitação dos objetos conhecidos. Por exemplo: foram considerados fragmentos de matas para esta segmentação; a segmentação que melhor resultado apresentou em relação ao contorno destes fragmentos foi escolhida.

Os elementos da paisagem urbana definidos como classes de interesse para a classificação supervisionada realizada com base no atributo textura foram: áreas com “alta densidade de construção” e “média densidade de construção”, “área sem construção”, “corpos d’água” e “mata, reflorestamento e arborização urbana”.

Após, passou-se à fase de treinamento, que consiste em obter as amostras dos elementos da paisagem para o processo de classificação da imagem. A obtenção de cada elemento amostral foi realizada extraindo-se a região limitada pelo contorno de um dado polígono formado na segmentação.

Os elementos amostrais extraídos para as áreas com “média densidade de construção” e com “alta densidade construção” incluíram telhados e sombras das edificações. Para a “área sem construção”, as amostras selecionadas foram solo exposto e locais com pastagens. Os parques com arborização foram utilizados como amostras para área de “mata,

reflorestamento e arborização urbana”. E finalmente, para os “corpos d’água”, foram extraídos duas lagoas, as dos parques do Ingá e Alfredo Nyfeller.

Posteriormente, foi realizada a classificação da imagem com base no atributo textura, através do classificador Cla Tex disponível no SPRING. Foram feitos testes para a classificação utilizando várias medidas. Nas medidas gerais foram utilizados a média, variância e desvio padrão. Nas medidas de Haralick foram utilizados entropia, contraste, homogeneidade e correlação.

Apesar das várias tentativas de combinações destas medidas na classificação pelo atributo textura, os resultados não foram satisfatórios, pois ocorreram várias confusões em relação à atribuição das classes. Devido a este problema, a classificação foi editada mapeando visualmente. Para a realização desta classificação visual, a segmentação obtida foi transportada do modelo imagem para o modelo temático. Para o mapeamento foi utilizada a edição vetorial – classe – do modelo temático. O produto resultante deste mapeamento é vetorial, sendo necessário à transformação para mapa temático matricial, que é armazenado no formato matricial. Esta transformação é necessária pelo fato do Fragstats quantificar os índices da paisagem, realizando operações sobre arquivos no formato matricial. Esse aplicativo foi, então, utilizado para a extração dos índices da paisagem através da análise de padrões espaciais a partir dos mapas temáticos. Neste aplicativo é necessário definir parâmetros, conforme consta na Figura 9.

Definidos estes parâmetros, foram aplicados os seguintes índices: a) **Índice de Manchas**: Número de Manchas, Índice da Maior Mancha, Densidade das Manchas e Total de Margens; b) **Complexidade das Manchas**: Índice da Forma das Manchas e Dimensão Fractal; c) **Organização Espacial**: Índice Médio de Proximidade e Contágio. Estes índices serviram de subsídio para análise da distribuição espacial e configuração das áreas verdes da cidade e, conseqüentemente da qualidade ambiental de Maringá.

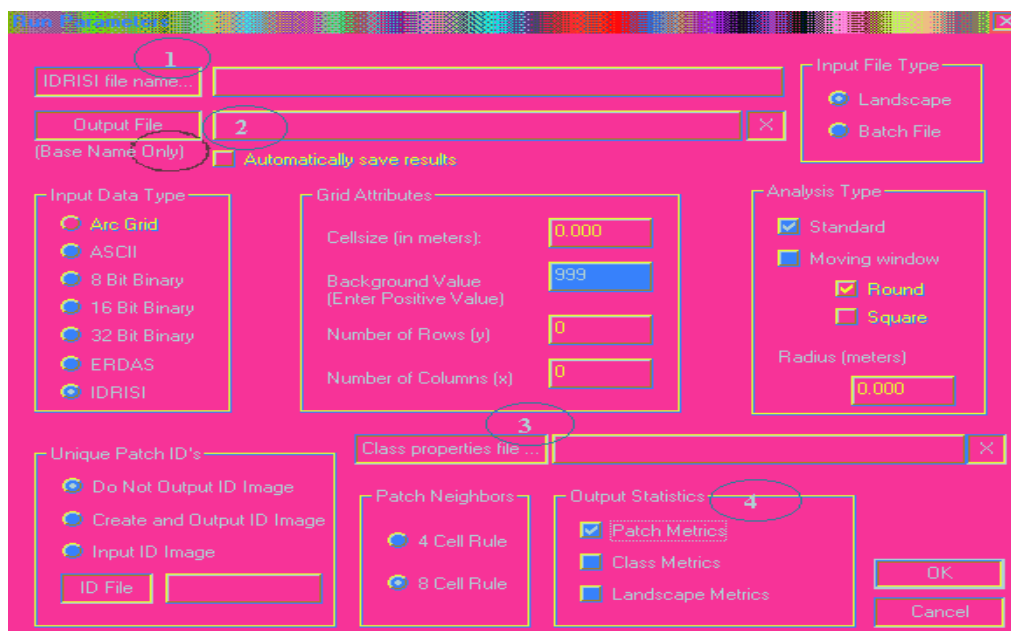


Figura 9: Parâmetros necessários no aplicativo Fragstats: 1) Nome do arquivo Idrisi; 2) Nome do arquivo de saída; 3) Criação do arquivo de propriedades das classes, este arquivo contém o nome das classes e os parâmetros utilizados pelo aplicativo; 4) Estatísticas de saída.

Definidos estes parâmetros, foram aplicados os seguintes índices: a) **Índice de Manchas**: Número de Manchas, Índice da Maior Mancha, Densidade das Manchas e Total de Margens; b) **Complexidade das Manchas**: Índice da Forma das Manchas e Dimensão Fractal; c) **Organização Espacial**: Índice Médio de Proximidade e Contágio. Estes índices serviram de subsídio para análise da distribuição espacial e configuração das áreas verdes da cidade e, conseqüentemente da qualidade ambiental de Maringá.

4.2.1.2 Ambiente Rural

Para a análise do ambiente rural foi utilizada uma cena Landsat 7 ETM+, bandas 3, 4, 5, órbita ponto 223/076, obtida em 28/06/2002, uma vez que o detalhamento exigido para a extração das classes é menor.

O Banco de Dados foi o mesmo utilizado para as fotografias aéreas. Já o projeto diferenciou-se pela área de abrangência em relação à área urbana. O título para o projeto foi

“Área Rural”. Assim, esse segundo projeto ficou especificado pelo sistema de projeção UTM, Datum SAD69 e retângulo envolvente definido pelas coordenadas planas: 394050 a 411738 m E e 7394000 a 7430000 m N. Para o georreferenciamento da imagem foi utilizada a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum SAD-69.

A fase de processamento foi iniciada com a segmentação da imagem pelo método crescimento de regiões, considerando a área de 12 (360 m²) pixels com similaridade 15. Para seleção destes parâmetros, foi utilizado o mesmo critério adotado para as fotografias aéreas na área rural. Após, passou-se à fase de treinamento, que consiste em obter as amostras para o processo de classificação da imagem. A obtenção de cada elemento amostral foi realizada extraindo-se a região limitada pelo contorno de cada polígono formado na segmentação. Os elementos amostrais extraídos se referiram às áreas de “cultivo agrícola”, “vegetação rasteira e solo exposto” e “matas”, as quais definem as classes de interesse na área rural. Na classificação da imagem multiespectral foi utilizada uma abordagem supervisionada, através do classificador Bhattacharya com 99,9% de limiar de aceitação, disponível no aplicativo SPRING para a separação dos seguintes tipos de cobertura da terra: “cultivo agrícola”, “vegetação arbórea e reflorestamento” e “vegetação rasteira e solo exposto”.

Feito o mapeamento, a imagem obtida foi exportada no formato TIFF, convertida no IDRISI, e processada no aplicativo Fragstats (Figura 9). Neste aplicativo foram calculadas as métricas que serviram como subsídio para análise da distribuição espacial e configuração das matas no município.

4.2.2 Métricas utilizadas

A seleção das métricas foi pautada nos resultados de alguns índices encontrados em trabalhos que quantificaram a paisagem. Alguns destes trabalhos foram explicitados no item 3.1.6 (Métricas utilizadas na Ecologia da Paisagem).

Para o cálculo das métricas foi utilizado o aplicativo Fragstats. As classes mapeadas para a área urbana foram: áreas com “alta densidade de construção”, áreas com “média densidade de construção”, “áreas sem construção”, “mata, reflorestamento e arborização urbana” e “corpos d’água”. Já para a área rural foram: “cultivo agrícola”, “vegetação rasteira e solo exposto” e “vegetação arbórea e reflorestamento”.

Para quantificar a estrutura da paisagem, foram considerados três os aspectos propostos por Casimiro (2003), que relaciona os índices quantitativos da paisagem com índices de fragmentos, complexidade e organização espacial. Não se pode deixar passar em branco a questão da resolução (grão), uma vez que, para a área rural foi utilizada a imagem de satélite Landsat com resolução de 30 metros e para a área urbana um mosaico com resolução de 5 metros.

A descrição dos índices utilizados é apresentada a seguir.

4.2.2.1 Índice de Manchas

4.2.2.1.1 Número de manchas – PN (*Patch Number*)

O número de fragmentos de uma determinada classe é uma medida do grau de subdivisão ou fragmentação da mesma. Embora o número de fragmentos em um classe possa ser fundamentalmente importante para o número de processos ecológicos, freqüentemente somente a interpretação deste índice pode ser insuficiente devido à ausência de informações sobre área, distribuição ou densidade de fragmentos. É claro que se o total da área da paisagem e da área

forem iguais, o número de fragmentos conduz à mesma informação como densidade do fragmento ou tamanho médio do fragmento e pode ser um índice útil de interpretação.

A representação matemática para o número de fragmentos é:

$$NP = n_i$$

onde n_i é o número total de fragmentos na paisagem de uma determinada classe i .

4.2.2.1.2 Índice da maior mancha – LPI (*Largest Patch Index*)

Este índice representa a percentagem que a maior mancha de cada classe ocupa na paisagem, sendo este uma simples medida de dominância. Sua representação matemática é:

$$LPI = \frac{\max_{j=1}^a(a_{ij})}{A}(100)$$

onde a_{ij} é a área do fragmento ij em m^2 e A é a área total da paisagem em m^2 .

4.2.2.1.3 Densidade das Manchas – PD (*Patch density*)

A densidade de manchas é um índice limitado, mas de fundamental importância para aspectos dos padrões da paisagem. Este índice tem, praticamente, a mesma utilidade do número de manchas, porém ele expressa o número de fragmentos por unidade de área, o que facilita a comparação de paisagens com tamanhos variados.

A densidade das manchas representa o número de manchas por unidade de superfície. Este índice revela-se como um bom indicador de fragmentação da paisagem. Sua fórmula de cálculo é a seguinte:

$$PD = \frac{n_i}{A}(10.000)(100)$$

onde Densidade de fragmentos (PD) é igual ao número total de manchas na paisagem (n_i) dividido pela área total da paisagem (A), multiplicado por 10.000 e por 100 para converter para centenas de hectares.

4.2.2.1.4 Total de Margens – TE (*Total Edge*)

Este índice representa o comprimento total das margens das manchas. Desta forma, quanto maior o número de mancha de uma determinada classe, maior será o comprimento de margem. Sendo assim, é natural entender que quanto maior este valor, maior é o grau de heterogeneidade e fragmentação da paisagem. Sua representação matemática é:

$$TE = \sum_{k=1}^m e_{ik}$$

onde total de margens (TE) é a soma das extensões dos seguimentos de margens para cada tipo de classe (e_{ij}).

4.2.2.2 Complexidade

4.2.2.2.1 Índice de forma das manchas – SHAPE (*Shape Index*)

Este índice representa a relação entre o perímetro e área dos fragmentos, medindo a complexidade da forma das manchas em relação a uma forma básica quadrada, que representa um mínimo de complexidade, sendo que quanto maior for o valor, maior é a complexidade dos fragmentos na paisagem. As formas mais retilíneas representam as manchas com forte ação humana. Sua representação matemática é:

$$SHAPE = \frac{0,25E}{\sqrt{A}}$$

onde o índice de forma da mancha (SHAPE) é igual à soma do limite da paisagem e todos os segmentos de margem na paisagem (E), dividido pela raiz quadrada da área total da paisagem (A).

4.2.2.2.2 Dimensão fractal – FRAC (*Dimensão Fractal*)

A dimensão fractal é um índice muito interessante porque ele reflete a complexidade da forma para variadas escalas. Este índice supera as limitações encontradas em outros índices que se utilizam da razão entre perímetro e área.

O valor da dimensão fractal varia de 1 a 2. Quando o valor se aproxima de 1, o índice está indicando uma forma com perímetros muito simples, tal como quadrados, círculos, retângulos. Conforme os polígonos vão se tornando mais complexos, o perímetro torna-se cada vez maior, ocupando cada vez mais área, e o valor tende a 2. Para a avaliação da dimensão fractal tem que haver mais que 10 fragmentos com dimensões diferentes na paisagem. Sua expressão matemática é:

$$FRAC = \frac{2 \ln(0,25 p_{ij})}{\ln a_{ij}}$$

onde a dimensão fractal (FRAC) é o logaritmo do perímetro de fragmento (p_{ij}) em metros dividido pelo logaritmo da área do fragmento (a_{ij}) em m^2 .

4.2.2.3 Organização Espacial

4.2.2.3.1 Índice Médio de Proximidade – PROX_MN (*Proximity Index Distribution*)

Este é o índice que quantifica o contexto espacial de uma mancha em relação aos seus vizinhos, diferenciando distribuições dispersas de pequenas manchas, das configurações onde o habitat forma um agrupamento complexo de manchas de maiores dimensões, medindo

tanto o grau de isolamento quanto o grau de fragmentação da mancha. Quanto menor o isolamento das manchas em relação às manchas da mesma classe e quanto menor é a fragmentação da distribuição das várias classes de manchas, maior é o valor do índice. Sua representação matemática é:

$$PROX_MN = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2}}{n}$$

onde o índice médio de proximidade (PROX_MN) é o somatório da área das manchas (a_{ijs}) em m^2 , dividida pelo quadrado da distância margem a margem entre a mancha (h_{ijs}) em m.

4.2.2.3.2 Contágio – CONTAG (*Contagion*)

O contágio mede o grau de agregação ou dispersão dos elementos da paisagem: valores mais altos resultam de paisagens com poucas manchas, de grande dimensão e próximas entre si, enquanto valores mais baixos implicam geralmente em paisagens com muitas unidades dispersas. O contágio também mede a dispersão porque os *pixels*, não as manchas, são avaliadas quanto à sua probabilidade de adjacência com *pixels* de outras classes. Quando há grandes manchas uniformes (com muitos *pixels* da mesma classe), o valor do índice é alto. Sua representação matemática é:

$$CONTAG = 100 \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[(P_i) \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{l=1}^m g_{il}} \right) X \left[Ln(P_i) \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right] \right]}{2Ln(m)}$$

onde P_i é a proporção da paisagem ocupada pelo tipo do fragmento (classe) i ; g_{ik} é o número de adjacências (ligação) entre os pixels dos tipos de fragmentos (classes) i e k ; e m é o número de tipos de fragmentos (classes) presentes na paisagem.

Este índice é aplicado na escala da paisagem, considerando somente os pixels da imagem. Ele quantifica a probabilidade de adjacência de pixels da mesma classe, consistindo na soma, para todas as classes, do produto de duas probabilidades: a probabilidade de uma célula qualquer pertencer a uma dada classe (i), estimada a partir da abundância desta classe (i) e a probabilidade condicional de que uma célula, sendo da determinada classe (i), tenha na sua vizinhança células da classe (k), que é estimada pela abundância proporcional das adjacências de uma classe (i) a outra (k), sendo que o produto destas duas probabilidades corresponde à probabilidade de duas quaisquer células corresponderem às classes (i) e (k).

O contágio mede a ligação dos tipos de fragmentos de mesma classe. Abaixo do limiar de percolação, a ligação do fragmento é sensível à agregação da classe enfocada. A ligação aumenta quando os tipos de manchas se tornam mais agrupados ou agregados em sua distribuição. Acima do limiar de percolação, a ligação dos fragmentos não parece ser sensível à sua configuração.

5. RESULTADOS

5.1 Ambiente Urbano

5.1.1 Mosaico das fotografias aéreas da área urbana

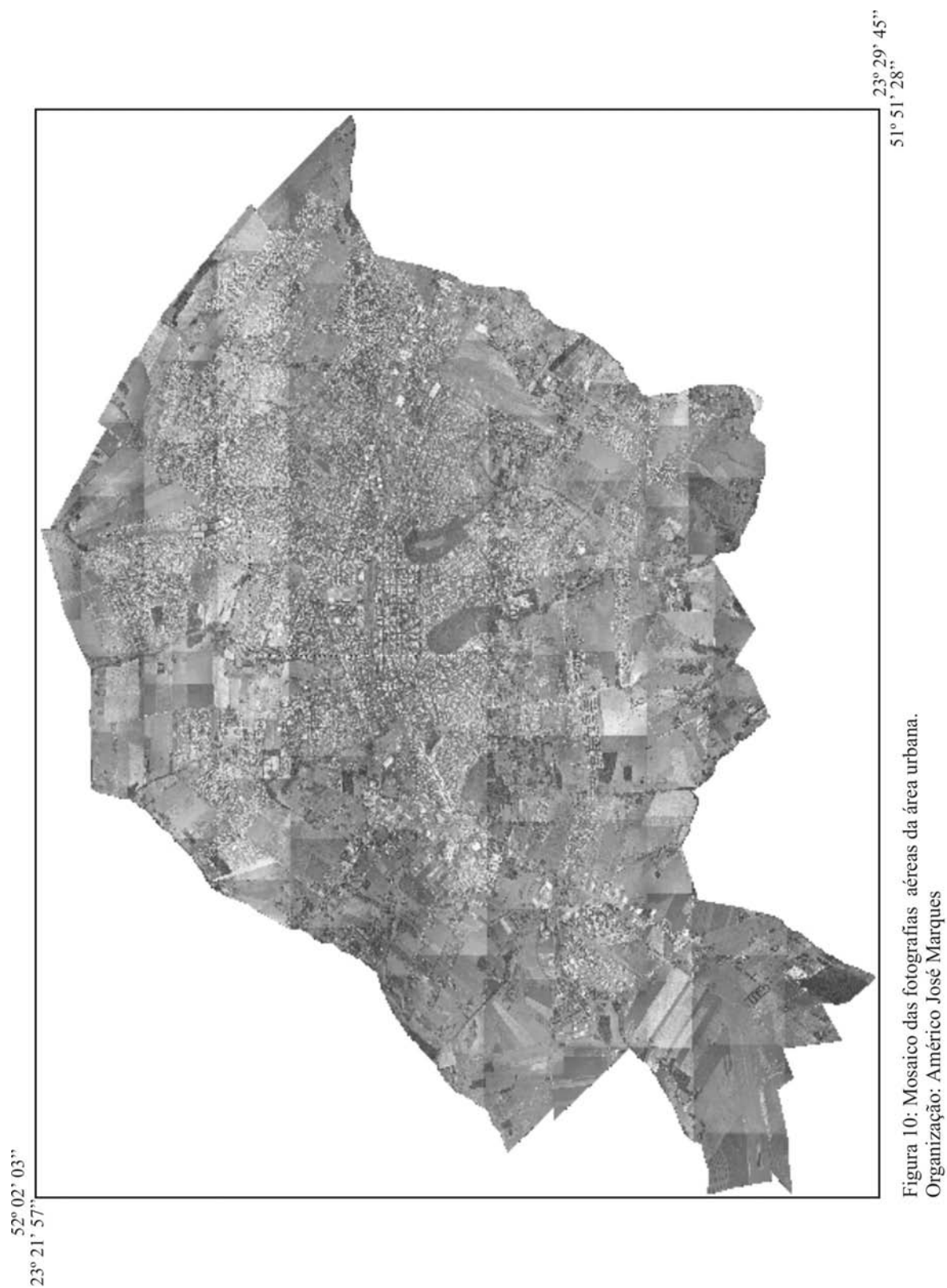
Após a conversão das fotografias aéreas para o formato digital e coleta dos pontos de controle, iniciou-se a fase de transformação do formato TIFF para o GRIB, necessário para o georreferenciamento das fotografias. O mosaico obtido a partir das 103 fotografias aéreas é mostrado na Figura 10.

Conforme é mostrado no mosaico, existem diferenças radiométricas entre as fotografias provocando, na área de junção das mesmas, diferenças de tonalidade para um mesmo objeto da superfície terrestre. Como não havia tempo hábil para uma correção radiométrica que atenuaria as diferenças de tonalidade, esta não foi efetuada. Em função dessas variações de tonalidade das diferentes fotos, a classificação pelo atributo textura não obteve êxito.

5.1.2 Segmentação do mosaico

A segmentação do mosaico foi realizada pelo método de crescimento de regiões, considerando uma área de 50 pixels, o equivalente a uma área de 250 m², com similaridade 10 e a imagem segmentada é mostrada na Figura 11. Cabe salientar que as diferenças radiométricas existentes nas fotografias causam divisões de regiões que não são reais, o que também condiz com a situação já exposta anteriormente (item 5.1.1).

Percebe-se que na área central da imagem segmentada há uma maior concentração de pequenos polígonos, indicando uma área com intensa urbanização, ao contrário das áreas marginais, que apresentam uma menor concentração de polígonos maiores,



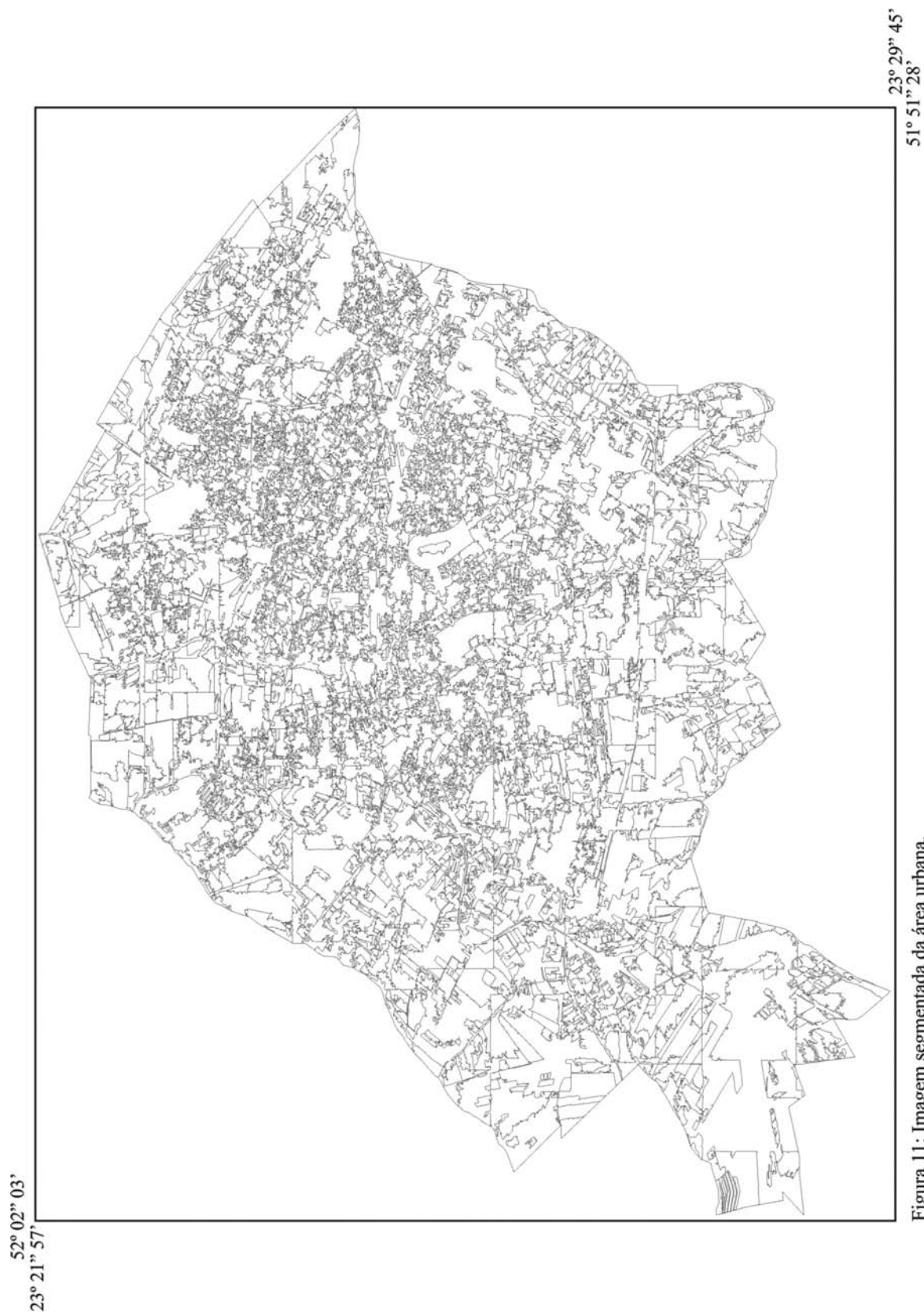


Figura 11: Imagem segmentada da área urbana.
Organização: Américo José Marques

representando áreas com pouca ou nenhuma urbanização. Esta intensa urbanização fica melhor visualizada na Figura 12, que mostra a área central urbana extraída da imagem segmentada, compreendendo os três principais parques da cidade: Horto Florestal, Bosque 2 e o Parque do Ingá.

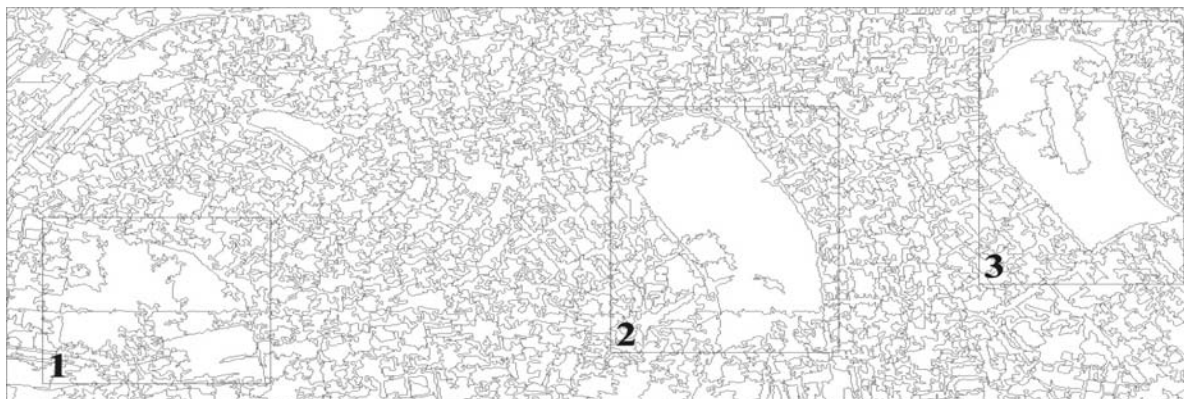


Figura 12: Detalhe da imagem segmentada indicando três áreas de fragmentos de mata: 1) Horto Florestal; 2) Bosque 2; e 3) Parque do Ingá.
Organização: Américo José Marques

5.1.3 Mapa temático do uso do solo urbano

As classes temáticas mapeadas para a área urbana foram: área com “alta densidade de construção”, área com “média densidade de construção”, “área sem construção”, “mata, reflorestamento e arborização urbana” e “corpos d’água” (Figura 13).

A área com “alta densidade de construção” se refere às áreas que praticamente fizeram parte do projeto inicial ou que foram incorporadas até 1958 a este projeto, além de algumas outras mais recentes que tiveram um crescimento mais rápido. São áreas que estão quase completamente ocupadas, apresentando poucos vazios. Das áreas com “média densidade de construção”, fazem parte os loteamentos mais recentes que, em parte ou quase totalmente, ainda se encontram com espaços desocupados. Estão localizados tanto na continuidade da área com “alta densidade de construção”, quanto na forma de alguns núcleos isolados, dispersos pela área ainda sem construção.

“Área sem construção” se refere aos espaços que ainda se encontram vazios, sem qualquer tipo de edificação. Esta área ocupa praticamente todo espaço externo ao limite construído (áreas com “média densidade de construção” e com “alta densidade de construção”).

A classe que inclui áreas de “mata, reflorestamento e arborização urbana” se refere a toda forma de vegetação arbórea, tanto na arborização de praças, ruas e avenidas, como as existentes nos parques onde se foi preservada com maior intensidade. Estas áreas estão dispersas por praticamente toda a área urbana, porém as de maior destaque se encontram na área central da cidade. Os corpos d’água estão representados aqui por dois lagos existentes na área urbana, sendo o lago Morangueiro e o lago do Parque do Ingá (Figura 14). Cabe aqui salientar não houve cursos d’água representado nesta classe devido à existência das matas ciliares na maior parte dos mesmos.

As tentativas para a extração das feições executada através da técnica de classificação por textura não obtiveram êxito devido à grande confusão entre os elementos da paisagem decorrentes das diferenças radiométricas existentes nas fotografias. O resultado do mapeamento, realizado mediante a associação das regiões definidas na segmentação às suas respectivas classes, é apresentado na Figura 13, enquanto que na Figura 14 é mostrada uma parte da imagem classificada, destacando os principais parques da cidade.

Com relação ainda à figura 14, nota-se uma extensa área sem construção (4). Esta área, por muito tempo, foi um ramal e pátio de manobras ferroviárias. Atualmente, o pátio de manobra foi transladado para outro local e a linha férrea rebaixada através da construção de um túnel. A área foi destinada a construção do novo centro para o município.

Como a ênfase deste trabalho está pautada na classe “mata, reflorestamento e arborização de ruas” é apresentada na Figura 15 a representação espacial apenas desse elemento da paisagem urbana. Percebe-se que as matas ciliares, representadas por praticamente todos os

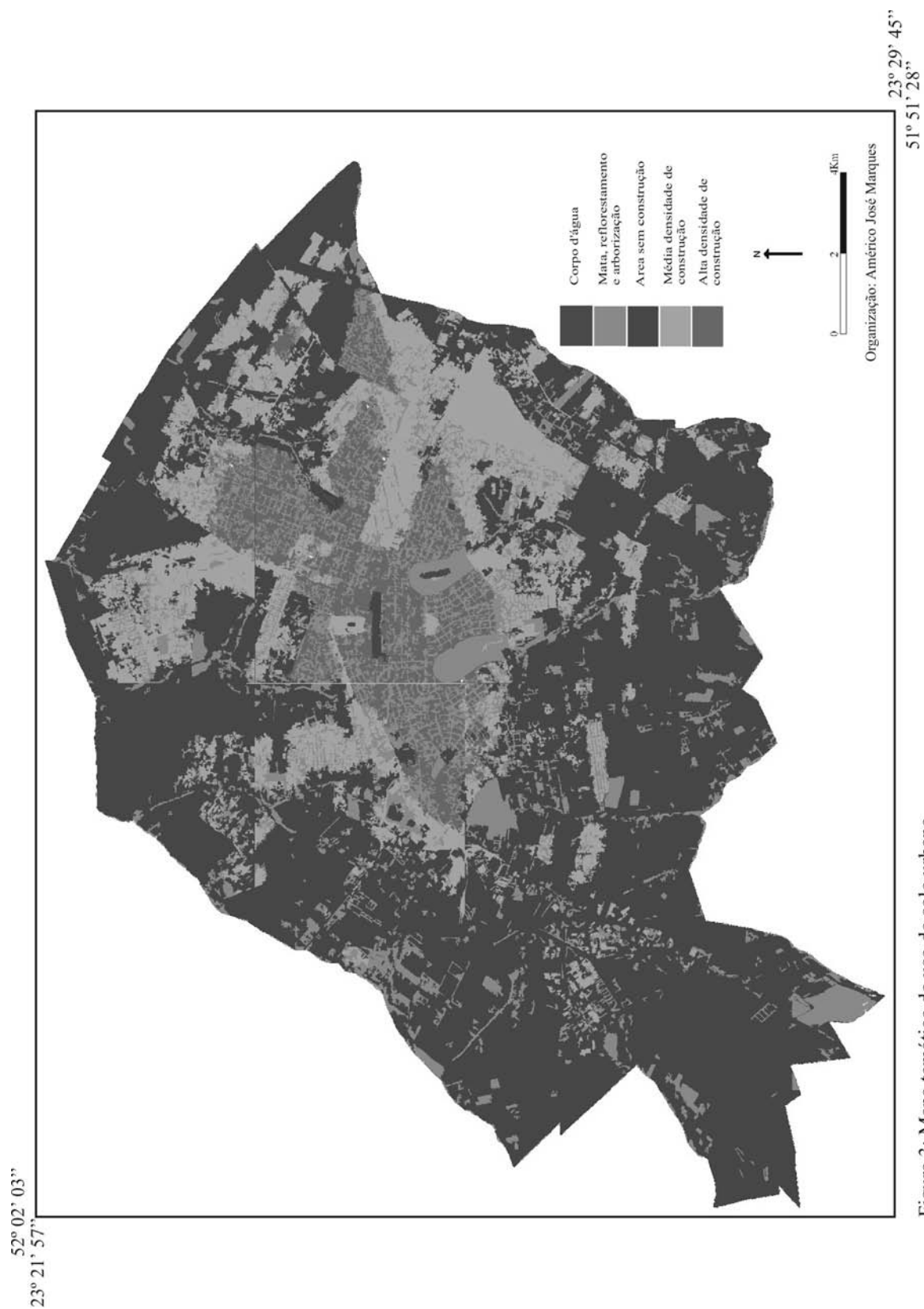


Figura 3: Mapa temático do uso do solo urbano.

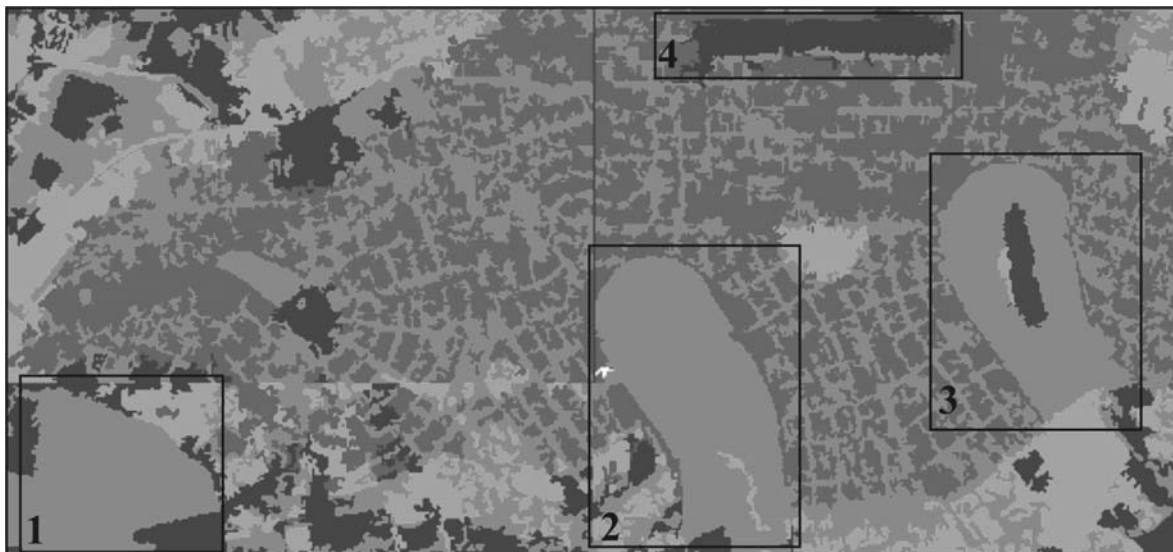
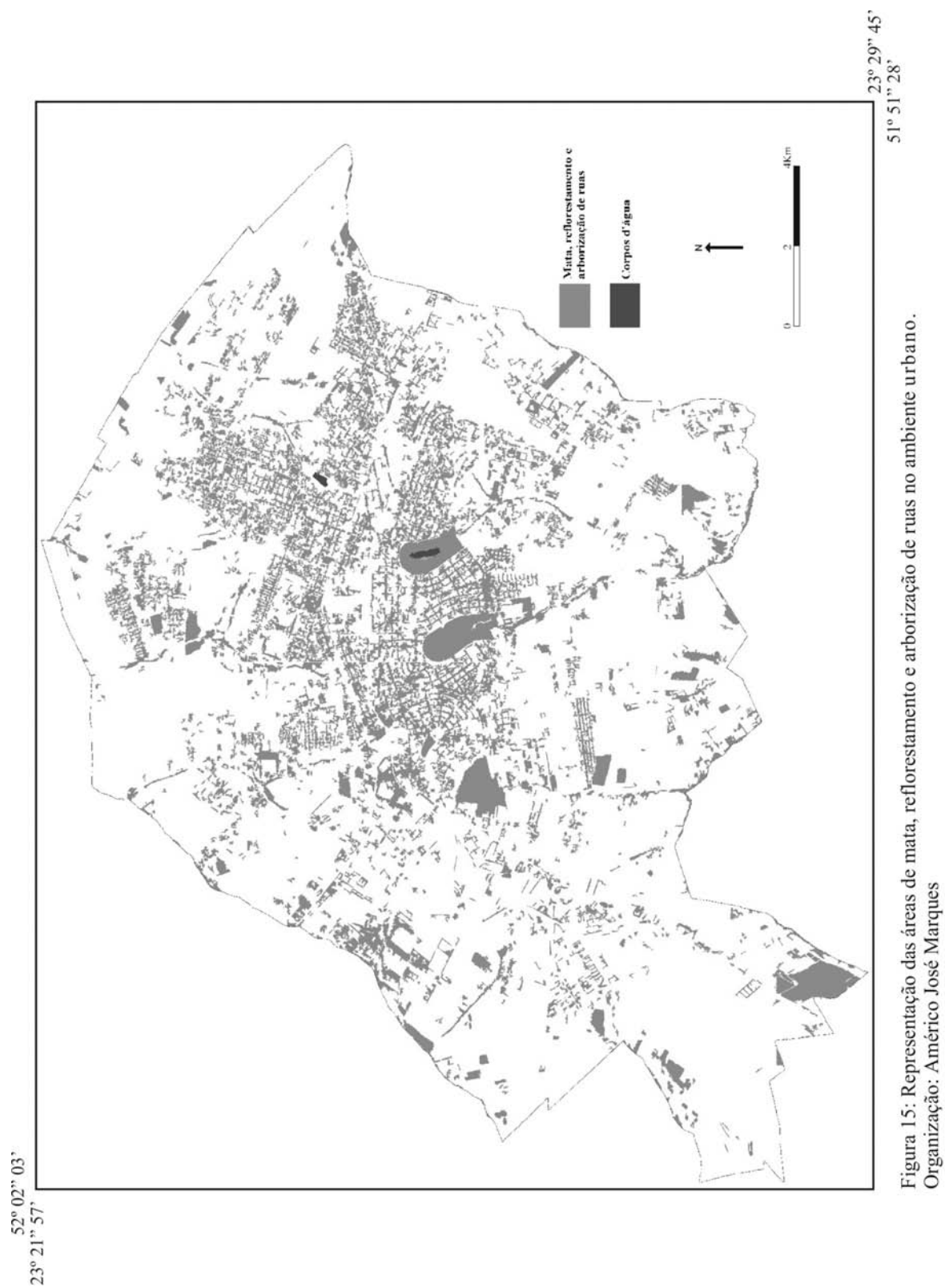


Figura 10: Detalhe do mapa temático indicando três áreas de fragmentos de mata: 1) Horto Florestal; 2) Bosque 2; e 3) Parque do Ingá e uma área sem construção: área destinada ao novo centro.
Organização: Américo José Marques

seguimentos alongados, estão muito descontínuas. Outro aspecto que merece atenção são os fragmentos de mata, que se encontram distribuídos por toda área urbana. Nas áreas onde há uma “alta densidade de construção” (Figura 16), fica evidente a ocorrência da arborização urbana, seguindo praticamente das ruas. Cabe aqui salientar que este comportamento da arborização das ruas ocorre quase que somente nas áreas abrangidas pelo projeto inicial e incorporadas até 1958. Outro aspecto importante que se percebe na Figura 16 com relação às áreas densamente construídas, é a grande quantidade de recortes existentes devido à classe “mata, reflorestamento e arborização das ruas”.

Uma comparação entre as Figuras 16 e 5, permite concluir que as áreas com “alta densidade de construção” se sobrepõem às áreas do projeto inicial e aquelas incorporadas até 1958 e áreas com “média densidade de construção” foram incorporadas após 1958.



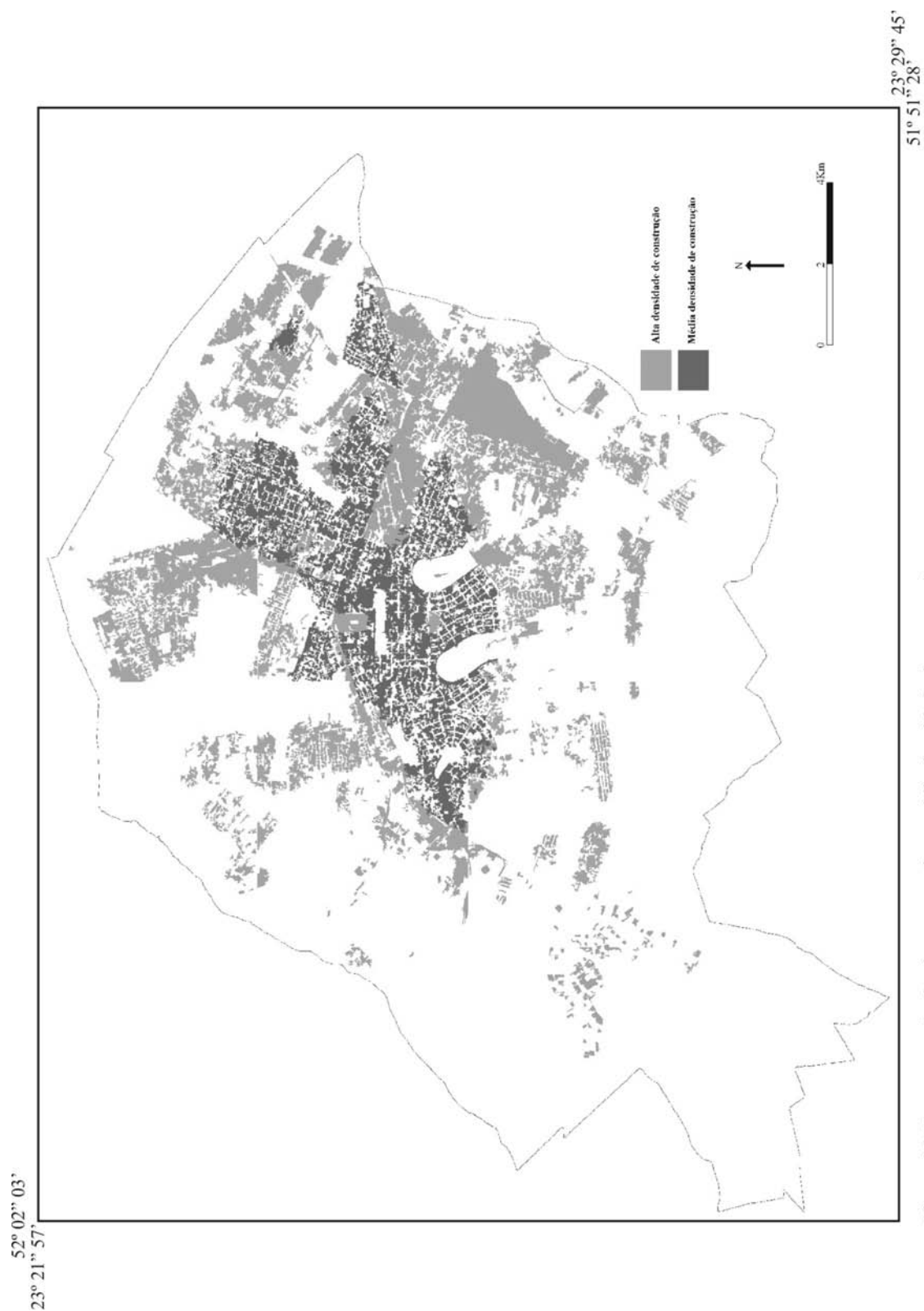


Figura 16: Representação das áreas com alta e média densidade de construção.
Organização: Américo José Marques

5.1.4 Métricas utilizadas na quantificação da paisagem urbana

As métricas utilizadas na paisagem urbana, bem como os resultados gerais obtidos são apresentados na Tabela 4. A análise desses resultados é feita a seguir, individualmente para cada métrica.

Tabela 4: Resultados obtidos para área urbana

	Alta Dens.	Média Dens.	Sem Const.	Mata, reflorestamento e arborização. urbana	Corpo d'água
Índice de Manchas					
PN	346	706	372	2.043	2
LPI	2,7030	2,1971	14,9117	0,8727	0,0210
PD	1,3509	2,7564	1,4524	7,9764	0,0078
TE	757.250	1.288.980	1.627.390	2.318.610	3.380
Complexidade					
S_MN	2,7041	2,4498	2,3119	2,5273	1,9984
PAFRAC	1,4991	1,5552	1,6037	1,5300	N/A
Organização Espacial					
PROX_MN	3.763,9627	3.270,2533	10.612,1131	978,8590	0
CONTAG	89,3869	92,2247	97,4524	87,4360	95,1184

5.1.4.1 Índice de Manchas

NUMERO DE FRAGMENTOS (PN)				
Alta Dens.	Média Dens.	Sem Const.	Mata, reflorestamento e arborização. urbana	Corpo d'água
346	706	372	2.043	2

O número total de fragmentos encontrados na área urbana foi 3.469, nos quais, mais de 50% do total encontrado pertencem à classe mata. Isto é fácil de se compreender devido à subdivisão entre as áreas com média densidade de construção e a vegetação urbana (parques, matas ciliares e a arborização urbana). Outros valores expressivos foram encontrados para a área com alta densidade de construção, com média densidade de construção e sem construção. O que pode ser percebido através dos resultados obtidos é que esta área se encontra muito recortada pelas classes mais expressivas, tornando-se um ambiente muito fragmentado.

ÍNDICE DA MAIOR MANCHA (LPI)				
Alta Dens.	Média Dens.	Sem Const.	Mata, reflorestamento e arborização. urbana	Corpo d'água
2,7030	2,1971	14,9117	0,8727	0,0210

A maior mancha encontrada foi o fragmento da classe sem construção, e realmente faz sentido, pois na Figura 13 percebe-se que a “área sem construção” que circunda praticamente toda a área urbana é muito grande, tomando grande parte da mesma. Com relação à vegetação urbana, o maior fragmento encontrado foi de aproximadamente 0,9% sendo, provavelmente, representado por algum dos três principais parques da cidade.

DENSIDADE DAS MANCHAS (PD)				
Alta Dens.	Média Dens.	Sem Const.	Mata, reflorestamento e arborização. urbana	Corpo d'água
1,3509	2,7564	1,4524	7,9764	0,0078

O maior valor encontrado para densidade de mancha foi para a classe mata, o que vem comprovar, como no caso do número de manchas, que essa classe é a que se encontra mais fragmentada.

TOTAL DE MARGENS (TE)				
Alta Dens.	Média Dens.	Sem Const.	Mata, reflorestamento e arborização. urbana	Corpo d'água
757.250	1.288.980	1.627.390	2.318.610	3.380

De acordo com os resultados apresentados, o maior comprimento de bordas encontrado foi para a classe “mata, reflorestamento e arborização urbana”, seguido da classe “área sem construção”. O maior valor encontrado para a mata era esperado, porém o da área sem construção não. Entretanto, pela análise da Figura 13, percebe-se que essa classe se comporta como matriz (conceito abordado na Fundamentação Teórica, item 3.1.5) para as demais classes, ou seja, ela representa a soma das margens de muitos fragmentos de outras classes. Neste caso,

somente os índices não foram suficientes para analisar a paisagem, sendo necessário a utilização do mapa temático do uso do solo urbano para complementar a interpretação deste índice.

5.1.4.1.1 Considerações sobre os índices de manchas

Pelos resultados obtidos através dessas quatro métricas, pode-se notar que o ambiente urbano é muito recortado, característica própria deste ambiente, definindo uma alta fragmentação. Apesar de ter que recorrer, em alguns momentos, ao mapa temático, as métricas, de modo geral, apresentaram resultados satisfatórios em relação às especificidades deste ambiente.

5.1.4.2 Índices de Complexidade

ÍNDICE DE FORMA DAS MANCHAS (S_MN)				
Alta Dens.	Média Dens.	Sem Const.	Mata, reflorestamento e arborização. urbana	Corpo d'água
2,3119	2,4498	2,7041	2,5273	1,9984

Os valores obtidos para esse índice de forma foram muito pequenos, o que indica fragmentos com traçados retilíneos (pouca complexidade), indicando que os fragmentos sofreram grandes alterações impostas pelos homens.

DIMENSÃO FRACTAL (PAFRAC)				
Alta Dens.	Média Dens.	Sem Const.	Mata, reflorestamento e arborização. urbana	Corpo d'água
1,4091	1,552	1,6037	1,5300	N/A

Os valores obtidos para a dimensão fractal corroboram os resultados obtidos no índice anterior (índice de forma), sendo sua análise similar, ou seja, foi confirmada a alta interferência do homem nos objetos urbanos.

5.1.4.2.1 Considerações sobre os índices de complexidade das manchas

Com relação aos índices de complexidade das manchas, é possível concluir que as formas são pouco complexas, caracterizando forte influência humana. Voltando a repetir, isto se dá devido ao ambiente fragmentado que é o urbano, refletindo esta fragmentação na pouca complexidade das manchas.

5.1.4.3 Organização Espacial

ÍNDICE MÉDIO DE PROXIMIDADE (PROX_MN)				
Alta Dens.	Média Dens.	Sem Const.	Mata, reflorestamento e arborização. urbana	Corpo d'água
3.763,9627	3.270,2533	10.612,1131	978,8590	0

Em relação ao contexto espacial das manchas, fica comprovado que a classe que se mantém com menor isolamento e com pouca fragmentação é a área sem construção, já que definiu o maior valor associado ao índice de proximidade. Em contrapartida, a mata se mostrou totalmente o inverso, muito fragmentada e com manchas pouco conectadas entre si (PROX_MN menor). Através da visualização na Figura 13, isto não é muito difícil de se perceber.

CONTÁGIO (CONTAG)				
Alta Dens.	Média Dens.	Sem Const.	Mata, reflorestamento e arborização. urbana	Corpo d'água
89,3869	92,2247	97,4524	35,4360	62,1184

Ainda em relação ao contexto espacial das manchas, o índice contágio mostrou que o maior número de manchas, bem como sua maior dispersão, é encontrado na classe mata. Na classe área sem construção ocorre o inverso.

5.1.4.3.1 Considerações sobre os índices de organização espacial

Tanto no índice contágio, como no índice organização espacial é perceptível uma maior fragmentação e isolamento dos fragmentos da classe mata. Valores muito significativos foram também encontrados para a classe área com “alta densidade de construção” e com “média densidade de construção”, mostrando, também, um comportamento similar ao da classe “área sem construção”.

5.1.4.4 Análise global da paisagem urbana

De modo geral, a paisagem urbana apresentou uma fragmentação consistente com a ocupação humana, de acordo com os resultados oferecidos pelas métricas utilizadas. Somente a área sem construção se mostrou menos fragmentada. Nas demais áreas, a alta fragmentação, a pouca complexidade das manchas e seu isolamento das mesmas ficaram evidentes. É o que poderia realmente se esperar do ambiente urbano – um ambiente muito recortado, com formas retilíneas e isolamento entre as manchas da mesma classe – devido a forte influência antrópica neste ambiente.

5.2 Ambiente Rural

5.2.1 Delimitação do município na Imagem ETM+/Landsat

Na Figura 17 é apresentada uma composição colorida da imagem ETM+/Landsat, resultante da associação das bandas espectrais 3, 4 e 5, às cores azul (B), verde (G) e vermelho (R), respectivamente, com a delimitação do município e da área urbana de Maringá.

O que se percebe nessa imagem é a ocorrência de poucos fragmentos de mata na área rural, representados pela cor verde. Cabe aqui salientar que, devido à resolução da

imagem (30 metros), torna-se muito difícil uma análise dos pequenos fragmentos. Por este motivo é que houve a necessidade da utilização de diferentes produtos para os dois ambientes de análise. No ambiente urbano a tônica da paisagem é dada pela diversidade de materiais que a compõem, havendo a dificuldade de detecção de manchas de menor expressão, enquanto que o ambiente rural é mais homogêneo, não sendo necessário utilizar uma resolução tão fina para análise deste ambiente.

5.2.2 Segmentação da área rural

A segmentação da imagem foi feita pelo método de crescimento de regiões, considerando uma área de 12 pixels, o equivalente a uma área de 360m^2 , com similaridade 15 (Figura 18).

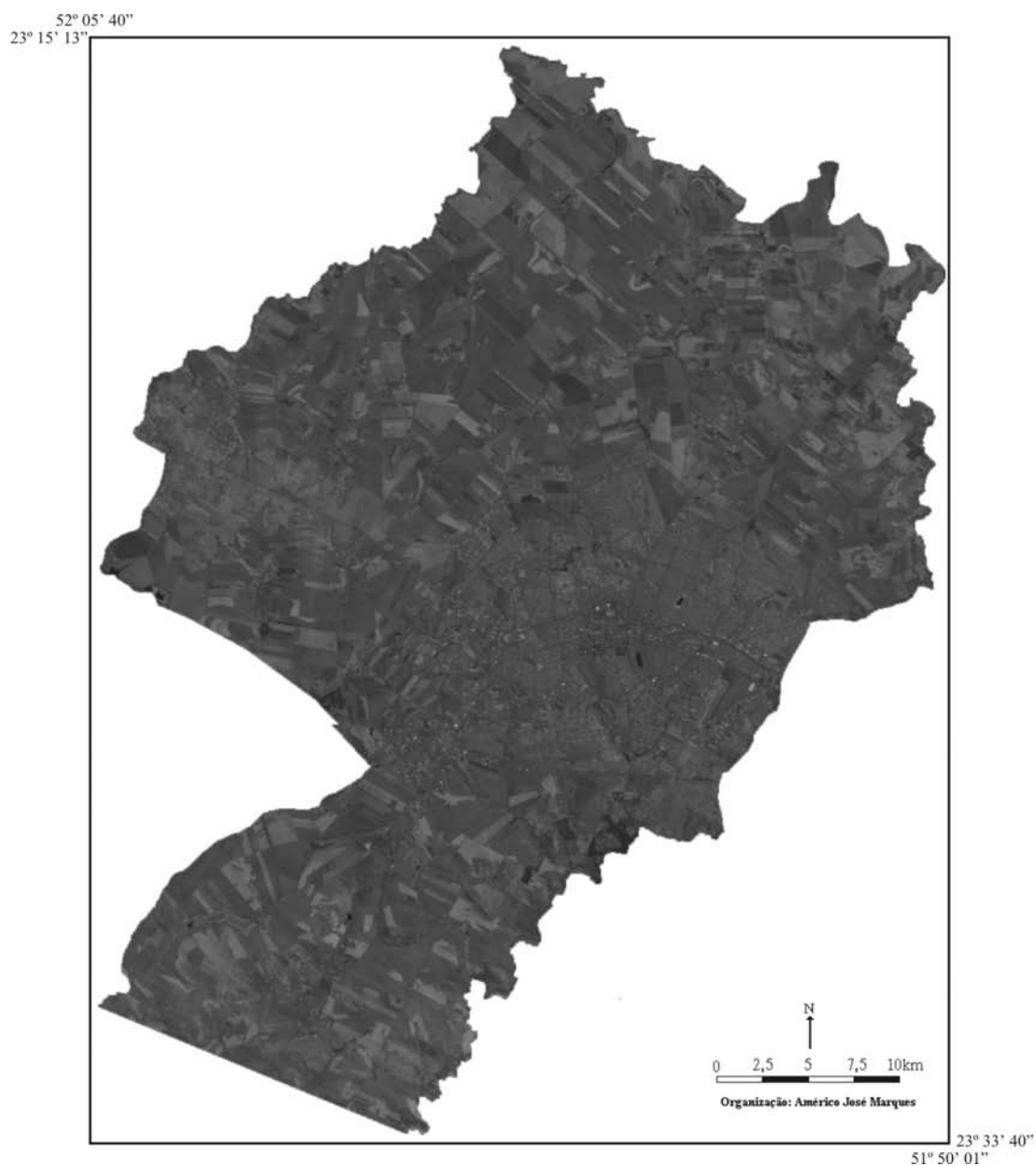


Figura 17: Composição colorida, resultante da associação das bandas espectrais 3, 4 e 5, às cores azul (B), verde (G) e vermelho (R), respectivamente, com delimitação do município e da área urbana.

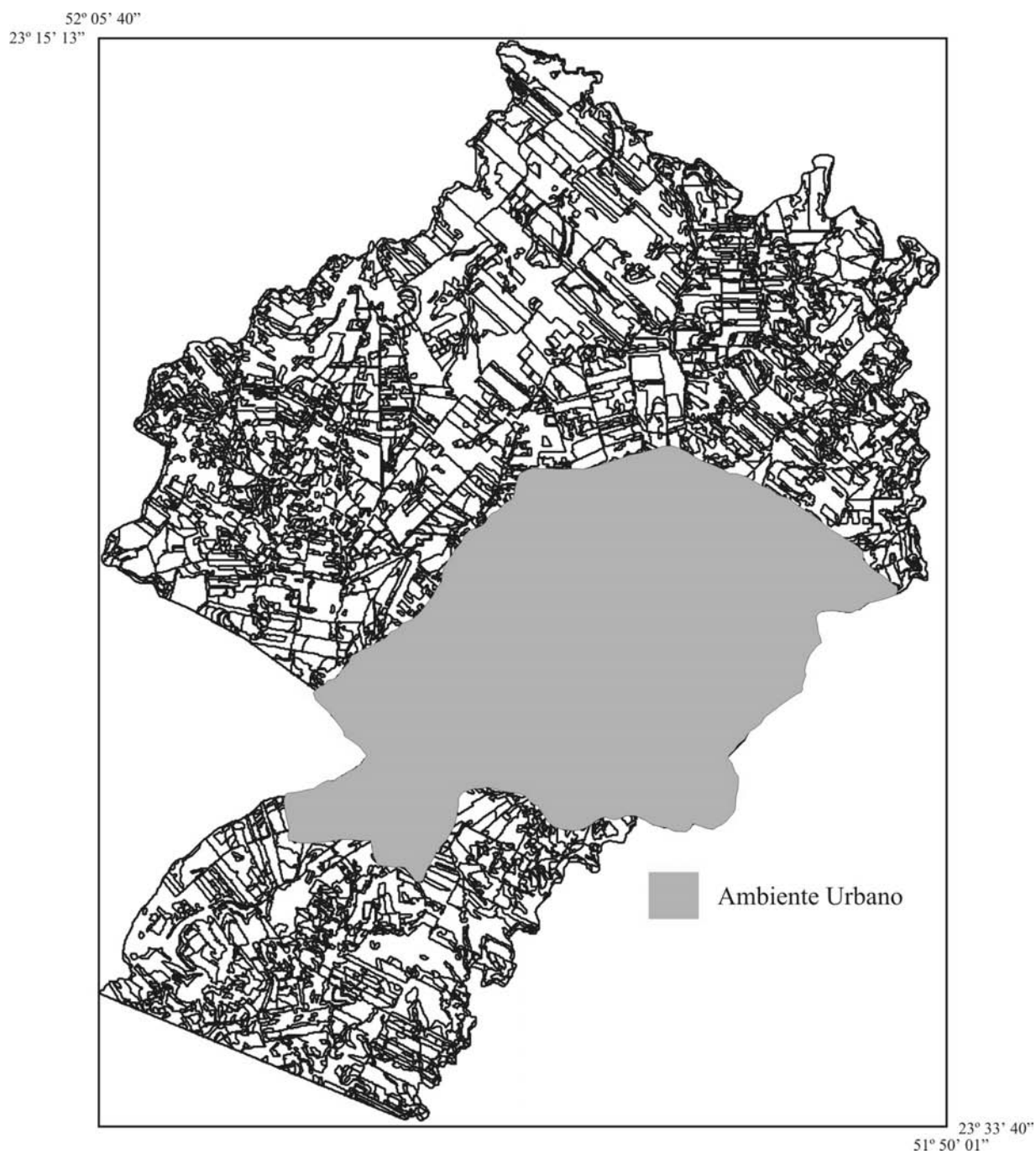


Figura 17: Imagem segmentada da área rural
Organização: Américo José Marques

5.2.2 Mapa Temático do uso do solo no município de Maringá

As classes temáticas mapeadas para a área rural foram: “cultivo agrícola”, “vegetação rasteira e solo exposto” e mata (Figura 19).

A classe “cultivo agrícola” se refere à cobertura do solo com plantações agrícolas. A “vegetação rasteira e solo exposto” foi mapeada de acordo com a ocorrência de vegetação gramínea, própria para a alimentação do gado. A mata reporta-se aos fragmentos de vegetação arbórea, que ocorrem na área rural.

A cidade de Maringá possui uma vasta área destinada ao “cultivo agrícola”. Por esta razão, a classe “cultivo agrícola” ocupa uma área muito grande, podendo-se dizer que a mesma funciona como matriz (conceito abordado na Fundamentação Teórica, item 3.1.5) para outras classes. A “vegetação rasteira e solo exposto” é encontrada na forma de pequenas manchas distribuídas por todo o município.

Os fragmentos de mata (foco deste trabalho), se encontram melhor visualizados na Figura 20. Conforme se pode notar, existem várias manchas distribuídas por praticamente, toda a área rural. Porém, os maiores fragmentos e a maior concentração deles está localizada ao norte da área urbana e aqueles de menor dimensão, ao sul da mesma. Tanto ao norte como a sul estes fragmentos estão dispersos, com pouca ou nenhuma ligação com outros. Outro aspecto interessante é que há poucas ocorrências associadas a matas ciliares, sendo estas encontradas em parte para alguns cursos d’água na divisa leste e em outros cursos, porém com pouca continuidade, em direção ao interior da área rural.

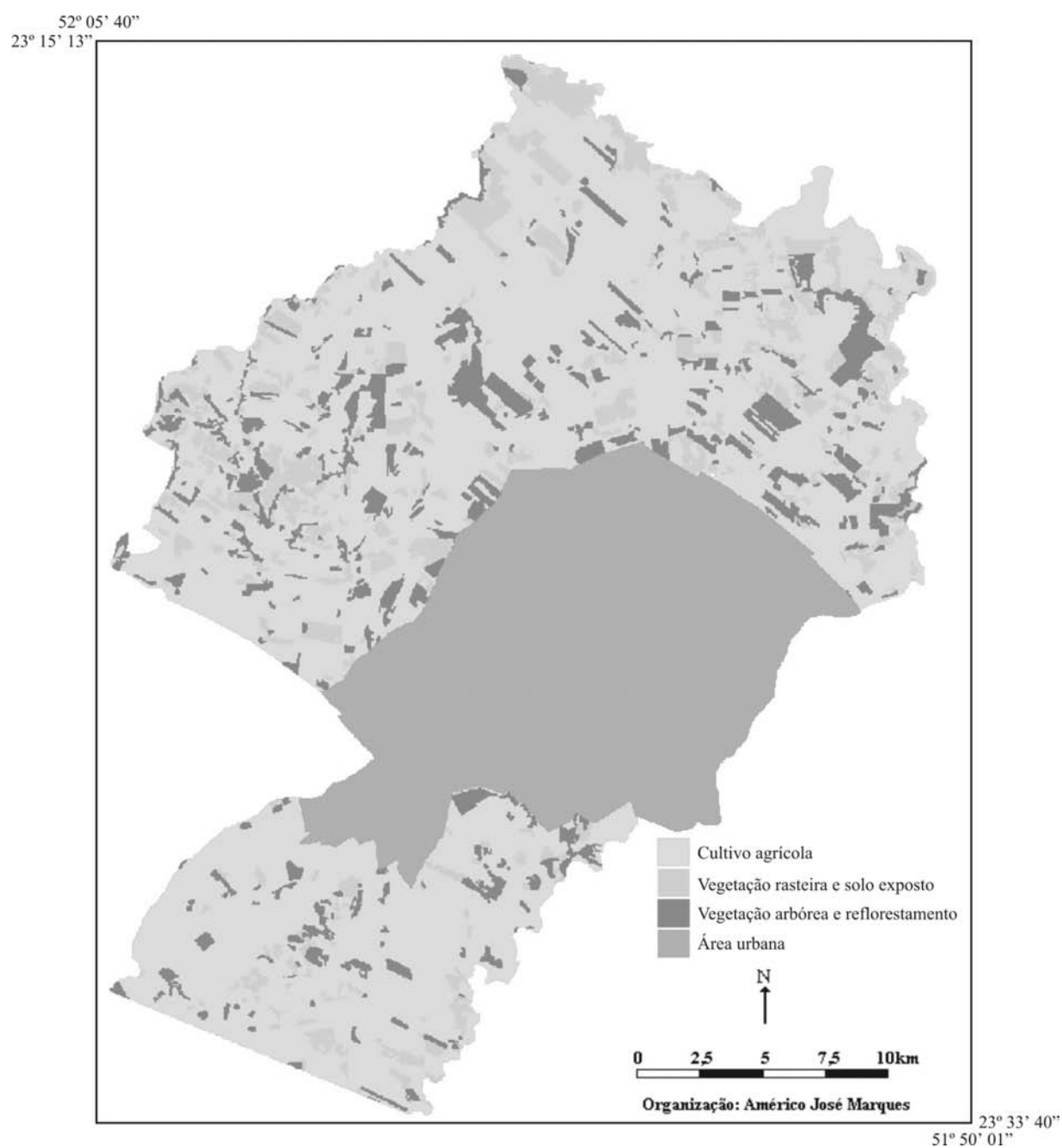


Figura 18: Mapa temático do uso do solo rural

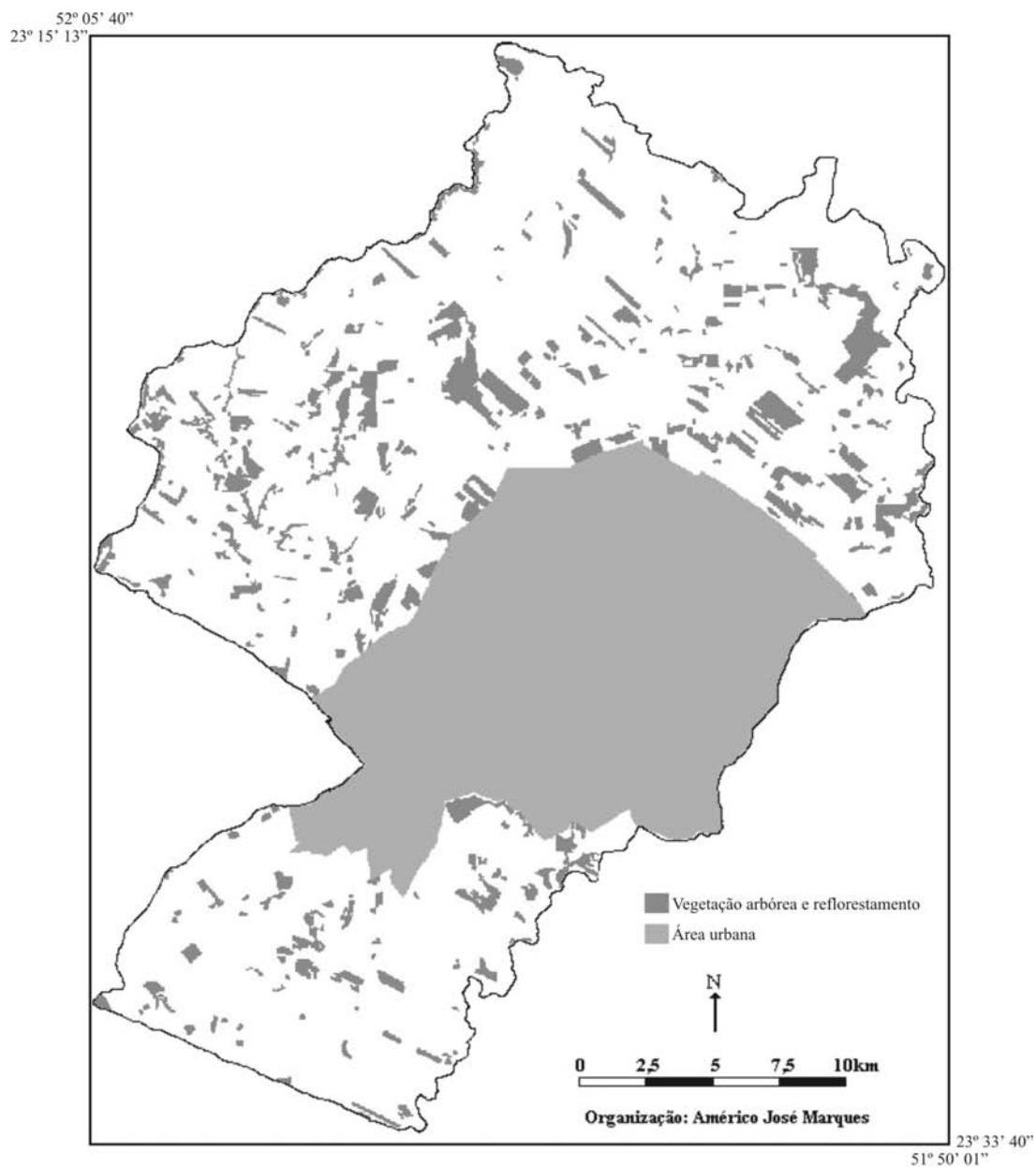


Figura 19: Representação da classe mata na área rural do município.

5.2.3 Métricas utilizadas na quantificação da paisagem rural

As métricas utilizadas na paisagem rural, bem como os resultados obtidos são apresentados na tabela 5. As análises destes resultados são discutidas a seguir.

Tabela 5: Resultados obtidos para área rural

	CULTIVO AGRÍCOLA	VEGETAÇÃO RASTEIRA E SOLO EXPOSTO	VEGETAÇÃO ARBÓREA E REFLORESTAMENTO
Índice das Manchas			
PN	139	308	318
LPI	20,3274	0,2530	0,3381
PD	0,1553	0,3441	0,3463
TE	1468356	691500	713280
Complexidade			
S_MN	1,6736	1,7118	1,6625
PAFRAC	1,3786	1,3806	1,4031
Organização Espacial			
PROX_MN	10119,5473	17,7536	19,9753
CONTAG	95,8017	36,4105	36,6436

5.2.3.1 Índice das manchas

NÚMERO DE MANCHAS (PN)		
Cultivo Agrícola	Vegetação rasteira e solo exposto	Vegetação arbórea e reflorestamento
139	308	318

Através deste índice, pôde-se observar que houve um equilíbrio entre o número de manchas das classes “vegetação rasteira e solo exposto” e “vegetação arbórea e reflorestamento”, enquanto que para o “cultivo agrícola”, o número de manchas foi bem menor. Conforme mostra a Figura 19, nota-se que estes valores fazem todo o sentido, pois existem muito mais fragmentos dessas duas classes, enquanto que a classe “cultivo agrícola” se comporta como matriz (conceito visto na Fundamentação Teórica, item 3.1.5), se mantendo mais interligada e com uma quantidade menor de fragmentos.

ÍNDICE DA MAIOR MANCHA (LPI)		
Cultivo agrícola	Vegetação rasteira e solo exposto	Vegetação arbórea e reflorestamento
20,3274	0,2530	0,33818

Como era de se esperar e conforme mostra a Figura 19, a maior mancha encontrada para este índice, foi para o “cultivo agrícola”. Este fragmento maior se comporta como matriz para as demais classes. Isto complementa os valores obtidos no índice número de manchas.

DENSIDADE DAS MANCHAS (PD)		
Cultivo agrícola	Vegetação rasteira e solo exposto	vegetação arbórea e reflorestamento
0,1553	0,3441	0,3463

O maior valor encontrada para densidade de manchas foi também para a classe “vegetação arbórea e reflorestamento”. Isto mostra que esta classe é a que mais se encontra fragmentada na paisagem rural. Ela ainda se mostrou muito equilibrada em relação à classe “vegetação rasteira e solo exposto” e bem maior que a “cultivo agrícola”, ou seja, esta última mostra ser uma classe de menor fragmentação.

TOTAL DE MARGENS (TE)		
Cultivo agrícola	Vegetação rasteira e solo exposto	vegetação arbórea e reflorestamento
1468356	691500	713280

A partir dos resultados obtidos, nota-se um valor maior para o total de margens foi para a classe “cultivo agrícola”. Mas o que pode ter ocorrido se esta possui um menor número de manchas? A resposta mais provável é que, como a classe “cultivo agrícola” abrange praticamente toda a extensão rural, atuando como matriz para as demais classes, o total de margens que a define é a soma das classes “vegetação rasteira e solo exposto” e “vegetação arbórea e reflorestamento” e o seu próprio perímetro.

5.2.3.1.1 Considerações sobre os índices de manchas

Através dos índices apresentados, pôde-se constatar que, no ambiente rural, a classe “cultivo agrícola” se comportou como matriz para as classes “vegetação rasteira e solo exposto” e “vegetação arbórea e reflorestamento”, caracterizando-se como uma classe pouco fragmentada. Em contrapartida, as demais classes apresentaram um resultado inverso. As classes “vegetação rasteira e solo exposto” e “vegetação arbórea e reflorestamento” se mostraram valores próximos, revelando sua alta fragmentação.

5.2.3.2 Índice de complexidade das manchas

ÍNDICE DE FORMA DAS MANCHAS (SHAPE)		
Cultivo agrícola	Vegetação rasteira e solo exposto	Vegetação arbórea e reflorestamento
1,6736	1,7118	1,6625

Os valores pequenos obtidos para o índice de forma indicam uma paisagem com manchas de limites retilíneos, altamente modificadas pela ação antrópica. Estão associados a figuras geométricas, praticamente retilíneas ligadas em grande parte, pelas atividades agrícolas, sobre a qual estão inseridos as áreas de “vegetação rasteira e solo exposto” e “vegetação arbórea e reflorestamento”.

DIMENSÃO FRACTAL (FRAC)		
Cultivo agrícola	Vegetação rasteira e solo exposto	vegetação arbórea e reflorestamento
1,3786	1,3806	1,4031

A dimensão fractal praticamente mostrou as mesmas condições ocorridas no índice anterior (índice de forma), apresentando formas pouco complexas nesta área.

5.2.3.2.1 Considerações sobre os índices de complexidade das manchas

Através dos índices que expressaram a forma das manchas, constatou-se que a paisagem rural do município de Maringá possui fragmentos com forte alteração humana, pois os valores obtidos indicaram manchas muito próximas de figuras geométricas, característica própria de manchas em paisagens antropizadas.

5.2.3.3 Organização espacial

ÍNDICE MÉDIO DE PROXIMIDADE (PROX_MN)		
Cultivo agrícola	Vegetação rasteira e solo exposto	vegetação arbórea e reflorestamento
10119,5473	17,7536	19,9753

Fica bem claro que os valores obtidos para o índice médio de proximidade fazem muito sentido. Basta comparar o mapeamento das classes da área rural e perceber que a classe “cultivo agrícola” toma grande parte desta área, de forma praticamente contínua. Em contrapartida, a “vegetação arbórea e reflorestamento” e “vegetação rasteira e solo exposto” mostram um valor muito pequeno para o índice, indicando serem classes com manchas muito isoladas e grande fragmentação.

CONTÁGIO (CONTAG)		
Cultivo agrícola	Vegetação rasteira e solo exposto	vegetação arbórea e reflorestamento
95,8017	36,4105	36,6436

Através dos valores obtidos para contágio pode-se, claramente, perceber que a área agrícola possui uma quantidade menor de fragmentos, sendo estes mais agregados entre si que as demais classes. As classes “vegetação rasteira e solo exposto” e “vegetação arbórea e reflorestamento” mostraram um número superior de fragmentos e com uma menor conectividade

entre as manchas de cada uma destas classes. Praticamente todos os resultados obtidos até então mostraram que a classe “cultivo agrícola” possui um ambiente mais íntegro e para o índice contágio não foi diferente.

5.2.3.3.1 Considerações sobre os índices de organização espacial

Conforme indicam os resultados obtidos para índice médio de proximidade e contágio, pode-se notar que a classe “cultivo agrícola”, apresenta um número relativamente pequeno de manchas, o que demonstra pouca fragmentação e uma maior integridade dessa classe. Já para as outras duas classes, ocorreu justamente o inverso. Elas apresentaram uma grande quantidade de fragmentos pouco conectados entre si.

5.2.3.4 Análise global da paisagem rural

De modo geral, os índices obtidos para a paisagem rural foram consistentes com as já delineadas espacialmente pelo mapa temático. Somente a classe “cultivo agrícola” se mostrou menos fragmentada e atuando como matriz. Nas demais áreas, a alta fragmentação, a pouca complexidade das manchas e o isolamento das mesmas ficaram evidentes neste ambiente.

5.3 Aspectos divergentes na paisagem urbana e rural de Maringá

Os dois ambientes de análise – o urbano e o rural – foram estudados distintamente, pois os padrões espaciais encontrados na área urbana têm um comportamento diferente dos padrões espaciais encontrados na área rural. Na área urbana, por exemplo, o “recorte” entre os objetos existentes é muito maior que o da área rural ocasionando uma grande fragmentação dos elementos da paisagem, inclusive áreas de “vegetação arbórea e reflorestamento”. Por esta razão, a fotografia aérea com uma resolução mais fina foi utilizada

para o ambiente urbano, enquanto que, para o ambiente rural, foi utilizada uma cena do satélite Landsat 7 ETM+, com uma resolução espacial menor.

Os índices utilizados para avaliar tantos as manchas de “vegetação arbórea e reflorestamento” como as demais classes, mostraram divergências com relação ao número de fragmentos encontrados nos dois ambientes de análise, sendo que no ambiente urbano foi onde houve a maior ocorrência de manchas de “vegetação arbórea e reflorestamento”, com valor superior à soma das outras manchas. O que se pode inferir em relação ao aspecto índice de manchas é que, na área urbana, houve a maior ocorrência de fragmentos de “vegetação arbórea e reflorestamento” e, portanto, é onde há a maior fragmentação e heterogeneidade da paisagem.

Com relação aos aspectos relacionados com a complexidade dos fragmentos, houve uma pequena diferença nos dois ambientes analisados, sendo que na área urbana as manchas foram mais complexas que na área rural. Os fragmentos da área rural são fragmentos com formas geométricas mais simples, acarretando então esta sutil diferença.

O aspecto organização espacial demonstrou a ocorrência de muitos fragmentos de “vegetação arbórea e reflorestamento” como pouca conexão entre eles, acarretando uma quebra na continuidade dos mesmos. Com relação aos dois níveis de análise, embora haja muitos problemas com relação a esta questão, o ambiente urbano apresentou melhores resultados que o ambiente rural, no que refere à percepção da arborização urbana, característica perceptível no nível de detalhamento oferecido pelas fotos aéreas. No ambiente rural, o aspecto de conectividade é comprometido pela resolução espacial da imagem, mas ainda assim é consistente com a realidade atual de ausência, por exemplo, de continuidade na mata ciliar.

6. CONCLUSÃO

A aplicação e análise das métricas que quantificam a estrutura da paisagem e permitem a análise de padrões espaciais, tornaram evidentes as vantagens desta abordagem conceitualizada pela Ecologia da Paisagem. Os índices permitiram dissecar e aprofundar a análise dos padrões espaciais, constituindo uma informação adicional para a análise dos padrões mapeados do uso de solo.

Os padrões mapeados foram adequados para a discriminação das classes de interesse, destacando aqueles relacionados à classe de “vegetação arbórea e reflorestamento”, objeto de análise na paisagem do município em seus aspectos rural e urbano.

A abordagem em dois ambientes (rural e urbano) explicitou as diferenças inerentes a eles, permitindo a adequação das resoluções espaciais às suas características. No ambiente urbano a diversidade de materiais que o compõem exigiu uma resolução espacial maior para o mapeamento de suas feições, ao passo que, para a área rural a resolução de 30 metros das imagens orbitais permitiu a observação dos padrões espaciais com boa precisão.

Com relação ao ambiente urbano, como era de se esperar, as métricas revelaram um ambiente altamente fragmentado, onde as manchas se encontraram com fortes influências antrópicas. As manchas de “mata, reflorestamento e arborização urbana” se mostraram muito dispersas, não havendo conectividade entre si.

Para o ambiente rural houve poucas modificações em relação ao ambiente urbano. Como na área rural o ambiente é mais homogêneo, a fragmentação é menor, porém existente. As manchas também se mostraram com fortes influências antrópicas e os fragmentos de vegetação muito isolados, não havendo conectividade entre eles.

Com relação à escolha das métricas, algumas questões devem ser observadas. A utilização de muitas métricas para uma determinada análise pode conduzir a resultados ambíguos,

como foi visto no trabalho, muitas delas apresentavam resultados às vezes desnecessários para análise. Recomenda-se utilizar estas métricas com resultados ambíguos no plano de análise, quando houver confusão ou inconclusão tornando-se necessária a adoção de um número maior de parâmetros formalizando uma base mais ampla para melhor análise.

Um outro aspecto importante está na informação qualitativa disponibilizada nos mapas temáticos, pois, como foi comentado na análise das métricas, em muitos casos somente a análise visual das mesmas determina os critérios de escolha índices. Embora esta inspeção visual não forneça a precisão de um índice quantitativo apropriado, o resultado obtido pode ser considerado como significativo quando a aplicação exigir precisão aproximada.

Apesar da empresa colonizadora do município se preocupar muito com o aspecto ambiental no ambiente urbano, tanto neste como no ambiente rural foram constatados problemas nos três aspectos considerados: índices da manchas, complexidade das manchas e organização espacial, cabendo ao poder de Estado manifestar-se de modo a minimizar esta problemática.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ART, H. W. **Dicionário de Ecologia e Ciências Ambientais**. Cia. Melhoramentos do Estado de São Paulo, ed. Unesp, 1998.
- BACHA, C. J. C. **Gestão florestal no Paraná**. In: Gestão ambiental no Brasil: experiência e sucesso. Org. Ignez Vidigal Lopes et al. 2ª ed., Rio de Janeiro, Editora Fundação Getúlio Vargas, 1998. pp.155-182.
- BARROS, H. M. In: **Colonização e Desenvolvimento do norte do Paraná: Depoimentos sobre a maior obra do gênero realizada por uma empresa privada**. Companhia Melhoramentos Norte do Paraná, 1975. 295 p.
- BRADSHAW, G. A. e GARMAN S. L. **Detecting fine-scale disturbance in forested ecosystems as measured by large-scale landscape patterns**. In: MICHENER, W. K., BRUNT, J. W. e STAFFORD S. G. Environmental information management and analysis: ecosystem to global scales. Taylor e Francis, 1994. pp. 536-550.
- CASIMIRO, P. C. **Uso do solo – Ecologia da Paisagem: quantificação da estrutura da paisagem para análise de padrões espaciais – Conselho de Mértola**. Disponível em <<http://www.fcshunl.pt/docentes/pcasimiro/PDF's/Revista%20DGPR%20N%C2%BA%202.pdf>>. Acesso em 16 de março de 2003.
- CASTRO, I. E. **Das dificuldades de pensar a escala numa perspectiva geográfica dos fenômenos**. Trabalho apresentado no Colóquio “O discurso geográfico na aurora do século XXI. Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFSC. Florianópolis: 1996.

- COSTA, L. F. e BIANCHI, A. G. C. **A outra dimensão da dimensão fractal**. In: Revista Ciênciahoje, vol. 31, n.º 183, junho de 2002, pp. 40-47.
- CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas-SP: IG/UNICAMP, 1992.
- DUARTE, P. A. **Escala: Fundamentos**. 2ª ed. Editora da UFSC, 1989, 65 p.
- DUNN, C. P. et al. **Methods for analyzing temporal changes in landscape patterns**. In: Quantitative methods in Landscape Ecology: the analysis and interpretation of Landscape Ecology, 1990. pp. 173-198.
- FORMAN, R. T. T. **Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions**. Cambridge University Press, 1995. 535 p.
- FROHN, R. C. e MENZ. G. **Spatial separability of land-cover classes along a vertical transect in the sierra Nevada using landscape pattern metrics and remote sensing**. In: Annual Convention and Exposition, Baltimore, April 22-25, 1996. Technical Papers, Baltimore, ASPRS/ACSM, 1996, pp. 19-28.
- GALO, M. L. B. T. **Aplicação de redes neurais artificiais e sensoriamento remoto na caracterização ambiental do Parque Estadual Morro do Diabo**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2000. pp. 16-28.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), Tutorial do SPRING: Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/spring>> Acesso em: junho/2003.

JELINSKI, D. E., GOODCHILD, M. F. e STEYAERT, L. T. **Multiple roles for GIS in global change research: towards a research agenda.** In: MICHENER, W. K., BRUNT, J. W. e STAFFORD S. Environmental information management and analysis: ecosystem to global scales. Taylor e Francis, 1994. pp. 41-52.

JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the environment: an earth resource perspective.** 2000.

JENSEN, J. R.; JACKSON, M. W. . **The Remote Sensing Process. In: Remote Sensing Core Curriculum** - vol. 3. Disponível em <<http://www.cla.sc.edu/GEOG/rslab/rscnew/rsc>>. Acesso em: fevereiro/2000.

JOLY, F. **A Cartografia.** Campinas: Papirus, 1990. 163 p.

KIRCHNER, F. F., DETZEL V. A. e MITISHITA E. A. **Mapeamento da vegetação urbana.** III encontro nacional sobre arborização urbana, Curitiba-PR, , 1990. pp. 72-85

MARINGÁ, PR. **Vegetação de grande porte.** 2000, 1 mapa. Escala 1:125000

MCGARIGAL K. **Landscape Structure and Spatial Pattern Analysis for ARC/INFO.** Disponível em <<http://www.innovativegis.com/products/fragstasar/aboutlc.htm>>. Acesso em 21 de junho de 2002

MENEZES, P. M. L.; COELHO NETO, A. L. **Escala: estudo de conceitos e aplicações.**

Disponível em <http://www.Cartografia.org.br/xixcbccd/artigos/c3/CIII-13/Escala_F.pdf> acesso em: 21 de maio de 2002.

METZER, F. P. **Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica.** In: An. Acad. Bras, 1999. pp. 445-463.

MILNE, B.T. **Lessons from applying fractal models to landscape patterns.** In: TURNER, M. G. e GARDNER, R. H. Quantitative methods in Landscape Ecology, 1990. pp. 199-235.

MLADENOFF, D. J. **What is Landscape Ecology?.** Disponível em <<http://landscape.forest.wisc.edu/landscapeecology/definition/definition.html>>. Acesso em 21 de junho de 2002.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação.** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001.

MUSICK, H. B. e GROVER, H. D. **Image textural measures as indices of landscape pattern.** In: TURNER, M. G. e GARDNER, R. H. Quantitative methods in Landscape Ecology, 1990. pp. 77-103.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2ª ed., 1995.

OLIVEIRA, C. **Curso de Cartografia Moderna.** Rio de Janeiro: IBGE, 1988. 152 p.

PARANÁ. Decreto n.º 3104, de 14 de março de 1994. **Aprova o Projeto do Terminal do Trabalhador Volante**. Disponível em <www.paranacidade.org.br/pdf/baselegal/fdu/e.pdf> Acesso em 10 março de 2003.

PEARSON, S. M. Ecological Perspective: Understanding the impacts of forest fragmentation. In: Remote Sensing and GIS in Ecosystem Management. Editado por V. Aleric Sample. 1994. pp. 178-191.

PENHA, H. M. **Processos endógenos na formação do relevo**. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, pp. 51-92.

Perfil da Cidade de Maringá. Secretaria de Planejamento – Divisão de Modernização Administrativa e Controle de Qualidade. 1996.

QUATTROCHI D. A. e PELLETIER R. E. **Remote Sensing for analysis of landscapes: an introduction**. In: TURNER, M. G. e GARDNER, R. H. Quantitative methods in Landscape Ecology, 1990. pp. 51-76.

RICHARDS, J. A. e JIA, X. **Remote Sensing Digital Images analysis: an Introduction**. Berlin: Springer-Verlag, 1999. 363 p.

SANTOS, M. **Espaço e Método**. Nobel, São Paulo, 1985.

SERRA, E. **Os primeiros processos de ocupação da terra e a organização pioneira do espaço agrário no Paraná**. In: Boletim de Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, ano 10, n.º 10, dezembro/1992. pp. 61 – 93.

TURNER, M. G. e GARDNER, R. H. **Quantitative methods in Landscape Ecology: the analysis and interpretation of Landscape Ecology**, 1990.

TURNER, M. G. **Landscape ecology: the effect of pattern on process**. In Annual Review of Ecology and Systematics, 1989. 20:171-197,

VALERIANO, D.M.; SANTOS, J.R.; HERNANDEZ FILHO, P.; CARVALHO, V.C. **O sensoriamento remoto aplicado à vegetação como subsídio ao planejamento municipal**. INPE/SELP, Anais do Encontro Nacional de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Planejamento Municipal. Campos do Jordão, SP. 22-23 de outubro de 1987. pp. 151-164.

VARELA, E. D., IGLESIAS, S. C. e MESEDA, C. R. **Ecologia da Paisagem, planificação e conservação de massas de frondosas autóctones em Ribadeo (Galiza, Espanha)**. Disponível em <<http://www.utad.pt/~des/cer/CER/CONTEUDO/05B.HTM>>. Acesso em 21 de junho de 2002.

VIANA, M. V. e PINHEIRO, L. A. F. V. **Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais**. Série Técnica IPEF, v. 12, n. 32, dez. 1998. pp. 25-42,

Swiss Society of Cartography. **Cartography Generalization (Topographic Maps)**. Zurich, 1977, 61p.