



## **EFEITOS DAS MUDANÇAS DO USO E COBERTURA DA TERRA NOS PADRÕES DE PAISAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO CAMBUÇU, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

Alexandro Gularte Schafer

(Universidade Federal do Pampa, Docente dos cursos de Engenharia do campus Bagé,  
[alexandro.schafer@unipampa.edu.br](mailto:alexandro.schafer@unipampa.edu.br))

**Resumo:** O objetivo deste estudo foi mapear as mudanças que ocorreram no uso e cobertura da terra e avaliar a sua influência nos padrões de paisagem na bacia hidrográfica do Arroio Cambuçu, Rio Grande do Sul, entre os anos de 1985 a 2014. Para tanto, utilizou-se uma série temporal de imagens de satélite (1985, 1996, 2003 e 2014), modelos matemáticos e métricas de paisagem. Os resultados indicam mudanças significativas no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica nos últimos 29 anos. A diversidade da paisagem aumentou de 0,81 em 1985 para 1,01 em 2014, enquanto a dominância diminuiu de 0,80 para 0,60, o que indica que houve uma redução nas diferenças entre os padrões de paisagem. A fragmentação da paisagem reduziu entre 1985 a 2014. A taxa de mudança global foi 0,31, indicando uma transição quase balanceada de duas vias dominadas pela alternância no uso e cobertura da terra entre as classes “campestre” e “cultura temporária” ao longo do tempo, o que foi fomentado pelo avanço da agricultura em locais anteriormente destinados à pecuária.

**Palavras chave:** Bacia hidrográfica, Uso e cobertura da terra, Padrões de paisagem.

## **EFFECTS OF LAND USE AND LAND COVER CHANGES ON LANDSCAPE PATTERNS OF CAMBUÇU RIVER WATERSHED, RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL**

**Abstract:** The aim of this study was to map the changes that occurred in land use and land cover and to evaluate their influence on landscape patterns in the Arroio Cambuçu watershed, Rio Grande do Sul, from 1985 to 2014. For this purpose, we used a time series of satellite images (1985, 1996, 2003 and 2014), mathematical models and landscape metrics. Results indicate significant changes in land use and land cover in the watershed over the past 29



years. Landscape diversity increased from 0.81 in 1985 to 1.01 in 2014, while dominance decreased from 0.80 to 0.60, indicating that there was a reduction in differences between landscape patterns. Landscape fragmentation reduced between 1985 and 2014. The overall rate of change was 0.31, indicating a quasi-balanced two-way transition dominated by alternating land use and land cover between the classes “Grass” and “temporary crop” over, which was caused by the advancement of agriculture in places previously occupied by livestock.

**Keywords:** Watershed, LULC, Landscape Pattern

## EFEITOS DOS MUDANÇAS DO USO E COBERTURA DO SOLO EM LOS ESTÁNDARES DEL PAISAJE DE LA CUENCA DEL RÍO CAMBUÇU, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

**Resumen:** El objetivo de este estudio fue mapear los cambios que ocurrieron en el uso y la cobertura del suelo y evaluar su influencia en los estándares del paisaje en la cuenca del Arroio Cambuçú, Rio Grande do Sul, de 1985 a 2014. Para este propósito, utilizamos una serie temporal de imágenes satelitales (1985, 1996, 2003 y 2014), modelos matemáticos y métricas de paisaje. Los resultados indican cambios significativos en el uso y la cobertura del suelo en la cuenca en los últimos 29 años. La diversidad del paisaje aumentó de 0,81 en 1985 a 1,01 en 2014, mientras que el dominio disminuyó de 0,80 a 0,60, lo que indica que hubo una reducción en las diferencias entre los estándares del paisaje. La fragmentación del paisaje se redujo entre 1985 y 2014. La tasa general de cambio fue de 0,31, lo que indica una transición bidireccional casi equilibrada dominada por la alternância en el uso y la cobertura del suelo entre las clases de "Campos" y "Cultivo temporal" a lo largo del tiempo, que fue fomentado por el avance de la agricultura en lugares previamente destinados al ganado.

**Palabras clave:** Cuenca, Uso y cobertura del suelo; Estándares del paisaje.

### Introdução

O estudo das mudanças no uso e na cobertura da terra é de grande relevância, pois proporciona informação sobre o que mudou e onde as mudanças ocorreram e possibilita a formulação de medidas de mitigação e estratégias de reabilitação adequadas (Santillan et al.,



2010). Identificar as causas primárias e estimar os processos e tendências das mudanças no uso e cobertura da terra é importante para a gestão territorial a nível local e regional e para o gerenciamento ambiental (Wang et al., 2010). Entender os processos, dinâmicas e principais causas das mudanças no uso e cobertura da terra envolve o uso de técnicas integradas, englobando diversas disciplinas (Wu et al., 2008).

A avaliação temática das mudanças no uso e na cobertura da terra envolve procedimentos de monitoramento e de mapeamento que requerem métodos e técnicas efetivas. Métodos de levantamento e mapeamento convencionais nem sempre podem proporcionar informações necessárias em tempo hábil (Yang, 2005). Devido à visão sinótica, formato similar a um mapa e a cobertura repetitiva, as imagens de sensoriamento por satélite se constituem em uma fonte de informações de qualidade sobre a cobertura da terra em nível local, regional e global (Foody, 2002). De acordo com Macleod e Congalton (1998), essas imagens podem ser usadas para monitorar as mudanças no uso e na cobertura da terra, tanto em termos quantitativos quanto em termos qualitativos.

A análise multitemporal da paisagem pode ser utilizada para entender os processos e os padrões da paisagem ao longo do tempo, verificando como eles se comportam e quantificando as taxas relacionadas à dinâmica das mudanças (Lopez-Granado et al., 2013). Entender o inter-relacionamento entre os padrões espaciais da paisagem e os processos ecológicos tem se tornado uma fronteira na pesquisa internacional em termos de ecologia da paisagem (Wu et al., 2008), sendo crítico para qualquer pesquisa aprofundada nessa área de conhecimento (Zhou and Li, 2015). Os índices relacionados aos padrões da paisagem podem ser usados para quantificar características (composição e configuração) do uso e cobertura da terra (Long et al., 2010). Como um método de pesquisa ambiental interdisciplinar, a avaliação da paisagem pode proporcionar uma estrutura para o planejamento e o desenvolvimento de um determinado local (Anderson, 1979). O cálculo de métricas da paisagem é amplamente usado para descrever os padrões de paisagem. Entretanto, não há um subconjunto de métricas, padrão que seja amplamente aceito e utilizado para analisar a paisagem (Wang e Yang, 2012).

Este artigo tem como objetivo geral investigar as mudanças no uso e cobertura da terra e seus efeitos nos padrões de paisagem na bacia hidrográfica do Arroio Cambuçu, que é uma subbacia da bacia hidrográfica do Rio Negro, localizada no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, em um período de 29 anos. Para tanto, integrou-se métodos de ecologia da paisagem,

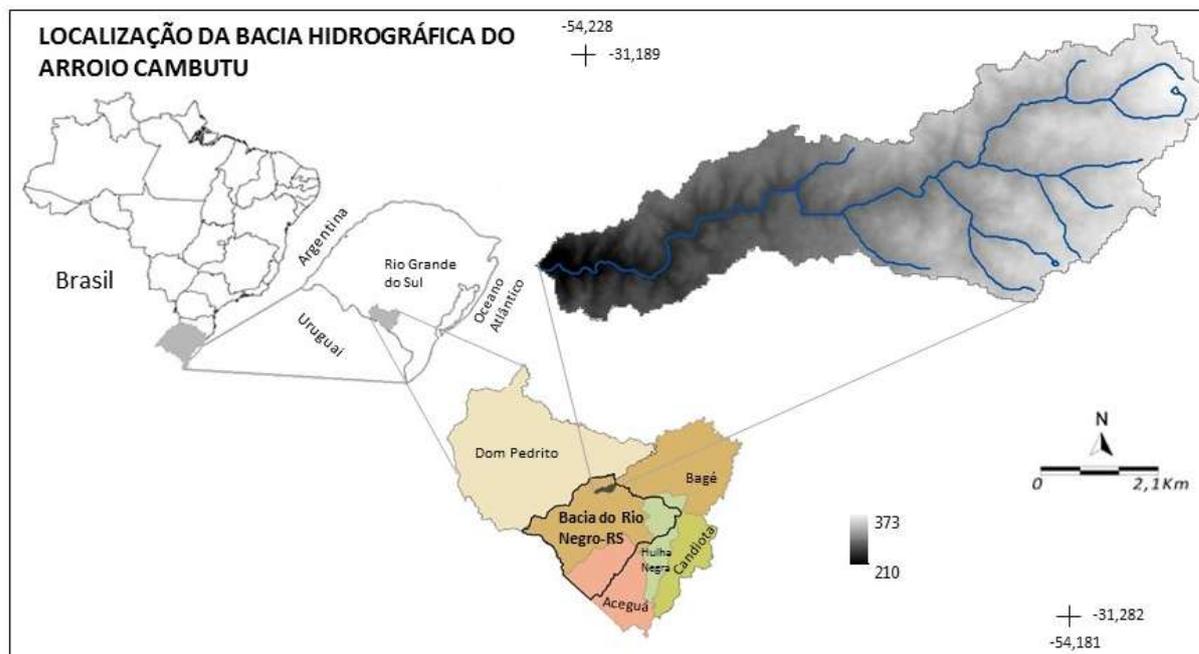
sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG), com base em uma série histórica de imagens do satélite Landsat TM e OLI (imageadas em 1985, 1996, 2003 e 2014).

Os objetivos específicos do estudo foram (1) reconstruir os padrões de uso e cobertura da terra ao longo de 29 anos usando dados obtidos por sensoriamento remoto; (2) analisar a dinâmica da paisagem da bacia do Arroio Cambuçu e; (3) investigar as causas dessas mudanças.

### Área de estudo

A bacia hidrográfica do Arroio Cambuçu (Figura 1) faz parte da bacia hidrográfica do Rio Negro-RS e está localizada entre as coordenadas 31° 11' 20,4" e 31° 16' 55,2" sul e 54° 10' 52,6" e 54° 16' 55,2" oeste. A bacia está completamente inserida no município de Bagé-RS e tem área de drenagem de aproximadamente 32 km<sup>2</sup>.

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do Arroio Cambuçu.



Organização: Os autores, 2016.

A região onde está inserida apresenta, segundo a classificação de Köppen, clima subtropical ou virginiano (Cfa), pertencente à área morfoclimática denominada Escudo Sul-Riograndense-Uruguaio. As temperaturas médias máximas giram em torno de 24,1°C e as



médias mínimas em torno de 13,1°C. Os solos do tipo Brunizem e laterítico abrangem a maior parte da bacia. A precipitação média anual em Bagé fica em torno de 1.423 mm, sendo que ocorrem períodos de estiagem em que a precipitação mensal chega a ser nula, principalmente no período de novembro a março, como vem sendo registrado nos últimos anos.

## MATERIAIS E MÉTODO

O método de pesquisa pode ser agrupado nas seguintes etapas: 1) aquisição de dados primários e mapeamento do uso e cobertura da terra; 2) cálculo de métricas da paisagem; 3) verificação do estado e da tendência das mudanças no uso e cobertura da terra e; 4) caracterização das mudanças na paisagem.

### Aquisição de dados primários e classificação do uso e cobertura da terra

Os dados de uso e cobertura da terra foram obtidos a partir da classificação supervisionada de quatro imagens da série de satélites Landsat (Tabela 1), usando o método da Máxima Verossimilhança (MaxVer) no software ENVI, versão 5.0 e um mapa topográfico na escala 1:50.000, para a correção geométrica das imagens. A retificação geométrica e a normalização radiométrica foram realizadas na etapa de pré-processamento das imagens.

Tabela 1: Informações das imagens utilizadas

Ano	Sensor	Cena (órbita/ponto)
1985	TM	222/082, 223/082
1996	TM	222/082, 223/082
2003	TM	222/082, 223/082
2014	OLI	222/082, 223/082

Ainda que o processo de classificação tenha sido realizado de maneira criteriosa, os algoritmos de classificação estão suscetíveis a erros. Buscando minimizá-los, foi realizada uma etapa de pós-classificação utilizando uma ferramenta que possibilita que a classe atribuída a um determinado pixel seja alterada manualmente pelo operador. As correções foram realizadas tendo como base as saídas de campo e imagens de alta resolução disponíveis no *Google Earth*.

O mapeamento do uso e da cobertura da terra foi validado através da análise qualitativa e quantitativa dos dados gerados após a etapa de pós-classificação. Na análise qualitativa, foi realizada a comparação entre o mapa temático oriundo da classificação e as



verdades terrestres, juntamente com o conhecimento adquirido nas saídas de campo. Para a imagem de 2003, utilizaram-se imagens de alta resolução disponíveis no *Google Earth*. Na análise quantitativa, foi considerado o coeficiente *Kappa*, índice que quantifica a exatidão do mapeamento a partir de uma escala proposta por Landis e Koch (1977). Os coeficientes *Kappa* obtidos após a etapa de pós-classificação foram de 0,912 para 1985, 0,872 para 1996, 0,896 para 2003 e 0,935 para 2014.

As mudanças foram identificadas para as cinco classes de uso e cobertura da terra, definidas a partir da análise das características texturais e informações espectrais dos alvos, de acordo com IBGE (2013): campestre, corpo d'água continental, áreas florestais, silvicultura e cultura temporária.

### **Cálculo de métricas da paisagem**

As métricas da paisagem utilizadas no estudo foram: a) percentagem da paisagem correspondente a cada classe de uso e cobertura da terra; b) índice de diversidade; c) índice de dominância; d) número de fragmentos; e) índice de fragmentação e; f) área média dos fragmentos. Os itens *a*, *c* e *f* foram calculados no software FRAGSTATS 2.0 (Mcgarigal et al., 2012), a partir dos arquivos de uso e cobertura da terra em formato matricial obtidos na etapa anterior. Esse programa calcula os índices de paisagem em nível de fragmento (elementos básicos do mosaico), classe (de uso e cobertura da terra) e paisagem (o mosaico de fragmentos como uma unidade completa) (Teixido et al., 2002). Os demais índices foram calculados com o auxílio de planilha eletrônica, com base nas equações apresentadas a seguir.

### **Estado e tendência das mudanças do uso da terra**

As tendências das mudanças no uso e cobertura da terra podem ser descritas a partir da análise: a) de cada classe de uso e cobertura da terra, individualmente e; b) considerando todas as classes conjuntamente.

Para realizar as análises em nível de classe de uso e cobertura da terra, é possível fazer uso dos índices de mudança ( $N_c$ ), de estado total de mudança ( $T_c$ ) e de direção e tendência ( $P_s$ ) (Feng et al., 2011; Wang e Wang, 2013). O índice  $N_c$  é definido como a diferença entre o máximo e o mínimo de ganho ou de perda que ocorreu em cada classe de uso e cobertura da terra entre os cenários.  $T_c$  é definido como a soma de ganho ou perda de uma área (Pontius et



al. 2004, Feng et al. 2011, Wang e Wang, 2013) e reflete a dinâmica das mudanças no uso e cobertura da terra; quatro tipos de estado podem ser atribuídos a uma classe de uso e cobertura da terra: balanceado (perdas iguais aos ganhos), quase balanceado (pequena desigualdade entre perdas e ganhos), desbalanceado (diferenças significantes entre perdas e ganhos) e extremamente desbalanceado (Luo et al., 2008). A direção pode ser definida tanto como uma transição em um único sentido quanto como uma transição em dois sentidos (duas vias). A tendência se refere a tendência de aumento ou de redução da ocupação de cada classe de uso e cobertura da terra (Luo et al. 2008; Feng et al. 2011; Wang e Wang, 2013). Assim, os índices  $N_c$ ,  $T_c$ , e  $P_s$  são definidos como:

$$N_c = (U_b - U_a) \times 100\% / U_a = (\Delta U_{in} - \Delta U_{out}) \times 100\% / U_a \quad \text{Equação: (1)}$$

$$T_c = (\Delta U_{in} + \Delta U_{out}) \times 100\% / U_a \quad \text{Equação: (2)}$$

Onde  $U_a$  e  $U_b$  representam a área de uma classe de uso e cobertura da terra nos cenários “a” e “b”, respectivamente.  $\Delta U_{out} (\geq 0)$  representa as áreas de uma classe que foram perdidas ou convertidas para outra classe no período em estudo, e  $\Delta U_{in} (\geq 0)$  denota a área total ocupada por outras classes no cenário “a” e que foram convertidas para a classe em análise no cenário “b” (Feng et al. 2011). Das Equações (1) e (2), é possível calcular o índice  $P_s$ , a partir da equação abaixo.

$$P_s = \frac{N_c}{T_c} = \frac{\Delta U_{in} - \Delta U_{out}}{\Delta U_{in} + \Delta U_{out}} \quad -1 \leq P_s \leq 1, \Delta U_{in} + \Delta U_{out} \neq 0 \quad \text{Equação: (3)}$$

Se  $0 < P_s < 1$ , o índice sugere que a mudança naquele tipo de uso e cobertura da terra apresenta tendência de aumentar ou expandir;  $P_s$  tendendo a 1 sugere que a classe apresenta predomínio de transição em um único sentido.  $P_s$  próximo de zero significa que está ocorrendo uma transição de via dupla com expansão limitada, caracterizando uma mudança balanceada para aquela classe; se  $-1 < P_s < 0$ , o índice sugere que a mudança na classe apresenta uma tendência decrescente.  $P_s$  tendendo a -1 sugere que a classe apresenta uma transição predominantemente em um único sentido e a mudança é extremamente desbalanceada (Luo et al. 2008).



Para analisar as mudanças considerando o conjunto de classes de uso e cobertura da terra existentes na bacia hidrográfica, pode ser utilizado o índice de estado e tendência total da mudança ( $P_t$ ), obtido a partir da equação abaixo (Feng et al. 2011; Wang e Wang, 2013):

$$P_t = \frac{S_a}{S_s} = \frac{\sum_1^n (\Delta U_{in-i} - \Delta U_{out-i})}{\sum_1^n |\Delta U_{in-i} + \Delta U_{out-i}|} \times 100\%, (S_s \neq 0, 0 \leq P_t \leq 1) \quad \text{Equação: (4)}$$

Em que  $S_a$  refere-se à mudança total de uma classe e  $S_s$  refere-se a mudança em rede.

Os índices definidos pelas equações 1 a 4 foram calculados para os períodos 1985-1996, 1996-2003 e 2003-2014.

### Caracterização da mudança na paisagem

A caracterização da mudança na paisagem pode ser realizada a partir dos índices de diversidade (H), de dominância (D) e de fragmentação (F) da paisagem. O índice de diversidade da paisagem (H) expressa o grau que uma dada variedade de elementos da paisagem está representada na área em estudo em proporção igual. Quanto maior for o índice, mais diversa é a paisagem. Portanto a diversidade máxima é alcançada quando todos os usos são representados em proporção igual (Britaldo, 1998). O índice de diversidade pode ser definido utilizando a Equação 5 (Zhang et al., 2008):

$$H' = -\sum_{i=1}^n P_i \ln P_i \quad \text{Equação: (5)}$$

Onde  $H'$  é o índice de diversidade da paisagem,  $P_i$  é a fração de área ocupada pela classe de uso e cobertura da terra e  $n$  é o número total de classes.

O índice de dominância da paisagem (D) é definido como a discrepância entre a diversidade em um determinado cenário ( $H'$ ) e a diversidade máxima da paisagem ( $H_{max}$ ) (O'Neill et al., 1988).

$$D = H_{max} - H' \quad \text{Equação: (6)}$$

A diversidade máxima é definida pela equação 7:



$$H_{max} = \ln m$$

Equação: (7)

O termo  $\ln m$  representa a diversidade máxima, quando todas as classes de uso e cobertura da terra estão presentes em proporção igual. A aplicação do índice de dominância serve para medir a extensão da dominância de uma ou mais classes de uso e cobertura da terra. Valores pequenos para a dominância indicam que existem várias classes em proporções iguais na paisagem, enquanto valores altos, indicam que poucas classes dominam a cena (Britaldo, 1998).

O índice de fragmentação da paisagem (F) é usado para estimar a fragmentação da paisagem (O'Neill et al., 1988) e pode ser estimado utilizando a Equação 8 (Zhang et al. 2008):

$$F = (N_p - 1)/N_c$$

Equação: (8)

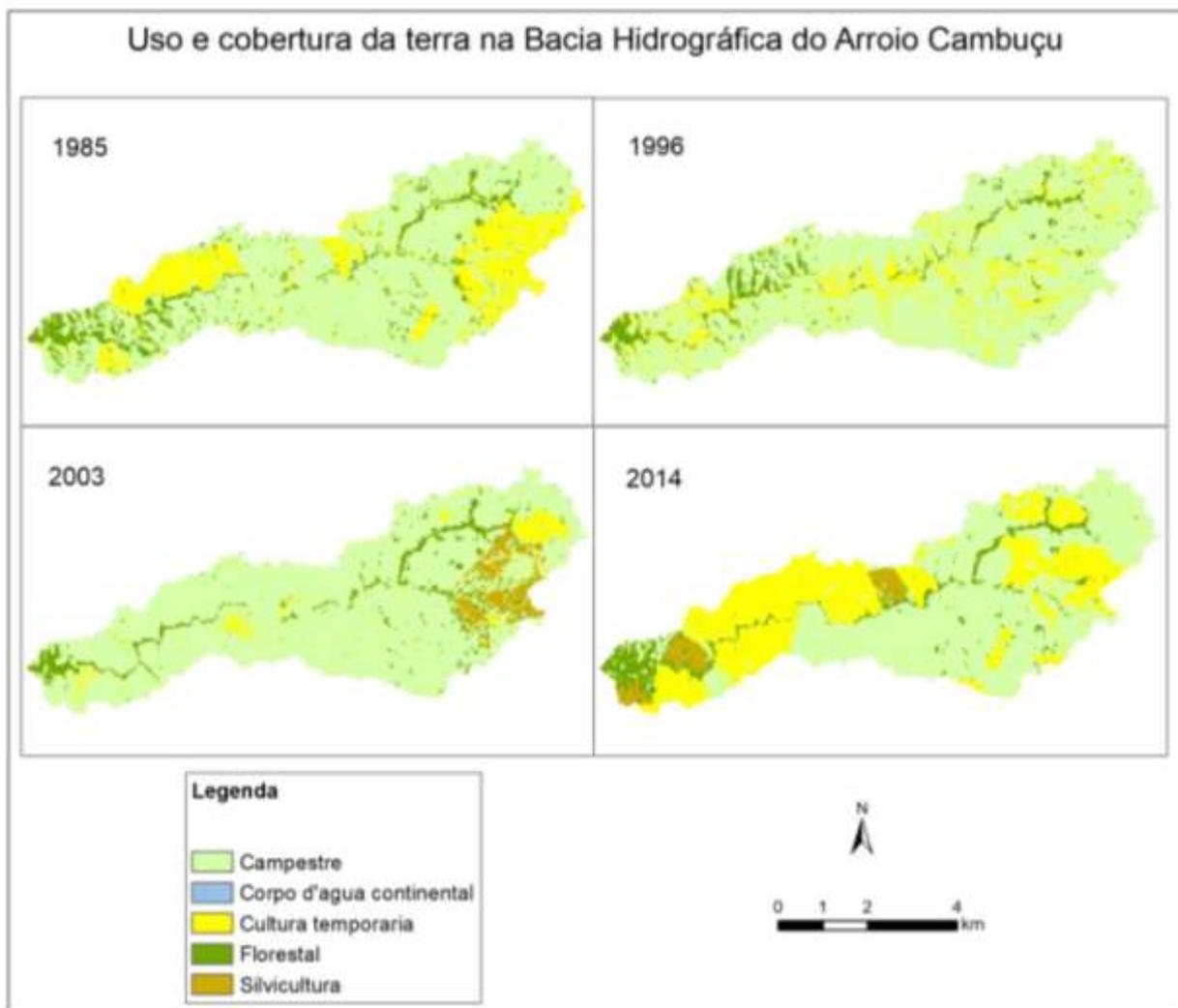
Onde  $N_p$  é o número total de classes de uso e cobertura da terra e  $N_c$  é a relação entre a área total e a área mínima dos fragmentos, em que  $0 \leq F \leq 1$ .  $F=1$  indica fragmentação total e  $F=0$  indica a inexistência de fragmentação.

## Resultados

### *O processo de mudança no uso e cobertura da terra*

Na Figura 2 apresenta-se a distribuição espacial das classes de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Arroio Cambuçu em 1985, 1996, 2003 e 2014.

Figura 2: Padrão espacial do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Arroio Cambuçu em 1985, 1996, 2003 e 2014.

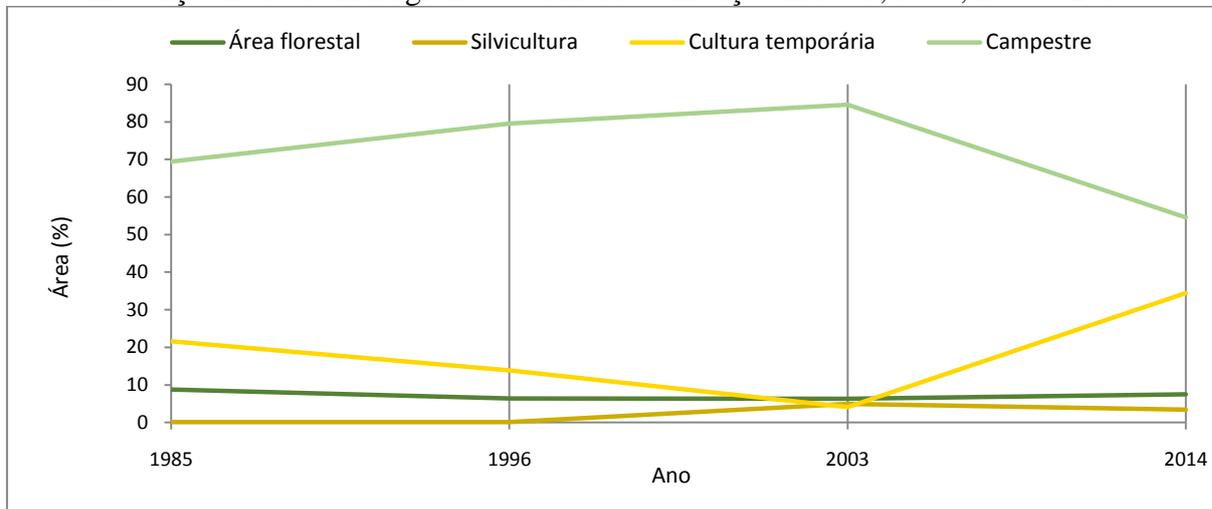


Fonte: Os autores, 2016.

No gráfico da figura 3 é possível visualizar as porcentagens de área ocupadas por cada classe de uso e cobertura da terra com relação a área total da bacia hidrográfica, em cada cenário analisado.

A partir da análise visual da figura 2 e do gráfico da figura 3 é possível verificar que os principais componentes da estrutura da paisagem na bacia hidrográfica do Arroio Cambuçu são as classes “campestre” e “cultura temporária”. Em 2014, a classe “campestre” dominava a paisagem, seguida pela classe “cultura temporária”. As outras classes cobriam porções menores da bacia hidrográfica.

Figura 3. Porcentagem de área ocupada por cada classe de uso e cobertura da terra e suas mudanças na bacia hidrográfica do Arroio Cambuçu em 1985, 1996, 2003 e 2014.



Fonte: Autores, 2016.

No cenário referente a 1985 havia predomínio de áreas campestres, com as áreas florestais ocupando locais próximos às margens dos cursos d'água, como é típico da paisagem na região em que a bacia hidrográfica está inserida. As áreas destinadas à agricultura eram esparsas e fragmentadas. Nos cenários de 1996 e 2003 detecta-se aumento nas áreas campestres, que ocuparam áreas anteriormente ocupadas por culturas temporárias. Em 2003, verifica-se considerável aumento nas áreas de silvicultura na parte alta da bacia, inclusive próximo a nascentes. Em 2014 destaca-se o aumento expressivo nas áreas ocupadas por atividades agrícolas e o surgimento de áreas destinadas à silvicultura na margem direita do Arroio Cambuçu, em locais anteriormente ocupados por campos.

A quantificação das áreas ocupadas pelas classes de uso e cobertura da terra e das taxas de mudança ao longo do período em estudo é apresentada na tabela 2.

Na tabela 2 é possível verificar um predomínio da classe “campestre” em todo o período em estudo.

Com relação às mudanças entre 1985 e 2014, observa-se redução de área ocupada pelas classes “campestre” e “área florestal”. As áreas campestres reduziram 21,40% (4,74km<sup>2</sup>), enquanto as áreas florestais tiveram redução de 14,95% (0,42km<sup>2</sup>). As áreas destinadas à silvicultura aumentaram 2080% (1,04km<sup>2</sup>), enquanto as áreas ocupadas por culturas temporárias e corpos d'água aumentaram 59,65% (4,11km<sup>2</sup>) e 100% (0,01km<sup>2</sup>), respectivamente.

Tabela 2. Mudanças no uso e cobertura da terra na bacia do Arroio Cambuçu entre 1985 e 2014

Ano	Parâmetro	Corpo d'água	Área florestal	Silvicultura	Cultura temporária	Campestre
1985	Area (km <sup>2</sup> )	0,01	2,81	0,05	6,89	22,15
1996	Area (km <sup>2</sup> )	0,02	2,04	0,03	4,44	25,38
2003	Area (km <sup>2</sup> )	0,02	2,01	1,58	1,32	26,98
2014	Area (km <sup>2</sup> )	0,02	2,39	1,09	11,00	17,41
1985-1996	Taxa de mudança (%)	0,00	-0,07	0,00	-0,22	0,29
1996-2003	Taxa de mudança (%)	0,00	0,00	0,22	-0,45	0,23
2003-2014	Taxa de mudança (%)	0,00	0,03	-0,04	0,88	-0,87
1985-2014	Mudança em área ocupada (%)	100,0	-14,95	2080,0	59,65	-21,40

Entre 1985 e 1996 observa-se uma redução nas áreas florestais e nas áreas ocupadas por culturas temporárias, a uma taxa de 0,07 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup> e 0,22 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Já as áreas campestres apresentaram uma taxa de aumento de 0,29 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup>.

Entre 1996 e 2003 continua a ocorrer redução nas áreas destinadas à culturas temporárias (a uma taxa de 0,45 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup>) e aumento nas áreas campestres (a uma taxa de 0,23 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup>). Nesse período observa-se o avanço da silvicultura na bacia hidrográfica, que aumenta 1,55 km<sup>2</sup> em área, o que corresponde a uma taxa de 0,22 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup>.

Entre 2003 e 2014 verifica-se uma inversão nas tendências de expansão e retração nas classes “campestre” e “cultura temporária”. Enquanto as áreas campestres reduziram 9,57 km<sup>2</sup> (0,87 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup>), as áreas ocupadas por culturas temporárias aumentaram 9,68 km<sup>2</sup> (0,88 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup>). Além disso, observa-se redução da silvicultura e aumento nas áreas florestais, a taxas de 0,04 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup> e 0,03 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente.

### ***Tendência das mudanças no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Arroio Cambuçu***

Os valores obtidos para os índices relacionados ao estado e a tendência das mudanças para cada classe de uso e cobertura da terra entre 1985 e 2014 são apresentados na tabela 3, enquanto os índices obtidos para o conjunto das classes existentes na bacia hidrográfica são apresentados na tabela 4.

Tabela 3. Índices de estado e tendência das mudanças para cada classe de uso e cobertura da terra.

Intervalo	Parâmetro	Corpo d'água	Área florestal	Silvicultura	Cultura temporária	Campestre
<b>1985-1996</b>	N <sub>c</sub> (%)	100,00	-27,40	-40,00	-35,56	14,58
	T <sub>c</sub> (%)	252,00	145,73	147,69	151,81	131,86
	P <sub>s</sub>	0,40	-0,19	-0,27	-0,23	0,11
<b>1996-2003</b>	N <sub>c</sub> (%)	0,00	-1,47	5166,67	-70,27	6,30
	T <sub>c</sub> (%)	144,00	165,00	5349,00	124,78	119,72
	P <sub>s</sub>	0,00	-0,01	0,97	-0,56	0,05
<b>2003-2014</b>	N <sub>c</sub> (%)	0,00	18,91	-31,01	733,33	-35,47
	T <sub>c</sub> (%)	148,50	178,21	168,95	912,48	109,23
	P <sub>s</sub>	0,00	0,11	-0,18	0,80	-0,32
<b>1985-2014</b>	N <sub>c</sub> (%)	100,00	-14,95	2080,00	59,65	-21,40
	T <sub>c</sub> (%)	270,00	147,88	2277,00	196,84	115,40
	P <sub>s</sub>	0,37	-0,10	0,91	0,30	-0,19

Tabela 4. Índices de estado e tendência das mudanças considerando o conjunto das classes de uso e cobertura da terra

	1985-1996	1996-2003	2003-2014	1985-2014
S <sub>a</sub>	-0,36	-0,40	0,00	0,00
S <sub>s</sub>	1,00	1,00	0,01	0,01
P <sub>t</sub>	-0,36	-0,40	0,40	0,31

Durante o período 1 (1985-1996), ocorreram mudanças significativas na bacia hidrográfica. O índice de estado e tendência P<sub>t</sub> foi - 0,36, sugerindo que as mudanças no uso e cobertura da terra foram dominadas por uma transição quase balanceada, de via dupla. O índice P<sub>s</sub> para as classes “campestre” e “corpo d’água” foi 0,11 e 0,40, respectivamente, sugerindo que a mudança nessas classes foi dominada por uma transição com expansão quase balanceada e de via dupla. O índice P<sub>s</sub> para as classes “Área florestal”, “Silvicultura” e “Cultura temporária” foi de -0,19, -0,27 e -0,23, respectivamente, sugerindo uma tendência de redução quase balanceada e de via dupla.

No período 2 (1996-2003), o índice de estado e tendência P<sub>t</sub> foi - 0,40, sugerindo mudanças dominadas por uma transição quase balanceada, de via dupla. O índice P<sub>s</sub> para as classes “Área florestal” e “Campestre” foi -0,01 e 0,05, respectivamente sugerindo que a mudança foi dominada por uma transição balanceada e de via dupla. O índice P<sub>s</sub> para a classe “Silvicultura” foi de 0,97, sugerindo uma tendência de aumento desbalanceada, em um sentido (no caso, ganho de área). Para a classe “campestre”, o índice P<sub>s</sub> foi -0,56, sugerindo uma tendência de redução quase balanceada, em um sentido.

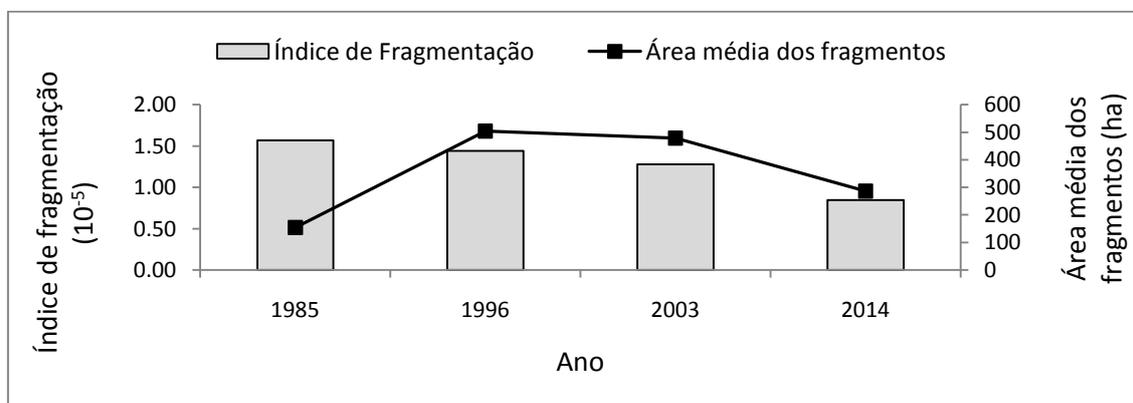
No período 3 (2003-2014) o índice de estado e tendência  $P_t$  foi 0,40, sugerindo que as mudanças no uso e cobertura da terra foram dominadas por uma transição quase balanceada, de via dupla. O índice  $P_s$  para a classe “Área florestal” foi de 0,11, sugerindo uma tendência de aumento balanceada, de via dupla.  $P_s$  foi de 0,80 para a classe “Cultura temporária”, sugerindo uma tendência de aumento desbalanceada, em um sentido. O índice  $P_s$  para a classe “Silvicultura” foi de -0,18, sugerindo uma tendência de redução balanceada, de via dupla. O índice  $P_s$  para a classe “campestre” foi de -0,32, sugerindo uma tendência de redução quase balanceada e de via dupla.

### Mudanças nos padrões de paisagem na bacia hidrográfica do Arroio Cambuçu

As mudanças nos padrões da paisagem foram analisadas com base na fragmentação das classes de uso e cobertura da terra e nos índices de dominância e de diversidade.

No gráfico da figura 4 apresenta-se a quantificação da área média dos fragmentos e do índice de fragmentação no período em estudo.

Figura 4. Fragmentação na bacia hidrográfica entre 1985 e 2014.



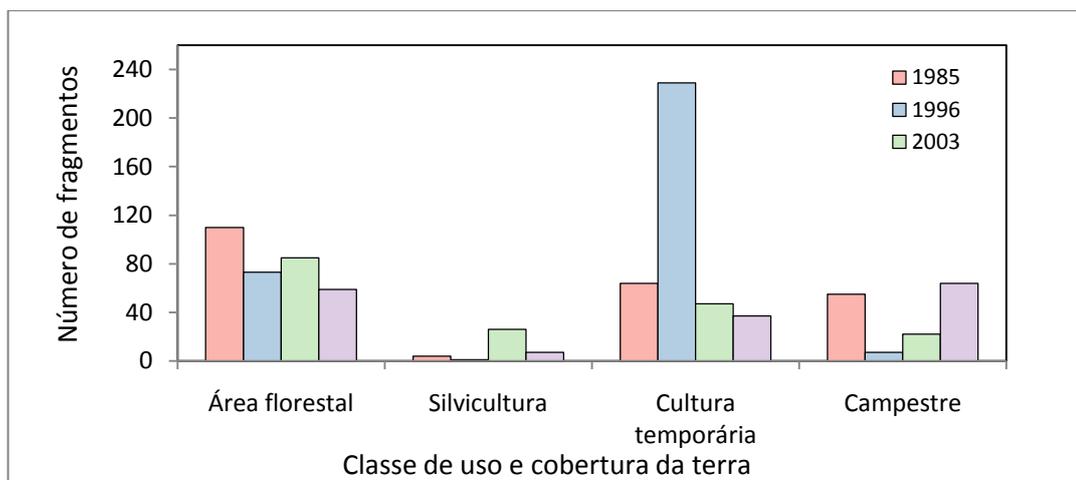
Fonte: Os autores, 2016.

O índice de fragmentação da paisagem diminuiu ao longo de todos os períodos em estudo, apresentando valores da ordem de  $1,57 \times 10^{-5}$  em 1985, reduziu para  $1,44 \times 10^{-5}$  em 1996, para  $1,28 \times 10^{-5}$  em 2003 e para  $8,47 \times 10^{-6}$  em 2014. Já a área média dos fragmentos aumentou entre 1985 e 1996, e sofreu redução nos cenários de 2003 e 2014. Isto indica um aumento na fragmentação da paisagem em 1996 com relação ao cenário de 1985, seguido de redução em 2003 e 2014. Esta mudança no índice de fragmentação foi causada em grande

parte pelo surgimento de áreas esparsas destinadas a culturas temporárias em 1996 e de seu agrupamento em áreas maiores a partir de 2003.

No gráfico da figura 5 apresenta-se a quantificação do número de fragmentos na bacia hidrográfica.

Figura 5. Número de fragmentos na bacia do Arroio Cambuçu entre 1985 e 2014



Fonte: Autores, 2016.

Considerando os cenários de 1985 e 2014, o número de fragmentos da paisagem aumentou para a classe “campestre” e reduziu para as demais classes (Figura 5).

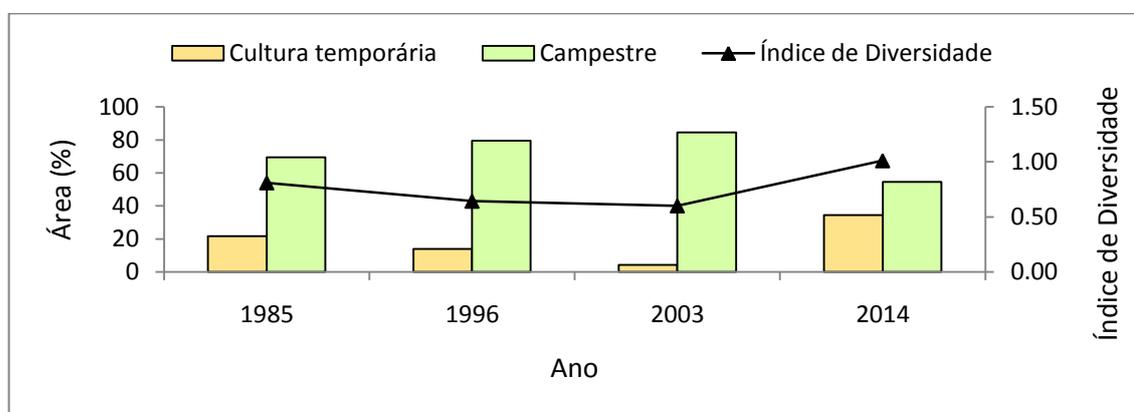
No período 1 (1985-1996) houve redução no número de fragmentos para todas as classes, com exceção da classe “cultura temporária”, que apresentou um aumento expressivo. O valor médio, em área, dos fragmentos aumentou para as classes “campestre” e “corpo d’água continental” e reduziu para as demais classes. No período 2 (1996-2003) houve aumento no número de fragmentos para todas as classes, com exceção da classe “cultura temporária”. O valor médio, em área, dos fragmentos aumentou para todas as classes, com exceção da “campestre”. No período 3 (2003-2014) houve redução no número de fragmentos para todas as classes, com exceção da classe “campestre”. O valor médio, em área, dos fragmentos aumentou para todas as classes, com exceção da “campestre”.

Embora a classe “campestre” tenha permanecido como a classe de uso e cobertura da terra que ocupa a maior parte da bacia, a redução no índice de fragmentação foi fortemente

influenciada pelo agrupamento de pequenas áreas ocupadas por culturas temporárias em áreas maiores.

No gráfico da figura 6 apresentam-se os valores obtidos para o índice de diversidade na bacia hidrográfica nos cenários em análise.

Figura 6. Evolução do índice de diversidade na bacia hidrográfica do Arroio Cambuçu entre 1985 e 2014.



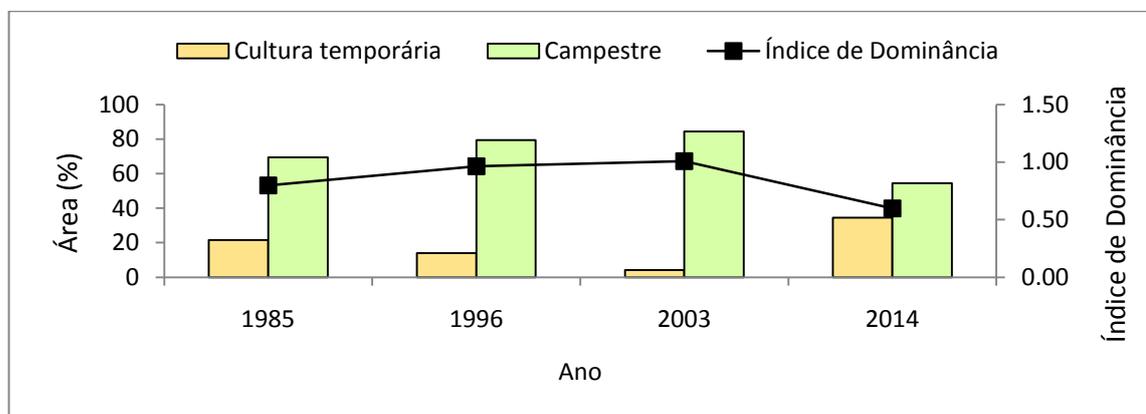
Fonte: Os autores, 2016.

O índice de diversidade da bacia hidrográfica do Arroio Cambuçu (Figura 6) apresentou redução nos cenários de 1996 e de 2003 e aumentou em 2014. Analisando os dados referentes as áreas ocupadas pelas classes “Campestre” e “Cultura temporária”, verifica-se que quanto menor é a diferença entre as áreas ocupadas por culturas temporárias e por campos, maior é o índice de diversidade.

No gráfico da figura 7 apresentam-se os valores obtidos para o índice de dominância na bacia hidrográfica nos cenários em análise.

No gráfico da figura 7 é possível observar que o índice de dominância aumentou nos cenários de 1996 e 2003 e apresentou redução em 2014. Verifica-se que, quanto menor é a diferença em área ocupada pelas classes “Campestre” e “Cultura temporária”, menor é o índice de dominância da paisagem. O índice de dominância da paisagem para toda a bacia hidrográfica foi reduzido de 0,80 em 1985 para 0,60 em 2014.

Figura 7. Evolução do índice de dominância na bacia hidrográfica do Arroio Cambuçu entre 1985 e 2014.



Fonte: Os autores, 2016.

### ***Impacto das mudanças do uso e cobertura da terra nos padrões de paisagem da bacia do Arroio Cambuçu***

Com base nos resultados apresentados até aqui é possível afirmar que as mudanças no uso e cobertura da terra tiveram influência direta nas alterações dos padrões de paisagem analisados no estudo.

A vegetação nativa do bioma pampa já havia sofrido alterações antes de 1985, quando foram detectadas (nas imagens de satélite) áreas ocupadas por culturas temporárias. Entre 1985 e 1996 as áreas ocupadas por mata nativa e destinadas à agricultura foram convertidas na classe “campestre”. Esta conversão conduziu a um aumento na dominância e a uma redução na diversidade da paisagem.

Entre 1996 e 2003, houve uma continuidade da conversão das áreas destinadas à agricultura para a classe “campestre”, além da conversão de áreas ocupadas por mata nativa por silvicultura. Atrelado a isso, verifica-se a continuidade do aumento da dominância e da redução na diversidade da paisagem.

Já no período entre 2003 e 2014, houve alteração nos padrões de mudança no uso e cobertura da terra: a classe “cultura temporária” passou a ocupar áreas anteriormente ocupadas pelas classes “silvicultura” e “campestre”. Isto ocasionou uma redução na dominância e um aumento na diversidade da paisagem nesse período.



Em resumo verifica-se que as mudanças no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Arroio Cambuçu apresentam dois comportamentos distintos, ao longo do período de 29 anos analisado neste estudo. Em um primeiro momento, entre 1985 e 2003, houve redução nas áreas destinadas à agricultura e aumento nas áreas ocupadas por campos, o que resultou no aumento da dominância da paisagem e na redução da diversidade. Na segunda etapa, entre 2003 e 2014, as áreas destinadas à agricultura passam a ocupar áreas ocupadas por campos, o que resulta na redução da dominância da paisagem e no aumento da diversidade.

### **Conclusões**

- Neste estudo, modelagem matemática, sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas foram utilizados para analisar os processos e tendências das mudanças no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Arroio Cambuçu, Rio Grande do Sul, Brasil, entre 1985 e 2014. Observou-se uma estreita relação entre as mudanças nos padrões de paisagem e as mudanças que ocorreram nas áreas ocupadas pelas classes “Campestre” e “Cultura temporária”. Foi possível constatar que a dominância na paisagem foi maior nos períodos em que a diferença entre as áreas ocupadas por essas classes era maior (períodos 1 a 3), e que foi menor quando a diferença entre as áreas ocupadas por essas classes foi menor (período 4). O índice de diversidade da paisagem apresentou tendência inversa, aumentando à medida que as diferenças entre as classes dominantes eram reduzidas. Com relação à fragmentação, verifica-se tendência de aumento no número de fragmentos e de redução na área média dos fragmentos ao longo de todo o período em estudo. Já o índice de fragmentação apresentou tendência de redução ao longo de todo o período analisado, não demonstrando ter relação direta com as alterações (em termos de área ocupada) que ocorreram nas classes dominantes.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à FAPERGS (processo nº 141632-1) pelo apoio financeiro.

### **REFERÊNCIAS**



- Anderson, J. R., Hardy, E. E.; Roach, J. T.; Witmer, R. E. (1976). **A land use and land cover classification system for use with remote sensor data**. Washington: United States Government Printing Office, 28. Geological Survey Professional Paper, 964.
- Britaldo S. Soares-Filho. (1998). **Modelagem da Dinâmica de Paisagem de uma Região de Fronteira de Colonização Amazônica**, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP.
- Feng, Y., Luo, G., Lu, L., et al. (2011). Effects of land use change on landscape pattern of the Manas River watershed in Xinjiang, China. **Environmental Earth Sciences**, 64, 2067–2077.
- Foody, G.M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing Environment**, 80, 185-201.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2013). **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro.
- LANDIS, J.R. e KOCH, G.G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.1, p. 159-174.
- Long, J., Nelson, T., Wulder, M. (2010). Regionalization of landscape pattern indices using multivariate cluster analysis. **Environ. Manag.** 46(1), 134-142.
- López-Granados, E., Mendoza, M., González, D. (2013). Linking geomorphologic knowledge, RS and GIS techniques for analyzing land cover and land use change: a multitemporal study in the Cointzio watershed, Mexico. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 8(1), 18-37.
- Luo G.P., Zhou C.H., Chen X., Li Y. (2008). A methodology of characterizing status and trend of land changes in oases: a case study of Sangong River Watershed, Xinjiang, China. **J Environ. Manag.** 88(4), 775–783.
- Macleod, R.D., Congalton, R.G. (1998). A quantitative comparison of change-detection algorithms for monitoring Eelgrass from remotely sensed data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. 64(3), 207-216.
- McGarigal, K., Cushman, S. A., & Ene, E. (2012). **Fragstats v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps** (Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts). Amherst, MA: Fragstats.
- Pontius, R.G., Shusas, E., Mceachern, M. (2004) Detecting importante categorical land changes while accounting for persistence. **Agric Ecosyst Environ.**, 101, 251–268.



- Santillan, J. R., Makinano, M. M., Paringit, E. C. (2010). **Detection of 25 year land cover change in a critical watershed in southern Philippines using Landsat MSS and ETM+ images: importance in watershed rehabilitation.** In: WAGNER, W.; SZÉKELKY, B. ISPRS TC VII Symposium. Viena: Austria, v. XXXVIII - Part 7A.
- Wang, S., Wang, S. (2013). Land use/land cover change and their effects on landscape patterns in the Yanqi Basin, Xinjiang (China). **Environ Monit Asses**, 185, 9729-9742.
- Wang, J., Yang, X. (2012). A Hierarchical Approach to Forest Landscape Pattern Characterization. **Environmental Management**, 49, 64-81.
- Wang, S. Y., Liu, J. S., & Ma, T. B. (2010). Dynamics and changes in spatial patterns of land use in Yellow River Basin, China. **Land Use Policy**, 27, 313–323.
- Wu, X.; Shen, Z.; Liu, R.; Ding, X. (2008). Land Use/Cover Dynamics in Response to Changes in Environmental and Socio-Political Forces in the Upper Reaches of the Yangtze River, China. **Sensors**, 8, 8104-8122.
- Yang, X., Liu, Z. (2005). Using satellite imagery and GIS for land-use and land-cover change mapping in an estuarine watershed. **International Journal of Remote Sensing**, 26(23), 5275–5296.
- Zhang, W.G., Hu, Y.M., Hu, J.C., Chang, Y., Zhang, J., Liu, M. (2008). Impacts of land-use change on mammal diversity in the upper reaches of Minjiang River, China: Implications of biodiversity conservation planning. **Landscape Urban Plan.**, 85, 195–204.
- Zhao, R. F., Chen, Y. N., Shi, P. J., Zhang, L. H., Pan, J. H., Zhao, H. L. (2012). Land use and land cover change and driving mechanism in the arid inland river basin: a case study of Tarim River, Xinjiang, China. **Environmental Earth Sciences**, 68(2), 591–604.
- Zhou, Z. X., Li, J. (2015). The correlation analysis on the landscape pattern index and hydrological processes in the Yanhe watershed, China. **Journal of Hydrology**, 524, 417-426.