



ÍNDICES DE PAISAGEM APLICADOS À ANÁLISE DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO PUITÁ, SUDOESTE DO RS

Laurindo Antonio Guasselli, CEP SRM/UFRGS, laurindo.guasselli@ufrgs.br
Rafael Lacerda Martins, Geografia/ULBRA, rlmart@terra.com.br

Palavras-chave: índices de paisagem, geomorfologia, sensoriamento remoto

Eixo temático: Cartografia Geomorfológica

Resumo: Este trabalho tem com objetivo avaliar os índices de textura de paisagem (de fragmentação e diversidade) através do cruzamento e comparação com dados dos compartimentos geomorfológicos obtidos através de fotointerpretação e do uso do solo e cobertura vegetal obtido por classificação digital de imagens Landsat TM5 na bacia hidrográfica do arroio Puitão sudoeste do RS. Os cruzamentos foram elaborados a partir de imagens derivadas de NDVI e PC1 com as imagens de índices de paisagem. Os resultados produzidos revelaram que os índices de fragmentação e diversidade tiveram uma melhor separabilidade quando atribuídos aos padrões de uso do solo e cobertura vegetal.

1 - Introdução

Esse trabalho tem como objetivo geral utilizar índices de Ecologia de Paisagem, para analisar a variação do padrão espacial da paisagem da bacia hidrográfica do arroio Puitã no sudoeste do Rio Grande do Sul, utilizando imagens de satélite e ferramentas de geoprocessamento.

A expansão da arenização no sudoeste do estado, e o crescimento de problemas ambientais que envolvem esse processo têm causado sérios impactos nesses ambientes. Estes impactos indicam que as áreas de arenização devem ser monitoradas e que sua dinâmica e propriedades espaciais sejam bem entendidas. Dessa forma a avaliação de uma série de dados obtidos por satélite, dessa bacia hidrográfica, pode auxiliar no entendimento da variação da dinâmica desse ecossistema.

Para tanto foi utilizado como instrumento analítico a variação de padrões de paisagem através de índices de textura de paisagem e a sua quantificação, prática comum nas análises geográfica e de ecologia de paisagem, análise que têm também alcançado espaço em outras áreas, principalmente em função da crescente utilização das tecnologias de geoprocessamento e de sensoriamento remoto.

Esses índices capturam algumas das características espaciais que têm sido relevantes para o entendimento de diferentes processos físicos e ecológicos (Forman, 1995). A maioria das paisagens é influenciada pela ação do homem e o mosaico de paisagens resultante é uma mistura de elementos naturais e antrópicos que variam em tamanho, forma e arranjo (Turner, 1989).



2- Localização da área de estudo

A localização regional da área de estudo pode ser definida a partir da descrição geográfica da chamada fronteira oeste, ou seja, localiza-se a leste da calha do Rio Uruguai tendo com limite extremo o meridiano 58°W e o limite interno continental marcado aproximadamente pelo meridiano $54^{\circ} 30'\text{W}$, ao norte da região podemos definir a posição da latitude $28^{\circ} 30'\text{S}$ ou o limite municipal de São Borja, já no limite sul podemos estabelecer a fronteira com o país vizinho Uruguai,

Em relação às paisagens presentes nessa área ficam caracterizados o predomínio extensivo de campos e coxilhas, matas subtropicais, relevos testemunhos e extensas superfícies de depósitos aluvionares.

Mais especificamente a área de estudo compreende a bacia hidrográfica do arroio Puitã, que está localizada na chamada região fronteira Oeste do Estado do Rio Grande do Sul. Situa-se ao Norte do rio Itú e a Oeste da serra do Iguariçá, entre as latitudes $28^{\circ} 55'\text{S}$ e $29^{\circ} 15'\text{S}$, e as longitudes $55^{\circ} 15'\text{W}$ e $55^{\circ} 35'\text{W}$ (Figura 1). O arroio Puitã corresponde a um afluente do rio Itú e que por sua vez é afluente do rio Ibicuí. A sub-bacia do arroio Puitã aparece localizada na área de três municípios da região, mais precisamente nos municípios de Maçambará, Itaqui e São Borja.

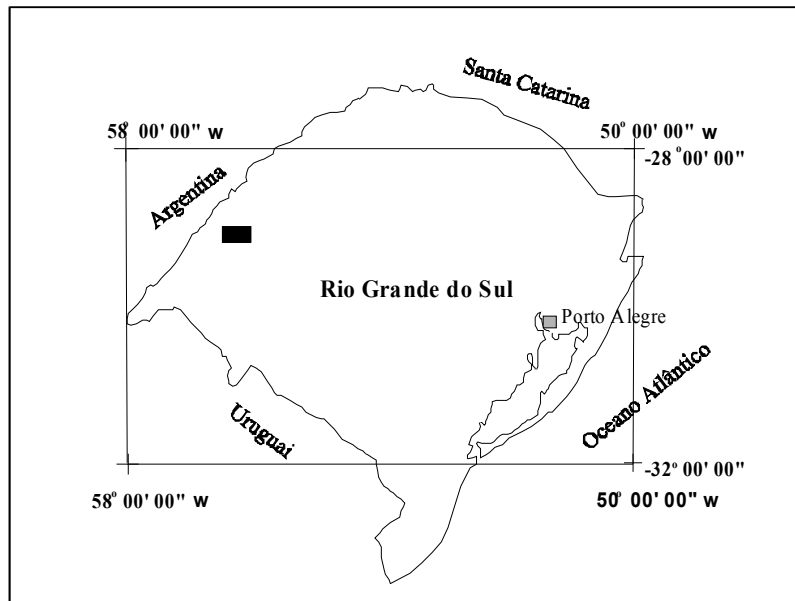


Figura 1. Localização Regional da Área de Estudo.

3 – Revisão bibliográfica

Em relação à problemática ambiental do processo de arenização, podemos citar os estudos do Departamento de Geografia da UFRGS, realizados no sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, onde se destacou o condicionamento geomorfológico e uso do solo como sendo dois fatores importantes no desencadeamento dos processos de formação dos areais.

Segundo Suertegaray (1992), a explicação deste processo adota o termo arenização, ou seja, a formação dos areais é resultado da arenização. Para a autora o retrabalhamento de depósitos areníticos (pouco consolidados) ou arenosos (não consolidados) são os promotores, nessas áreas, da dificuldade de fixação da vegetação devido à constante mobilidade dos



sedimentos. O retrabalhamento desses depósitos, no caso, formações superficiais, provavelmente quaternárias, resultou de uma dinâmica morfogenética onde os processos hídricos superficiais, em particular o escoamento concentrado do tipo ravina ou voçoroca expõem, transporta e deposita a areia, dando origem a formação de areais que, em contato com o vento, tendem a uma constante remoção.

Várias abordagens têm sido feitas ao analisar a paisagem. Segundo Bertrand (1972) o conceito de paisagem é apresentado sob a ótica de uma Geografia total, agregando à paisagem natural, e todas as implicações da ação humana, o que o autor denomina de paisagem total. A paisagem para Bertrand significa um resultado da combinação dinâmica, portanto é instável, resultado de elementos físicos, biológicos e humanos que, relacionando dialeticamente uns sobre os outros, fazendo assim um conjunto singular e indissociável, em sucessiva dinâmica.

Já Santos (1997), considera a paisagem artificial sendo a paisagem transformada pelo homem, enquanto grosseiramente podemos dizer que a paisagem natural é aquela ainda não mudada pelo esforço humano. Ainda em Santos (1997), a paisagem é um conjunto heterogêneo de formas naturais e artificiais; é formada por frações de ambas, seja quanto ao tamanho, volume, cor, utilidade, ou por qualquer outro critério. A paisagem é sempre heterogênea.

Ao analisar alguns sistemas de classificação de paisagem apresentados em (Christian; Stewart (1985); Zonneveld (1972) e Forman e Godron (1986)) Soares-Filho (1999) coloca a questão de qual sistema de classificação e termos seriam os mais apropriados para serem empregados em um estudo de ecologia de paisagem. O mesmo autor (Soares-Filho, 1999) conclui afirmando que a classificação de Forman e Godron (1986) se aproxima mais com uma metodologia de classificação voltada à representação de unidades de uso e de cobertura solo e, que os outros autores trazem uma abordagem sistêmica organizada em níveis hierárquicos.

Assim, o conteúdo textural de uma imagem pode fornecer alguns indicadores da composição dos elementos da paisagem, principalmente sua variabilidade (Turner, 1989). Considerando que apenas a informação multiespectral inerente aos dados de sensoriamento remoto muitas vezes não é suficiente para discriminar as diferentes categorias de uso da terra, pressupõe-se que a utilização de indicadores texturais que tenham um significado ecológico (como o índice de fragmentação e de diversidade da paisagem), pode oferecer uma contribuição nesse sentido (Galo e Novo, 1998).

4 - Material e Métodos

Nesse trabalho foi adotado o conceito elementos de paisagem conforme Forman e Godron (1986). Elementos de paisagem são os elementos ou unidades ecológicas básicas que possuem relativa homogeneidade, não importando se eles são de origem natural ou humana. Esses elementos podem ser considerados do ponto de vista ecológico como ecossistemas, ou seja, um conjunto de organismos em um dado lugar em interação com um determinado ambiente físico. Assim, propõe-se a utilização do termo elementos de paisagem no sentido de se referenciar aos diferentes tipos de uso e cobertura do solo.

Para a identificação desses elementos foram geradas informações cartográficas da bacia hidrográfica do arroio Puitã na busca de estabelecer e representar alguns padrões de seu arranjo espacial. A análise desse arranjo espacial possibilitará assim explicar a sua variação espacial e prever outros padrões.

Mais especificamente esse trabalho busca avaliar alguns índices de ecologia de paisagem baseado na variação de textura de imagens de satélite e estabelecer relações entre a ocorrência do processo de arenização com valores de Índice de Vegetação por Diferença



Normalizada (NDVI) e com valores das imagens geradas pelo método de Componentes Principais.

A metodologia utilizada nesse trabalho tomou como base, a metodologia aplicada em Galo e Novo (1998), e posteriormente utilizada em Lago et. al (2001).

O software utilizado para execução das atividades de processamento digital de imagens Landsat e geração de imagens derivadas foram o Idrisi32 – Release Two.

As atividades executadas nesse estudo estão resumidas em seis itens e foram os seguintes: 1) elaboração do mapa de compartimentos geomorfológicos; 2) pré-processamento da imagem Landsat TM5 de 05/02/2000; 3) geração de imagem de uso do solo e cobertura vegetal; 4) geração de imagem de NDVI; 5) geração de imagem por Componentes Principais 6) geração de imagens de textura; 6) cruzamentos e análise dos resultados.

4.1 – Elaboração do mapa de compartimentos geomorfológicos

O mapa de compartimentos geomorfológicos foi elaborado por Martins (2003) com base em fotointerpretação de fotografias aéreas na escala de 1:60.000. Nesse mapa foram identificados e individualizados quatro compartimentos geomorfológicos: 1) topo; 2) escarpa; 3) colinas; 4) planície aluvial.

4.2 – Pré-processamento das imagens Landsat TM5

Para a utilização da imagem Landsat TM5 primeiramente foram feitos alguns pré-processamentos:

4.2.1 – Georreferenciamento e delimitação das imagens

Foram duas etapas: 1) georreferenciamento com base nas cartas à escala de 1:50.000 da DSG; 2) geração de um polígono de limite ou “máscara”, em formato booleano, atribuindo o valor zero para a área externa e 1 para a área da bacia hidrográfica.

4.2.2 – Geração de mapa de uso do solo e cobertura vegetal

Esse mapeamento foi elaborado a partir de classificação digital supervisionada (Maxver), nas bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5 e 7 de imagem digital do satélite Landsat TM5. As classes definidas nesse mapeamento foram as seguintes: areais; áreas com reduzida biomassa; vegetação arbórea e arbustiva; vegetação campestre; florestamento com espécies exóticas, áreas agrícolas e corpos d’água

4.2.3 Geração das imagens de NDVI

Foi gerada uma de imagem de NDVI a partir de imagens Landsat TM5, órbita ponto 224-81, utilizando as bandas 3 e 4, data 05/02/2000. Essa imagem foi gerada para servir como base para o processamento e a geração de imagens derivadas de textura analisadas nesse trabalho.

As imagens de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) como propostas por Rouse et al. (1973), constituem-se, em um indicador das variações da densidade da vegetação. O NDVI é dado por:

$$NDVI = (NIR - R / NIR + R)$$

Onde: NIR e R representam as reflectâncias no infravermelho e visível, bandas 4 e 3 do sensor Landsat TM respectivamente.

A imagem de NDVI foi normalizada e posteriormente convertida, passou assim de imagem de NDVI de real para byte, num intervalo de 0 a 255 níveis de cinza.



4.2.4 Geração das imagens por Componentes Principais (PC)

A imagem gerada por componentes principais tem a característica de preservar a maior parte das informações presente na cena utilizada em um conjunto de dados com menor dimensionalidade e reter a maior quantidade de informação nas primeiras componentes geradas. Para efeitos de comparações foi utilizada apenas a primeira componente principal - PC1. A imagem de componentes principais foi normalizada e posteriormente convertida, passou assim de imagem de PC1 de real para byte, num intervalo de 0 a 255 níveis de cinza.

4.3 - Geração de imagens de textura

Foi gerada uma série de imagens de textura a partir de imagens de NDVI e da PC1 obtidas das Landsat TM5, órbita ponto 224-81, data 05/02/2000. As imagens de textura geradas representam índices de paisagem: Índice H e Índice de fragmentação.

Nesse estudo essa rotina de análise de textura foi utilizada tendo sido estabelecidos os seguintes critérios: 1) definição do tipo de análise. Foi utilizada a análise de variabilidade espacial dos valores dos pixels da imagem. Esta opção possibilita gerar várias medidas de textura diferentes, entre elas diversidade e fragmentação; 2) definição de uma imagem de entrada e a geração de um arquivo de saída; 3) definição do tamanho da área para o cálculo de textura, nesse estudo foi utilizada uma janela de 3 x 3 pixel, sendo que o pixel das imagens Landsat TM é de 30 x 30m; 4) definição da medida de textura a ser utilizada. Nesse estudo os índices utilizados foram: diversidade e fragmentação.

Para facilitar a análise das diferentes imagens de textura e também para o posterior cruzamento com as imagens de NDVI e PC1, foram geradas imagens de classes a partir das imagens de textura. A geração de imagens simplificadas dos índices de paisagem foi estabelecido a partir do fatiamento em classes para cada um dos índices analisados.

4.3.1 – Índice H

As imagens de textura do índice H representam uma medida de diversidade da paisagem e, combinam riqueza e igualdade. O índice H é dado por:

$$H = - \sum [\rho * \ln(\rho)]$$

Onde: ρ é a proporção de cada atributo (no caso deste trabalho de uma janela 3x3); \ln = logaritmo natural.

A medida de diversidade da paisagem indica que, se um atributo não se repete na janela, o valor calculado para o pixel central corresponderá ao maior índice de diversidade possível ($H=2,20$), enquanto que, se todos os pixels da janela tiverem o mesmo atributo, não haverá diversidade na região analisada ($H=0$ para o pixel central).

4.3.3 – Índice de Fragmentação

As imagens de índice de fragmentação seguem o mesmo raciocínio do índice de diversidade, ou seja, máximo valor ($F=1,0$) para o pixel central quando todos os pixels da janela tiverem atributos diferentes. O índice de fragmentação é dado por:

$$F = (n-1) / (c - 1)$$

Onde: n = o número de pixels com diferentes atributos, presentes em uma janela de dimensão igual a c (no caso, janela 3x3, então c é igual a 9).

4.4 – Cruzamentos e análise dos resultados.



Buscando melhor entender e caracterizar as diferentes paisagens na bacia hidrográfica do arroio Puitã, foram elaborados alguns cruzamentos entre as imagens. Foram utilizadas para o processo de cruzamento a imagem de compartimentos geomorfológicos e a imagem de uso do solo e cobertura vegetal. Cada uma dessas imagens foi então cruzadas com as imagens de índices de fragmentação e de diversidade geradas a partir do NDVI e da PC1.

5 - Resultados e discussão

Os produtos obtidos nesse trabalho são apresentados na forma de imagens (compartimentos geomorfológicos; uso do solo e cobertura vegetal; NDVI; PC1; índice de fragmentação; índice de diversidade) e resumidos em dados quantitativos na forma de tabelas referentes aos diferentes cruzamentos.

A figura 2 mostra a imagem dos compartimentos geomorfológicos, elaborado através de fotointerpretação, e a imagem de uso do solo e cobertura vegetal, elaborado através de classificação digital de imagens Landsat TM5. Essas imagens serviram como base para o cruzamento com as informações derivadas de índices de textura (índice de fragmentação e diversidade)

Optou-se por essas duas bases para o cruzamento, tendo em vista que, a proposta deste trabalho é identificar padrões de paisagem ou textura na bacia hidrográfica. Assim, essas imagens serviram como duas escalas de análise, onde foi analisado o grau de variabilidade das paisagens formadoras desse ambiente.

A imagem de compartimentos geomorfológicos é composta por quatro classes: 1) topo, representando as elevações do Planalto e morros tabulares; 2) escarpa, correspondendo às morfologias de vertentes com declividades acentuadas do Planalto e morros tabulares. A litologia dos compartimentos 1 e 2 tem ligação com as rochas basálticas do Rio Grande do Sul, onde apresentam uma relativa variedade morfológica; 3) colinas, relacionadas às feições da Depressão Periférica. O compartimento de colinas é caracterizado pelas formas arredondadas, de pequenas e médias altitudes, (entorno de 120m), sendo considerado um compartimento intermediário na formação de superfícies aplainadas, possuindo dentro do contexto vestígios de morfologia e estrutura geológica que as originaram. Esse compartimento associa-se à ocorrência da formação dos areais; 4) a planície aluvial, localiza-se ao longo dos principais cursos d'água da bacia hidrográfica do arroio Puitã. A característica desse compartimento é a baixa elevação, um pouco superior ao nível médio das águas, sendo frequentemente inundado nos períodos de cheias, e demarcado por formas típicas como diques marginais, depósitos suaves elevados sobre o nível da planície, junto às margens do arroio.

A imagem de uso do solo e cobertura vegetal é composta por sete classes: 1) areais; 2) áreas com reduzida biomassa; 3) vegetação arbórea e arbustiva; 4) vegetação campestre; 5) florestamento com espécies exóticas, 6) áreas agrícolas; e 7) corpos d'água.

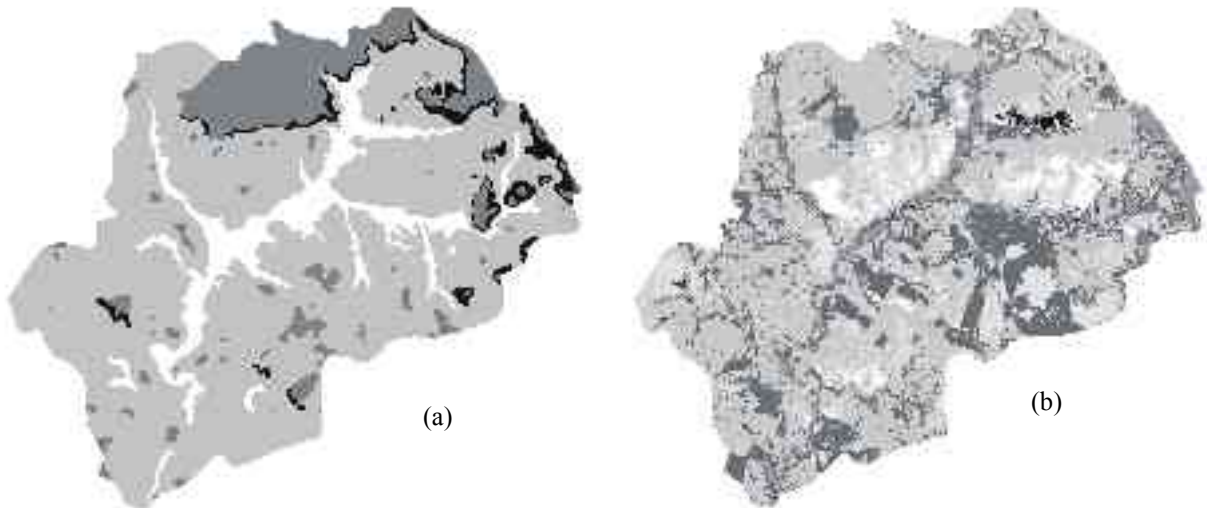


Figura 2 – Imagens dos Compartimentos Geomorfológicos (a), e do Uso do Solo e Cobertura Vegetal (b) da bacia hidrográfica do arroio Puitã

A figura 3 mostra as imagens de NDVI (a) e a primeira componente principal – PC1(b), obtidas através de processamento digital de imagens Landsat TM5. Essas imagens serviram como base para o processamento e geração das imagens derivadas de índices de textura.

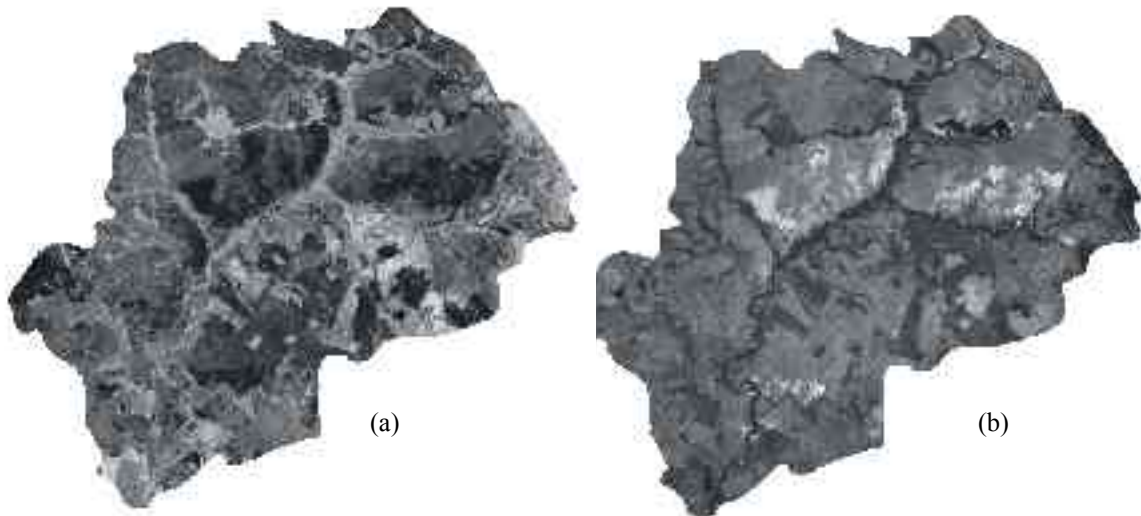


Figura 3 – Imagens de NDVI (a) e PC1 (b) da bacia hidrográfica do arroio Puitã

A característica das imagens de índice de vegetação de realçar as áreas florestadas (vegetação arbóreo arbustiva e florestamento) e as áreas agrícolas ficam evidentes na figura 3a. Os índices de vegetação têm sido utilizados em estudos que envolvem biomassa, sendo o principal objetivo desses índices o de realçar a vegetação em detrimento de outros alvos, como água e solo. Esses índices são bons indicadores da presença e condição da vegetação.



No outro extremo os menores valores de NDVI, da figura 3a, ficam por conta das áreas de arenização e de reduzida biomassa e também dos corpos d'água. As áreas de vegetação campestre apresentam valores intermediários entre essas classes.

Os índices de NDVI são baseados em combinações lineares, razões ou transformações de bandas espectrais, o que reduz, portanto, o volume de informações.

A tabela 1 mostra os valores médios e desvios padrão, como resultado do cruzamento das imagens de NDVI e CP1 com a imagem de compartimentos geomorfológicos. Nessa tabela, os valores médios tanto da imagem de NDVI quanto da CP1 conseguem mostrar uma boa distinção entre cada um dos compartimentos geomorfológicos.

Tabela 1 - Média e desvio padrão do NDVI e CP1 para as classes dos compartimentos geomorfológicos

Compartimentos geomorfológicos	NDVI		CP 1	
	média	desvio padrão	média	desvio padrão
planície aluvial	99.2587	31.5197	74.0369	25.9441
escarpa	91.2476	46.6366	77.6209	34.7389
topo	70.6978	35.8090	97.2959	22.8684
colinas	68.0899	36.9990	102.655	30.6776

A tabela 2 mostra os valores médios e desvios padrão, como resultado do cruzamento das imagens de NDVI e CP1 com a imagem de uso do solo e cobertura vegetal.

Tabela 2 - Média e desvio padrão do NDVI e CP1 para as classes de Uso do solo e cobertura vegetal

Usos do solo e cobertura vegetal	NDVI		CP 1	
	média	desvio padrão	média	desvio padrão
Areais + reduzida biomassa	28.6240	17.2478	137.3677	29.3127
Vegetação Campestre	61.6404	18.9165	102.8374	12.4593
Vegetação arbórea e arbustiva	131.9172	20.5588	45.7368	7.7123
Agrícola	113.5120	28.4020	69.7237	9.6470
Florestamento	119.0531	9.2526	26.4034	2.7439
Corpos d'água	25.7317	17.0945	22.9729	12.4387

Na tabela 2 os valores médios de NDVI mostram uma clara separação entre as classes com cobertura vegetal (vegetação arbórea arbustiva, agrícola, florestamento) e as sem cobertura vegetal (areais + áreas de reduzida biomassa e corpos d'água). Mas talvez seja a CP1 que melhor consiga individualizar cada uma das classes de uso do solo e cobertura vegetal. A imagem de NDVI mostra, entretanto, uma certa confusão entre essas as classes de areais + áreas de reduzida biomassa e corpos d'água. Na imagem da CP1, essa confusão acontece para os valores das classes de florestamento e corpos d'água.



A relação dos compartimentos geomorfológicos com as classes de uso do solo e cobertura vegetal, conforme figura 4, indicam as seguintes questões:

O compartimento de colinas está associado à cobertura vegetal campestre. Essa vegetação caracteriza-se pelo baixo porte e às vezes em condição esparsa, composta basicamente de espécies diversas de gramíneas e também espécies arbustivas e semi-arbustivas. Nesse compartimento predomina duas classes: a classes de reduzida biomassa, que se caracteriza por apresentar processos degradacionais, como focos de arenização, ravinamentos, voçorocamentos e áreas de solo exposto pela retirada da cobertura vegetal ou pelo manejo agrícola e a classe de uso agrícola. Diferencia-se dos outros compartimentos, por apresentar baixa densidade de cobertura vegetal de gramínea, apresentando potencialidade maior aos processos de arenização, em função dessas áreas degradadas aparecem áreas de uso através do florestamento de espécies exóticas.

O compartimento planície aluvial apresenta fixação de vegetação do tipo gramínea, com a ocorrência de mata ciliar de médio e pequeno porte, caracterizado por substrato sedimentar recente e arenoso, além de terraços fluviais margeando o arroio. Em relação ao uso agrícola ocorrem pequenas áreas de cultivo, geralmente associadas ao processo de irrigação das áreas de arroz.

A terceira relação está associada às áreas do compartimento geomorfológico escarpa, esse apresenta uma diversidade de espécies campestres e a ocorrência da vegetação arbóreo-arbustiva. localizadas a nordeste desta bacia hidrográfica.

As áreas do compartimento de topo apresentam uma diversificação de espécies campestres, com mata ciliar nas nascentes do arroio Puitã no contato com o compartimento escarpa. Torna-se mais acentuada a sua ocorrência, nas áreas sustentadas pelo arenito e pelo basalto.

Ainda é possível ressaltar os relevos testemunhos, feições características dessa região, com formas tabulares que apresentam vegetação de médio e grande porte nas suas escarpas e vegetação campestre no topo.



Figura 4 – Compartimentos geomorfológicos e uso do solo e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do arroio Puitã



A figura 5 mostra as imagens de índice de fragmentação obtidas a partir do processamento das imagens de NDVI (a) e da primeira componente principal – PC1 (b).

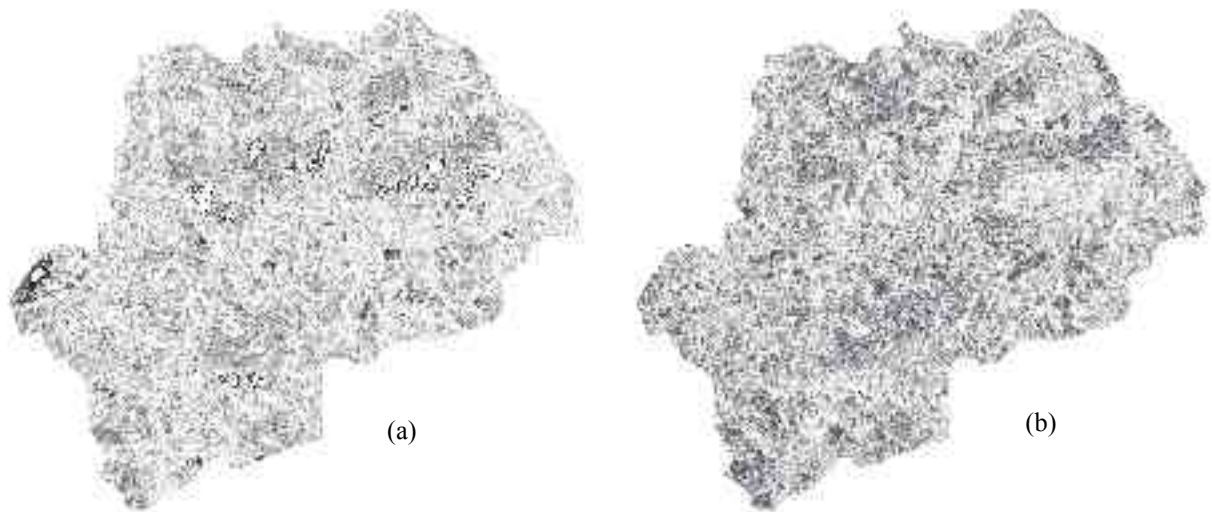


Figura 4 – Imagens de índice de fragmentação obtidas a partir das imagens de NDVI (a) e PC1 (b) da bacia hidrográfica do arroio Puitã

A figura 5 mostra as imagens de índice de diversidade obtidas a partir do processamento das imagens de NDVI (a) e da primeira componente principal – PC1 (b).

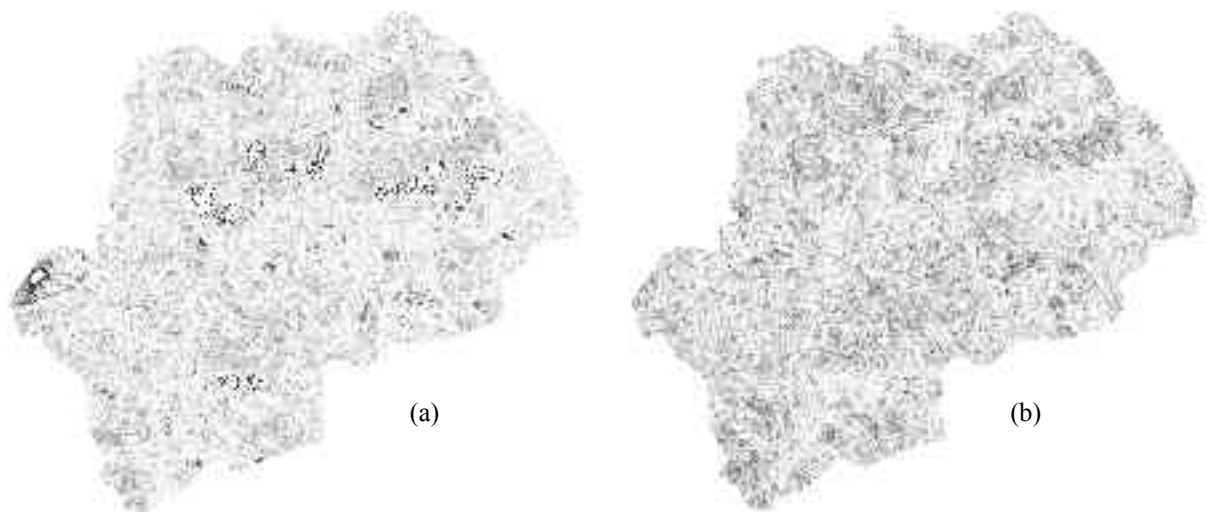


Figura 5 – Imagem de índice de diversidade obtida a partir das imagens de NDVI (a) e PC1 (b) da bacia hidrográfica do arroio Puitã

O índice de diversidade expressa o grau que dada variedade de elementos de paisagem está representada na imagem em proporção igual. Quanto maior o valor de H, maior a diversidade da paisagem. A diversidade máxima é alcançada quando todos os usos são representados em proporção igual.



A tabela 3 mostra os valores médios e desvios padrão dos índices de fragmentação e diversidade da paisagem para as imagens de NDVI e CP1. Esses valores foram obtidos como resultado do cruzamento com a imagem dos compartimentos geomorfológicos.

Tabela 3 - Média e desvio padrão dos índices de diversidade e fragmentação nas classes do compartimento geomorfológico

Compartimentos geomorfológicos	Índice de diversidade				Índice de fragmentação			
	NDVI		CP 1		NDVI		CP 1	
	média	desvio padrão	Média	desvio padrão	média	desvio padrão	média	desvio padrão
planície aluvial	2.0222	0.1826	1.9091	0.2464	0.8655	0.1293	0.7863	0.1682
escarpa	2.0105	0.2003	1.9142	0.2539	0.8583	0.1370	0.7911	0.1724
topo	1.9468	0.2249	1.8141	0.2838	0.8117	0.1553	0.7232	0.1846
colinas	1.8549	0.2748	1.8544	0.2748	0.8002	0.1745	0.7502	0.1817

Pode-se observar na tabela 3 que os valores médios dos índices de diversidade e de fragmentação não conseguem dar uma boa separabilidade entre os quatro compartimentos geomorfológicos, normalmente agrupando os compartimentos dois a dois (planície aluvial e escarpa; topo e colinas). A ocorrência desse fato talvez possa estar relacionado a que, dentro de cada um desses compartimentos exista uma variação de uso e cobertura vegetal, fazendo com que as médias dentro de cada compartimento sejam muito próximas.

A tabela 4 mostra os valores médios e desvios padrão dos índices de fragmentação e diversidade para as imagens de NDVI e CP1. Esses valores foram obtidos como resultado do cruzamento com a imagem de uso do solo e cobertura vegetal.

Tabela 4 - Média e desvio padrão dos índices de diversidade e fragmentação nas classes de uso do solo e cobertura vegetal

Uso do solo e cobertura vegetal	Índice de diversidade				Índice de fragmentação			
	NDVI		CP 1		NDVI		CP 1	
	média	desvio padrão	média	desvio padrão	média	desvio padrão	média	desvio padrão
Areais + reduzida biomassa	1.8104	0.4046	1.9241	0.2338	0.7426	0.2176	0.8092	0.1619
Vegetação Campestre	1.9354	0.2242	1.8273	0.2742	0.8030	0.1558	0.7309	0.1801
Vegetação arbórea e arbustiva	2.0267	0.1671	1.8392	0.2681	0.8674	0.1234	0.7392	0.1770
Agrícola	2.0329	0.1756	1.8688	0.2867	0.8729	0.1282	0.7615	0.1886
Florestamento	1.8739	0.2450	1.5854	0.3684	0.7609	0.1671	0.5892	0.2159
Corpos d'água	1.3220	0.6344	1.9042	0.3240	0.5382	0.2949	0.7935	0.2062



Os valores médios do cruzamento dos índices de diversidade e de fragmentação com o uso do solo e cobertura vegetal, conforme tabela 4, mostraram uma melhor diferenciação entre cada uma das classes dessa imagem. Mostra, assim, um bom relacionamento entre a variação da textura das imagens e o grau de uso e cobertura do solo.

Destacam-se os maiores valores médios apresentados pelas coberturas vegetais arbórea arbustiva e agrícola. As áreas agrícolas apresentam valores altos em função da variação da época de plantio e do grau de umidade do solo, pois ora ocupam as áreas de colina, ora, as áreas de planície aluvial.

Já as áreas de vegetação arbórea arbustiva, apresentam grande variação de diversidade e fragmentação em função de encontrarem-se predominantemente em áreas de alta declividade e com diferentes orientações de relevo.

De outro lado às áreas de ocorrência de arenização (areais + reduzida biomassa) apresentam-se com valores de fragmentação e diversidade diferenciados dos demais. Isso já era esperado, tendo em vista ao padrão homogêneo de sua superfície. Esse padrão também pode ser observado nos valores médios dos índices para os corpos d'água.

Os valores apresentados na tabela 4 sugerem que os índices de diversidade e fragmentação espacial podem ser usados como referência, através de suas médias para agrupar as classes de uso do solo e cobertura vegetal, o que é confirmado por Galo (1998).

6 – Conclusões

O resultado da utilização dos índices de fragmentação e diversidade para as duas escalas de análise espacial avaliadas nesse trabalho (compartimentos geomorfológicos e o uso do solo e cobertura vegetal), permitiram descrever o comportamento desses índices diante dos padrões e respostas espectrais apresentados nessa bacia hidrográfica.

O resultado dos cruzamentos das imagens de NDVI e CP1 com os compartimentos geomorfológicos não apresentou os resultados positivos esperados tendo em vista a diversidade de uso do solo e cobertura vegetal dentro dos quatro compartimentos. Dessa forma os valores médios não apresentaram diferenças significativas, que pudessem individualizar cada um deles em função de uma diferenciação dos resultados dos índices.

O resultado dos cruzamentos das imagens de NDVI e CP1 com as classes de uso do solo e cobertura vegetal, apresentaram uma melhor diferenciação entre as sete classes da classificação digital da imagem. Isso já era esperado principalmente para o cruzamento com os dados de NDVI, tendo em vista o acentuado grau de variação de biomassa nessa bacia hidrográfica em função da degradação causada pelo processo de arenização e das áreas de cultivo.

Esse comportamento se repete quando analisados os dados e imagens resultantes dos cruzamentos dos índices de fragmentação e diversidade espacial com os compartimentos geomorfológicos e do uso do solo e cobertura vegetal.

Podemos concluir que os índices de paisagem utilizados nesse trabalho indicaram melhor relacionamento com as classes de uso do solo e cobertura vegetal, em função das características dessa categoria de paisagem apresentados nesse trabalho. E que, por outro lado, não foi satisfatório para os compartimentos geomorfológicos.



7 - Bibliografia

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. São Paulo: USP, 1972.

FORMAN, R.T.T; GODRON, M. (1986) Landscape Ecology. New York, John Wiley & Sons. 619p.

FORMAN, R.T.T (1995) Land mosaics: the ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press. (xx)

GALO, M.L.B.T.; NOVO, E.M.L.M. (1998) Índices de paisagem aplicados à análise do Parque Estadual Morro do Diabo e entorno. Anais do IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos-SP, 11-18 setembro 1998. INPE/SELPER.

LAGO, F.P.L.S.; CHAVES, H.M.L.; GALVÃO, W.S. (2001) Avaliação da estrutura da paisagem para o Parque Nacional Grande Sertão Veredas, através de análise de imagens de sensoriamento remoto. Anais do X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu-PR, 21-26 abril 2001, INPE, p.1633-1640.

MARTINS, R. L. Análise e Mapeamento dos Compartimentos Ambientais da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã. Porto Alegre. UFRGS, 2003. 99 p. (Dissertação de Mestrado)

SANTOS, M. Metamorfoses do espaço habitado. São Paulo:5° ed. HUCITEC, 1997.

SOARES-FILHO, B.S. (1998) Análise de paisagem: Fragmentação e mudanças. Apostila. www.csr.ufmg.br.

SUERTEGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L. A.; VERDUM, R.; et al. Atlas de arenização - sudoeste do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretária de Coordenação e Planejamento, 2002. v. 1. 84 p.

SUERTEGARAY, D. M. A. Deserto grande do sul: controvérsia. 2° ed. Porto Alegre: UFRGS, 1998.