

## Métricas de fragmentos evidenciam similaridades de configurações espaciais da vegetação natural de diferentes bacias hidrográficas e ecorregiões do Cerrado

Antonio Felipe Couto Junior<sup>1</sup>

Adriana Reatto<sup>2</sup>

Marisa Prado Gomes<sup>3</sup>

Glauber das Neves<sup>3</sup>

Eder de Souza Martins<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Brasília – UnB

Campus Planaltina CEP: 73.345-010 Planaltina, DF

E-mail: afcj@unb.br

<sup>2</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Informação Tecnológica  
Parque Estação Biológica (PqEB) - W3 Norte (Final), Caixa Postal 040315, CEP 70770-901  
Brasília, DF – Brasil. Email: adriana.reatto@embrapa.br

<sup>3</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa - CPAC  
BR-020 km 18 Caixa Postal 08223 CEP: 73301-970 Planaltina, DF  
E-mail: eder.martins@embrapa.br; marisa.prado@embrapa.br glauber.neves@gmail.com

**Abstract.** The Cerrado is the most diverse savanna in the world and recognized as agriculture region. The coupled responsibility conservation-food production challenges the maintenance of ecological services. The spatial comprehension of the land cover stands out as main knowledge to achieve natural resources management and ecological services studies. This work aimed to describe spatial configuration of natural vegetation in different basins of the Cerrado based on patches metrics. There were selected five 5<sup>th</sup> level basins of five Cerrado ecoregions to map the land cover and generate the patches metrics. These metrics were normalized by  $\log_{10}$  to proceed the clustering based on vegetation and metrics. The patches metrics allowed the evaluation of different basins and evidenced the similarities on the spatial configuration. Considering all the vegetation cover the MPE, MedPS, MPS, MPFD, AWMPFD, PSCov and PSSD showed more than 95 % similarity. These normalized values should be used in weighing environmental services modelling.

**Palavras-chave:** fragmentation, spatial patterns, ecoregional planning, environmental services, fragmentação, padrões espaciais, planejamento ecorregional, serviços ambientais

### 1. Introdução

O Cerrado ocupa aproximadamente dois milhões de quilômetros quadrados, equivalendo a mais de um quinto da área do país, ocupando a maior parte do Brasil Central (Ribeiro e Walter, 2008; Silva, et al., 2002). Esse bioma apresenta a maior biodiversidade e pronunciada heterogeneidade de suas paisagens naturais dentre as savanas tropicais (Silva e Bates 2002; Silva, et al., 2006). Considerando a similaridade geomorfológica, geológica e botânica, foram identificadas e descritas 22 Ecorregiões dentro do domínio do Cerrado (Arruda et al. 2008). Esta definição levou em consideração a representatividade de ecossistemas e habitats presentes nesta região, segundo uma visão integrada dos aspectos abióticos e bióticos, visando subsidiar o planejamento para a conservação da biodiversidade dentro do contexto de unidades biogeográficas.

Contudo, estima-se que entre 40 e 65% da área do Cerrado já tenha sido convertida ou modificada, principalmente para usos agropecuários (Klink e Machado 2005; Sano et al. 2009; Mantovani e Pereira 1998). Surge daí que a relevância ambiental e o potencial agrícola do Cerrado revela um papel central para a sua própria manutenção e para o funcionamento dos biomas adjacentes. Desse cenário, emerge a necessidade de conciliar

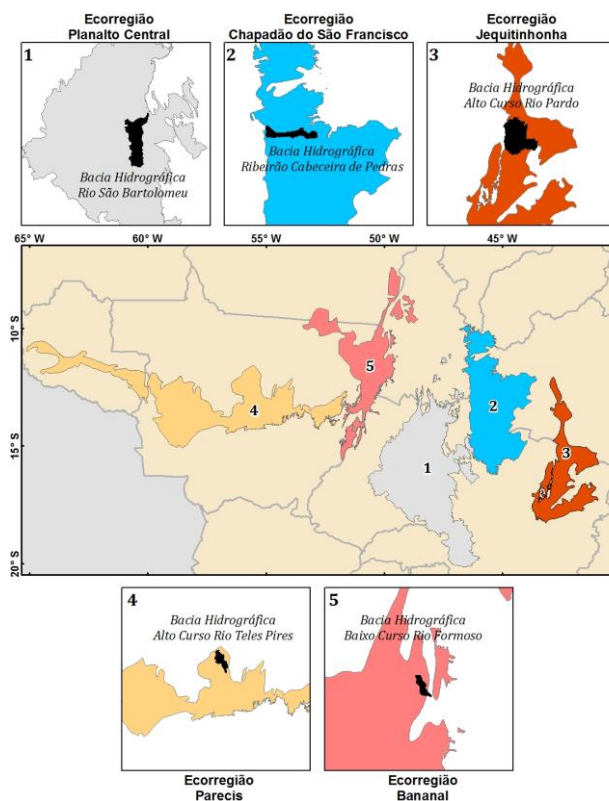
essas duas características visando manter tanto a produção de alimentos quanto os serviços ambientais prestados por esse bioma.

Os estudos sobre avaliação dos serviços ecológicos não podem ser reduzidos ao impacto em ecossistemas isoladamente, devendo ser considerados efeitos como a fragmentação da paisagem (Frank et al. 2012). A fragmentação ocasiona consequências sobre o provimento de serviços ambientais, sendo que as métricas de paisagem são as medidas de aspectos estruturais da paisagem inter-relacionando medidas de área, comprimento de borda e distâncias (Hargis et al. 1998).

Neste contexto, a compreensão espacial da cobertura vegetal apresenta-se como importante ferramenta para a gestão dos recursos naturais e subsídio para estudos referentes a serviços ambientais. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi descrever a configuração espacial da cobertura natural de diferentes bacias hidrográficas do Cerrado utilizando métricas dos fragmentos.

## 2. Área de estudo

Este trabalho descreveu cinco bacias hidrográficas referentes a cinco ecorregiões (Figura 1). Todas as bacias são da quinta ordem, segundo a classificação de Ottobacias da ANA.



**Figura 1** - Abrangência das ecorregiões em relação ao Brasil (quadro central), detalhes das bacias hidrográficas em relação à respectiva ecorregião (quadros menores).

A bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu é a única localizada inteiramente na região nuclear do bioma Cerrado, caracterizado por chapadas elevadas e grande diversidade de geológica. As bacias do alto curso do rio Teles Pires e baixo curso do rio Formoso, estão localizados na transição entre o Cerrado e a Amazônia, com presença predominante de formações florestais. A bacia do rio Cabeceira de Pedras encontra-se na transição do Cerrado com a Caatinga, caracterizada por um gradiente de aridez climática de oeste para leste. A bacia do alto curso do rio Pardo ocorre em um contexto de ecótono, em transição climática para a Caatinga a oeste e para a Mata Atlântica a leste

### 3. Material e Métodos

#### 3.1. Organização das imagens Landsat

Neste trabalho foram utilizadas imagens do sensor Landsat 5 TM referente ao período seco (junho a setembro) ano de 2011 (Tabela 1), obtidas gratuitamente por meio da página eletrônica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE – [www.inpe.br](http://www.inpe.br)).

**Tabela 1** - Informações básicas das imagens utilizadas para a estruturação do banco de dados das bacias hidrográficas de cada ecorregião.

Ecorregião	Bacia Hidrográfica	Órbita/Ponto	Data de Aquisição
Planalto Central	Rio São Bartolomeu	221/071	08/07/2011
		221/072	
Chapadão do São Francisco	Ribeirão Cabeceira de Pedras	220/068	02/08/2011
		220/069	
Jequitinhonha	Alto Curso do Rio Pardo	217/071	10/06/2011
		218/070	20/08/2011
		218/071	04/08/2011
Parecis	Alto Curso do Rio Teles Pires	226/068	12/08/2011
		226/069	12/08/2011
		227/068	16/06/2011
Bananal	Baixo Curso do Rio Formoso	223/067	07/08/2011

#### 3.2. Mapeamento da cobertura da terra das bacias

Após a organização das respectivas imagens foi procedido o mapeamento da cobertura vegetal e uso da terra por meio de vetorização manual em tela, considerando cor, forma, e textura. Os mapas finais foram classificados em: 1) cobertura natural: formação florestal, formação savânica e formação campestre; 2) cobertura antrópica: área agropastoril, pivô central, reflorestamento e outros; 3) corpos d'água.

#### 3.3. Configuração espacial dos fragmentos naturais entre as bacias

Após a geração dos mapas finais de cobertura vegetal e uso da terra, foi realizada a avaliação da fragmentação da cobertura natural, utilizando a extensão *Patch Analyst*, produzido por Rempel et al. (2012) em extensão para o programa ArcMap, com as seguintes métricas (Tabela 2).

**Tabela 2** - Descrição das métricas de paisagem geradas para as classes de cobertura natural.

Sigla	Unidade	Descrição
AWMSI	Adimensional	Relação entre os perímetros dos fragmentos, circularidade e o número de fragmentos, ponderado pela área
MSI	Adimensional	Relação entre os perímetros dos fragmentos, circularidade e o número de fragmentos
MPAR	m/ha	Somatório da razão perímetro/área dividido pelo número de fragmentos
MPFD	Adimensional	Valores próximos de 1 indicam formas regulares e próximos a 2 aumento na complexidade
AWMPFD	Adimensional	Valores próximos de 1 indicam formas regulares e próximos a 2 aumento na complexidade, ponderados pela área
TE	m	Total de borda (perímetro) dos fragmentos
ED	m/ha	Quantidade de borda relativa à área da paisagem
MPE	m/fragmento	Média da quantidade borda por fragmento
MPS	ha	Tamanho médio dos fragmentos de uma classe
NumP	Quantidade	Número total de fragmentos de uma classe
MedPS	ha	Mediana do tamanho do fragmento
PSCoV	%	Coefficiente de Variação dos fragmentos
PSSD	ha	Desvio padrão das áreas dos fragmentos
TLA	ha	Somatório das áreas de todos os fragmentos da paisagem
CA	ha	Somatório das áreas dos fragmentos de cada classe

As métricas de área indicam os tamanhos dos fragmentos naturais e sua proporção em relação à área total. As métricas de densidade, tamanho e variabilidade estão relacionadas ao número de fragmentos presentes em cada classe e a média de tamanho destes fragmentos. As métricas de borda apresentam valores referentes à extensão dos efeitos de borda da paisagem. E, as métricas de forma indicam a complexidade das formas dos fragmentos, variando entre pouco complexas e muito complexas (Mcgarigal e Marks 1994).

Essas métricas foram organizadas em agrupamentos em função das formações vegetais (florestal, savânica e campestre) e as métricas geradas na etapa anterior normalizadas pelo  $\log_{10}$ . Essa normalização teve o propósito padronizar os valores das métricas para a descrição da similaridade entre as formações vegetais e as métricas das diferentes bacias hidrográficas. Esse processo foi iniciado com a separação de grupos, sendo que o número de grupos diminui pela junção de grupos próximos, formando partições hierárquicas conforme a equação abaixo:

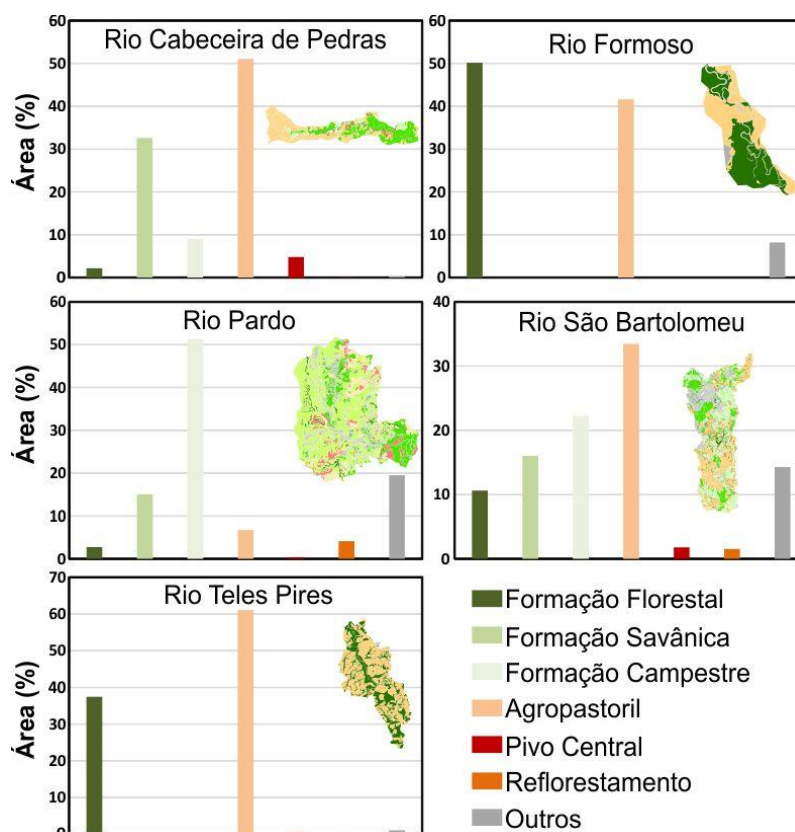
$$S_{ij} = 100 \cdot \left( \frac{1 - d_{ij}}{d_{max}} \right) \quad (1)$$

Na equação 1,  $S_{ij}$  é a similaridade (%) entre dois grupos  $i$  e  $j$ ;  $d_{max}$  é o valor máximo na matriz de distância original,  $D$ ; e  $d_{ij}$  é a distância entre os grupo  $i$  e  $j$ . O método de amalgamento foi o completo, que considera a distância máxima entre um item em um grupo e outro, utilizando a medida de distância euclidiana.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. Mapeamento da cobertura

Dentre as bacias hidrográficas estudadas, quatro (Cabeceira de Pedras, Formoso, São Bartolomeu e Teles Pires) apresentaram mais de 30 % de cobertura agropastoril (Figura 2).



**Figura 2** – Proporção de cobertura da terra (gráficos) e seus respectivos mapas para visualização da configuração espacial das classes mapeadas.

A ocupação agropastoril na bacia do rio Cabeceira de Pedras (51%) e na bacia do rio Teles Pires (61%) estão localizadas nas áreas com os maiores desenvolvimentos agrícolas do Brasil, Oeste da Bahia e Norte do Mato Grosso, respectivamente, caracterizadas por agricultura mecanizada.

A bacia do rio Pardo apresentou a menor área de ocupação de agropastoril, cerca de 7 %, devido às condições climáticas e relevo desfavorável para a mecanização. Nessa bacia a classe outros, com aproximadamente 20 % de sua área, é caracterizada por agricultura familiar centenária, caracterizada por usos múltiplos da terra. Nessa bacia também destacam-se os reflorestamentos, especialmente de eucaliptos, que cobrem cerca de 10% e vem sendo desenvolvidos com mais intensidade nas últimas três décadas.

A bacia do rio São Bartolomeu está localizada na região nuclear do Cerrado e possui todas as coberturas, com cerca de 49% de formações vegetais naturais (florestais, savânicas e campestres) representativas desse bioma. Em relação às atividades agropastoris, a agricultura de larga escala é desenvolvida nas regiões de planaltos, especialmente, em suas bordas norte, nordeste leste e sul. Já a pecuária e agricultura de menor escala são desenvolvidas na parte central da bacia, caracterizadas por áreas com relevo dissecado e que impossibilita a ocupação mais intensiva.

#### 4.2. Configuração espacial dos fragmentos naturais entre as bacias

As métricas de fragmentos evidenciaram as configurações espaciais da vegetação natural nas diferentes bacias, independentemente de suas áreas. Em relação à complexidade (AWMSI, MSI, MPAR, MPFD e AWMPFD) da formação florestal foi possível constatar que a bacia do baixo curso do rio Formoso apresentou os menores valores (Tabela 3), indicando maior regularidade em suas formas. Isso pode indicar menor acesso oriundo de seu entorno e um efeito de borda menos intenso. Ainda sobre a formação florestal, pode-se identificar o padrão de complexidade da bacia do alto curso do rio Pardo, com valores superiores aos da bacia do rio Formoso, mas inferiores às demais bacias. As bacias Cabeceira de Pedras, São Bartolomeu e Teles Pires, possuem valores de complexidade similares, representando um padrão espacial de uso intensivo.

**Tabela 3** – Métricas dos fragmentos das formações florestais, savânicas e campestres de cada bacia hidrográfica, as características das siglas podem ser consultada na Tabela 2.

Formação	AWMSI	MSI	MPAR	MPFD	AWMPFD	TE	ED	MPE	MPS	NumP	MedPS	PSCoV	PSSD	TLA	CA
<b>Bacia do Rio Cabeceira de Pedras</b>															
Florestal	8,583	8,583	9,500	1,329	1,329	976599	5,32	976599	103035	1	103035	0	0	183534	103035
Savanica	1,889	1,756	59,623	1,250	1,232	406629	2,22	11618	475	35	215	158	753	183534	16633
Campestre	13,125	8,096	133,300	1,407	1,439	301731	1,64	150865	2014	2	2014	98	1984	183534	4028
<b>Bacia do Baixo Curso do Rio Formoso</b>															
Florestal	2,567	1,754	91,005	1,265	1,255	239214	10,34	11391	553	21	82	279	1541	23137	11607
<b>Bacia do Alto Curso do Rio Pardo</b>															
Florestal	5,280	3,026	99,892	1,129	1,191	1100769	1,74	28968	456	38	216	140	641	632383	17338
Savânica	3,269	1,608	87,122	1,057	1,117	2212057	3,50	15362	662	144	190	337	2232	632383	95332
Campestre	7,929	2,288	232,387	1,087	1,189	5457586	8,63	58684	3492	93	422	444	15518	632383	324748
<b>Bacia do Rio São Bartolomeu</b>															
Florestal	8,941	3,460	173,680	1,356	1,419	7420002	13,52	16026	126	463	40	323	407	548716	58347
Savanica	5,146	2,248	71,464	1,277	1,326	4733917	8,63	19166	494	247	114	269	1330	548716	121982
Campestre	3,696	1,902	80,244	1,270	1,294	2836761	5,17	11626	361	244	74	378	1365	548716	88006
<b>Bacia do Alto Curso do Rio Teles Pires</b>															
Florestal	8,262	2,108	76,997	1,265	1,346	2710117	9,93	31151	1174	87	64	358	4199	272963	102127

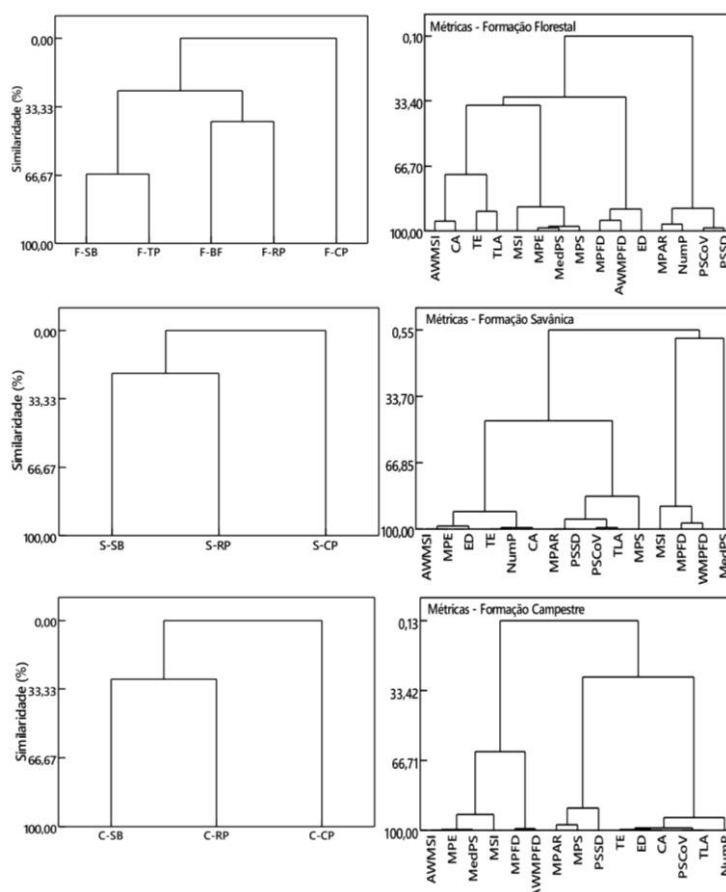
O número de fragmentos florestais nas bacias apresentou grande variação, sendo a bacia do rio Cabeceira de Pedras (1), o menor, e a bacia do rio São Bartolomeu (463), o maior (Tabela 3). A quantidade de fragmentos no São Bartolomeu indica confirma a ocupação intensiva, que pode estar relacionada com a perda de conectividade. Essa

relação mostra-se inversa quando avaliado o tamanho médio dos fragmentos, onde o Cabeceira de Pedras (103035 ha) apresentou o maior tamanho médio e o São Bartolomeu (126 ha), o menor.

Em relação à complexidade da formação savânicas, o São Bartolomeu apresentou o maiores valores de AWMSI (5,146) e MSI (2,148). Isso significa uma alta relação entre os perímetros, circularidade e número de fragmentos, sendo que é ponderada pela área no caso do AWMSI. Esses valores confirmam a intensidade de uso e ocupação da vegetação savânica, especialmente para agricultura (chapadas planas) e expansão urbana (áreas menos planas e mais dissecadas). O São Bartolomeu (247) apresentou o maior número de fragmentos savânicos, mas foi a bacia do rio Formoso (662 ha) e a bacia do Cabeceira de Pedras (475 ha), respectivamente, o maior e o menor tamanho médio de fragmentos.

O maior número de fragmentos de formação campestre foi encontrado na bacia do rio São Bartolomeu (244), principalmente na vasta depressão dissecada presente na parte central dessa bacia. Por outro lado, o menor número de fragmentos campestres foi observado na bacia do rio Cabeceira de Pedras (2), devido a suas características de relevo plano. Essas características físicas dessa bacia também explicam a mais alta complexidade, especialmente seus valores de AWMSI (13,125) e MSI (8,096), devido à sua elevada ocupação agropastoril.

As métricas dos fragmentos normalizadas permitiram a geração de dendrogramas de similaridade das formações vegetais das cinco bacias (Figura 3):

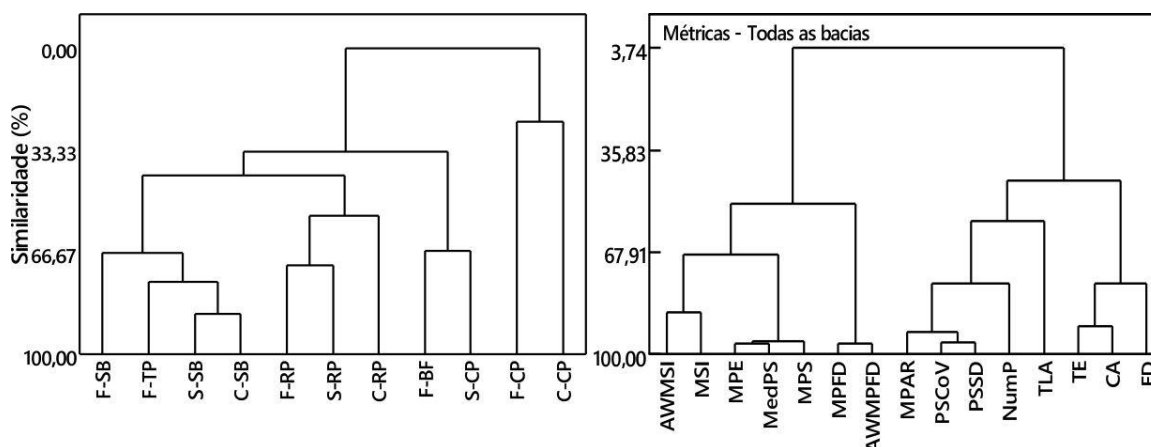


**Figura 3** – Dendrogramas de similaridade das bacias hidrográficas (SB: São Bartolomeu; TP: Teles Pires; RP: Pardo; BF: Formoso, CP: Cabeceira de Pedras) em função das métricas para as formações vegetais (F: florestal; S: savânica; C: campestre; coluna esquerda); dendrograma de similaridade das métricas (as características das siglas podem ser consultada na Tabela 2) da formação vegetal em cada bacia hidrográficas (coluna direita).

Os resultados indicaram com mais de 88 % de similaridade as métricas MPFD, AWMPFD e ED com as métricas que melhor representam as formações florestais nessas bacias. Em relação aos fragmentos savânicos, foram identificados dois agrupamentos (Figura 3): Cabeceira de Pedras (0 %) e São Bartolomeu e Pardo (21 %). Desses dados evidencia-se um grupo de métricas, nesse caso com a maior similaridade (91%) e que melhor sintetizam a configuração espacial dessas bacias, em relação à formação savânica: AWMSI, MPE, ED, TE, NumP e CA. As formações campestres possuem a mesma separação que a encontrada na formação savânicas (Figura 3). Contudo, com similaridade de 93 % entre as métricas das bacias, indica-se o grupo de TE, ED, CA, PSCoV, TLA e NumP, como as métricas mais representativas das formações campestres.

Considerando todas as métricas de todas as formações vegetais (florestal, savânica e campestre), referentes a todas as bacias, foram identificados quatro grupos de acordo com a similaridade (Figura 4): Grupo 1 (67 %) - Florestal São Bartolomeu, Florestal Teles Pires, Savânica São Bartolomeu e Campestre São Bartolomeu; Grupo 2 (66 %) - Florestal Rio Formoso e Savânica Cabeceira de Pedras; Grupo 3 (54 %) Florestal, savânica e campestre do Rio Pardo; Grupo 4 (24 %) - Florestal e Campestre Cabeceira de Pedras.

Considerando os dados de todas as formações vegetais de todas as bacias destacam-se as métricas que apresentaram similaridade superior a 95 % foram (Figura 4): MPE, MedPS, MPS, MPFD, AWMPFD, PSCoV e PSSD. Isso significa que dentre as métricas geradas neste trabalho, essas são as que melhor representam a configuração espacial dos fragmentos de todas essas bacias e todas as formações vegetais.



**Figura 4** - Dendrograma de similaridade entre as bacias hidrográficas (SB: São Bartolomeu; TP: Teles Pires; RP: Pardo; BF: Formoso, CP: Cabeceira de Pedras) em função das métricas para todas as formações vegetais (F: florestal; S: savânica; C: campestre; esquerda); dendrograma de similaridade das métricas para todas as formações e todas as bacias hidrográficas (direita).

### 5. Conclusão

As métricas de fragmentos constituem importantes medidas estruturais da paisagem e possibilitam a comparação entre áreas diferentes e evidenciam similaridades nas configurações espaciais da vegetação natural. Com a normalização pelo *log10*, foi possível identificar que as métricas MPFD, AWMPFD e ED (as métricas são apresentadas na Tabela 2), destacaram-se com a maior similaridade para a explicação da configuração espacial das cinco bacias em relação à formação florestal. No caso da formação savânica, as métricas mais indicadas foram AWMSI, MPE, ED, TE, NumP e CA. As métricas da formação campestre que evidenciam sua configuração espacial foram TE, ED, CA, PSCoV, TLA e NumP.

Para estudos abrangentes em diferentes paisagens, as métricas mais indicadas foram MPE, MedPS, MPS, MPFD, AWMPFD, PSCoV e PSSD. Isso significa que os

valores normalizados servem como indicadores para estudos relacionados com o funcionamento das paisagens, podendo ser empregados como ponderação ou peso em estudos relacionados a serviços ambientais e gestão dos recursos naturais.

### **Agradecimentos**

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto Modelagem de variáveis geoambientais para a caracterização de Serviços Ambientais (Código: 02.10.01.015.00.00), liderado pela Embrapa Cerrados.

### **Referências Bibliográficas**

- Arruda, M. B.; Proença, C. E. B.; Rodrigues, S.; Martins, E. S.; Martins, R. C.; Campos, R. N. Ecorregiões, unidades de conservação e representatividade ecológica do bioma Cerrado. In: SANO, M. S.; ALMEIDA, S. M.; RIBEIRO, J. F. (eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. 1. Planaltina: Embrapa Cerrados, Cap. 8, 2008. p. 230-272.
- Frank, S.; Fürst, C.; Koschke, L.; Makeschin, F. A contribution towards a transfer of the ecosystem service concept to landscape planning using landscape metrics. **Ecological Indicators**, 21, 30-38, 2012.
- Hargis, C.D.; Bissonette, J.A.; David, J.L. The behavior of landscape metrics used in the study of habitat fragmentation. **Landscape Ecology**, 13, 167-186, 1998.
- Klink, C.; Machado, R. Conservation of Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, 19, 2005. 707-713.
- Mcgarigal, K.; Marks, B.J. Fragstats – spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Oregon State University. 1994. 134p.
- Mantovani, J.E.; Pereira, A. Estimativa da integridade da cobertura de vegetação do Cerrado através de dados Landsat - TM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9, 1998, Santos, **Anais... São José dos Campos**> INPE, 1998. Artigos, 1455-1466 CD-ROM, Online, ISBN 85-17-00015-3. Disponível em <[http://marte.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.11.10.57/doc/2\\_168p.pdf](http://marte.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.11.10.57/doc/2_168p.pdf)>. Acesso em: 09 nov. 2014.
- Rempel R.S.; Kaukinen D.; Carr A.P. **Patch Analyst and Patch Grid**. Ontario Ministry of Natural Resources, Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario, 2012.
- Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M. et al. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. Cap. 6, p.151-212.
- Silva, J.F.; Fariñas, M.R.; Felfili, J.M.; Klink, C.M. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the Cerrado region of Brazil. **Journal of Biogeography**, v.33, p.536-548, 2006.
- Silva, J. M. C.; Bates, J. M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: A tropical savanna hotspot. **Bioscience**, 52, 2002. 225-233.
- Sano, E. E.; Rosa, R.; Brito, J. L.; Ferreira, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, p. 113-124, 2009.