

# AVALIAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS DA MODELAGEM GEOMORFOLÓGICA E A COBERTURA FLORESTAL NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

## ASSESSMENT OF RELATIONS BETWEEN THE GEOMORPHOLOGICAL MODELING PARAMETERS AND THE FOREST COVER IN THE NORTHWEST OF RIO GRANDE DO SUL

Paulo Afonso da Rosa<sup>1</sup>, Fábio Marcelo Breunig<sup>1</sup>, Cláudia Maria de Almeida<sup>2</sup>, Rafaelo Balbinot<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, Brasil

Correspondência para: Paulo Afonso da Rosa (pauloafonso.darosa@gmail.com)

doi: 10.12957/geouerj.2017.19502

Recebido em: 6 nov. 2015 | Aceito em: 15 jul. 2017



### RESUMO

O objetivo do trabalho foi realizar uma caracterização geomorfológica das microrregiões de Frederico Westphalen (FW) e Três Passos (TP) e relacioná-la com a dinâmica da cobertura florestal no período de 1985 a 2014. Para a análise geomorfológica, foram utilizadas imagens Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Map (ASTER-GDEM). Foram elaborados três mapas geomorfológicos: hipsométrico, orientação de vertentes e de declividade. O mapeamento da cobertura florestal foi realizado utilizando a classificação manual, com base em imagens do Landsat 5 (sensor Thematic Mapper) para os anos de 1985, 1994 e 2005, e do Landsat 8 (sensor Operational Land Imager) para 2014. Foi constatado que grande parte da área de estudo apresenta relevos ondulados e fortemente ondulados, ocupando altitudes entre 300 e 450 m e com suas vertentes orientadas a leste. O mapeamento da cobertura florestal aponta um aumento de 50,4% de cobertura florestal entre 1985 e 2014, com maior crescimento em terrenos ondulados e fortemente ondulados, possivelmente causado pelo abandono de áreas agricultáveis e pelo plantio de espécies florestais exóticas.

**Palavras-chave:** topografia, cobertura arbórea, sensoriamento remoto, mapeamento, microrregiões.

### ABSTRACT

*This study is committed to perform a geomorphological characterization in two micro-regions in northwestern Rio Grande do Sul state - South Brazil, and relate it to the forest coverage dynamics from 1985 to 2014. As input data, we used ASTER-GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Map) data. Three geomorphological maps were elaborated: elevation, aspect, and slope. The forest coverage maps were carried out using manual classification in Landsat 5 imagery (Thematic Mapper sensor) for the years of 1985, 1994 and 2005, and Landsat 8 (Operational Land Imager sensor) for the 2014 year. The results showed that great part of the study area presents undulating and strongly undulating relief, with east-oriented elevations ranging from 300 to 450 m. The forest coverage maps showed an increase of 50.4% forest cover between 1985 and 2014. Most of this increase took place on undulating and strongly undulating terrain, possibly due to the abandonment of agricultural areas and to the planting of exotic forest species.*

**Keywords:** topography, tree cover, remote sensing, mapping, micro-regions.

### INTRODUÇÃO

O conhecimento do histórico de uso da terra enriquece a compreensão de padrões ecológicos em paisagens agrícolas fragmentadas (LUNT e SPOONER, 2005), aumenta o entendimento da dinâmica

das paisagens (SWETNAM et. al., 1999) e tem papel importante no manejo e restauração de ecossistemas (SWETNAM et al., 1999; LUNT e SPOONER, 2005; BALÉE, 2006). O uso da terra está frequentemente associado a aspectos físicos, morfológicos e fisiográficos das paisagens (FOSTER, 1992; FLINN et al., 2005; SIMONSON e JOHNSON, 2005) e, muitas vezes, é limitado pelas condições adversas de relevo, ou costuma ser intensificado quando o relevo é favorável para a agricultura (p.ex., plano). A interação entre uso da terra e relevo é um dos aspectos determinantes da configuração de uma paisagem. Ao se associar o histórico de uso da terra às características geomorfológicas de uma região, é possível distinguir a contribuição de cada um desses fatores na determinação de padrões ecológicos, ou ainda, padrões resultantes da interação entre estes aspectos (FLINN et al., 2005; SIMONSON e JOHNSON, 2005; CINGOLANI et al., 2008).

As áreas cobertas pela vegetação de Mata Atlântica há muito tempo vêm sofrendo crescente e permanente pressão antrópica (VIANA, 1990; CIMA, 1991), restando atualmente apenas alguns fragmentos, na maioria das vezes em locais de topografia muito acidentada. A degradação acelerada que este ecossistema vem sofrendo gera a necessidade de se desenvolver programas de conservação e recuperação ambiental em escala local, regional e nacional. Para tanto, é mister que as interações solo-vegetação nesses ecossistemas sejam muito bem conhecidas. A relação existente entre a ocorrência e o crescimento de espécies florestais com características edáficas ou climáticas tem sido uma preocupação permanente de pesquisadores (SILVA, 1993). No entanto, poucos estudos são direcionados para a investigação conjunta da vegetação e de variáveis geomorfológicas que sustentam estes ecossistemas.

Assim, a topografia (que inclui aspectos como elevação, orientação, declividade e geometria de encostas e posição topográfica) é um importante fator que exerce influência potencial na dinâmica florestal. Segundo Robert e Moravie (2003), variações topográficas parecem ser um dos maiores fatores geradores de heterogeneidade estrutural na floresta. Tal heterogeneidade implica particularidades em seu funcionamento, podendo ajudar a determinar a velocidade e a magnitude tanto do efeito de borda quanto da regeneração florestal. Na Mata Atlântica, as variáveis topográficas ganham relevância especial, pois a maioria dos fragmentos florestais remanescentes encontra-se ilhada em áreas montanhosas, onde a ocupação humana é mais difícil e onde as nascentes dos cursos d'água

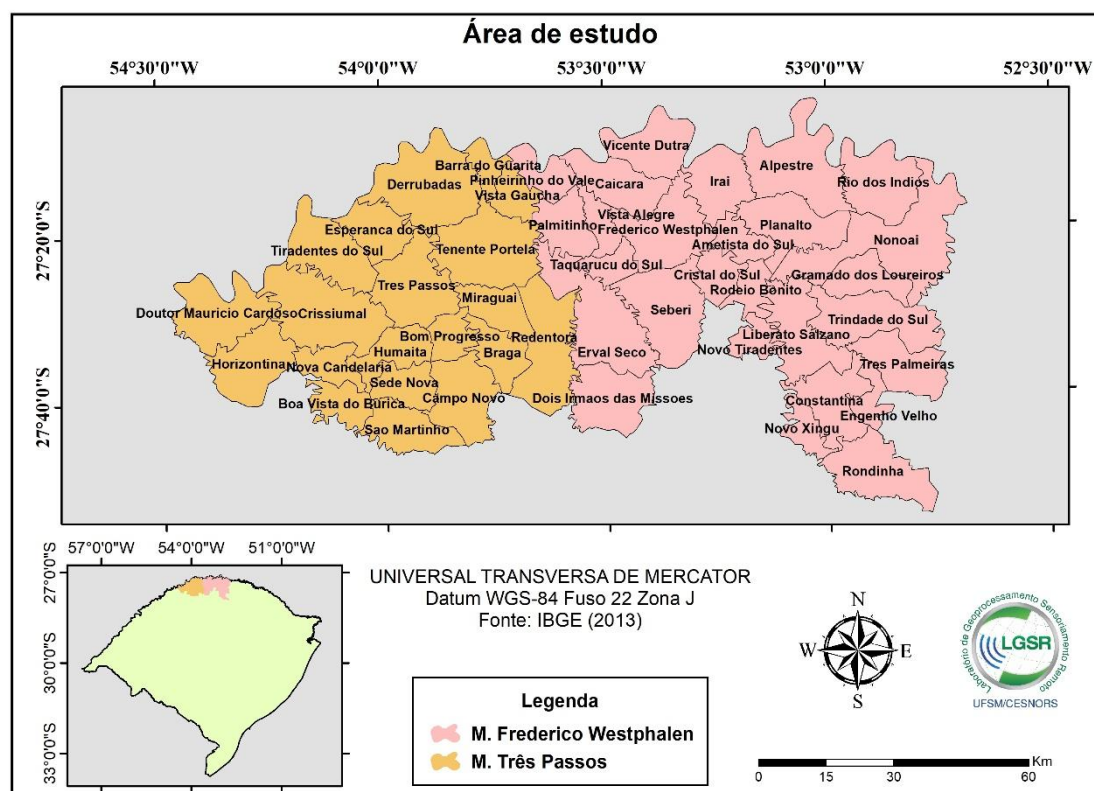
são protegidas por lei. Neste domínio, a interação entre fatores topográficos e o tipo de cobertura vegetal pode determinar fortemente certos fenômenos e processos florestais (DIAS & NETO, 2011).

Inseridas no bioma da Mata Atlântica, as microrregiões de Frederico Westphalen (FW) e de Três Passos (TP) são caracterizadas por uma base econômica agrícola, com forte fragmentação da paisagem florestal. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi analisar a relação entre fatores topográficos locais e a distribuição da cobertura florestal nas microrregiões de FW e TP. De forma complementar, será feita uma análise comparativa entre as microrregiões para elucidar o efeito das variáveis da modelagem topográfica sobre a dinâmica da cobertura florestal.

## **METODOLOGIA**

### **Área de estudo**

A área de estudo compreende as microrregiões de FW e TP, localizadas no norte-noroeste do estado do Rio Grande do Sul, entre as latitudes 27° 54' 53,860" S e 27° 4' 48,410"; e longitudes 54° 28' 35,026" O e 52° 41' 3,786" O (IBGE, 2013), conforme a Figura 1. A microrregião de FW possui área de 5.185,6 km<sup>2</sup>, constituída por 27 municípios (ARNS & PIOVEZANA, 2008), enquanto que a microrregião de TP possui uma área de 3.861,3 km<sup>2</sup>, abrangendo 20 municípios. No total, a área estudada engloba 9.046,9 km<sup>2</sup> (IBGE, 2013).



**Figura 1.** Mapa de localização das microrregiões de Frederico Westphalen (identificada pelo preenchimento cinza) e Três Passos (área com hachuras), no norte-noroeste do Rio Grande do Sul, no Sul do Brasil.  
Fonte da malha municipal: IBGE (2013).

De acordo com o IBGE (1986) e a Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul – SEMA/RS (2005), as microrregiões caracterizam-se pela temperatura superior a  $20^{\circ}\text{C}$  nos meses mais quentes e temperatura inferior a  $15^{\circ}\text{C}$  nos meses mais frios. A precipitação pluviométrica anual oscila entre 1500 a 1800 mm, verificando-se uma boa distribuição das chuvas ao longo do ano (variação mensal entre 130 – 197 mm), apresentando uma redução do regime de chuvas na estação do inverno (ROSSATO, 2014), não ocorrendo cenários de déficit hídrico recorrentes, em virtude da ausência de estação seca definida. A ocorrência média de geadas ficam entre 5 a 15 por ano (MORENO, 1961; NIMER, 1990). A vegetação nativa das microrregiões é composta por fragmentos de Floresta Estacional Decidual Submontana e ecótonos de Floresta Ombrófila Mista, representada por dois estratos arbóreos distintos: a) emergente, aberto e decíduo, com altura variando entre 25 e 30 metros, e b) dominante e contínuo, com altura inferior a 20 metros, formado principalmente por espécies perenifoliadas, além de um estrato de arvoretas e arbustos. Além disso, há uma diversificada

florística, com aspectos distintos, em função de pequenas variações ambientais determinadas por fatores litológicos, geomorfológicos, edáficos e climáticos locais (IBGE, 1986; 2012).

A microrregião de FW está situada na região do Médio Alto Uruguai. Apresenta 148.403 habitantes, sendo 45,2% residentes na área rural. A economia baseia-se na agropecuária e na indústria, correspondendo respectivamente a 32,9% e 14% do PIB local. A agricultura é composta por pequenas propriedades rurais (média de 16 ha), cultivadas principalmente com soja, milho, mandioca, fumo, e ocupadas por pecuária de suínos e bovinocultura de leite (RIO GRANDE DO SUL, 2015a). Já a microrregião de TP está situada na Região Celeiro. Possui 141.482 habitantes, sendo 42,4% residentes na área rural. A agropecuária representa aproximadamente 31,8% do PIB. Os cultivos predominantes são o trigo, a soja, o milho e a mandioca, além da participação expressiva da produção de leite e criação de suínos, desenvolvidas em propriedades rurais de 50 ha, em média (RIO GRANDE DO SUL, 2015b).

Em termos florestais, as duas microrregiões englobam três grandes remanescentes definidos por força de lei: Parque Estadual do Turvo (PET), com 17.500 ha, e as Terras Indígenas do Guarita (TIG) (23.407 ha), e de Nonoai (TIN) (19.830 ha). Os demais remanescentes florestais apresentam uma área menor e são distribuídos de forma fragmentada em toda área. Como essas três grandes áreas podem interferir na interpretação dos resultados, serão desconsideradas nas análises, visto que sua manutenção se dá por força de lei e não necessariamente por uma dinâmica associada a características geomorfológicas locais.

### **Aquisição e modelagem topográfica**

Para a análise geomorfológica, foram adquiridas imagens do *Global Digital Elevation Model* (GDEM), obtidos pelo sensor *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER). O modelo digital de elevação relativo obtido pelo sensor ASTER permitiu a geração de três parâmetros da modelagem topográfica: mapa hipsométrico, representado pelas seguintes classes de altitude ( $< 150$  m,  $150 - 300$  m,  $300 - 450$  m,  $450 - 600$  m,  $> 600$  m); mapa de orientação de vertentes,

divididas nas seguintes classes (plano, norte, oeste, sul e leste); e por fim um mapa de declividade. Para a geração do mapa de declividade, a classificação seguiu os seguintes parâmetros (adaptados de EMBRAPA, 1999):

- Relevo plano: declividade menor que 8%;
- Relevo ondulado: declividade entre 8 e 20%;
- Relevo fortemente ondulado: declividade entre 20 e 45%;
- Relevo montanhoso: declividade maior que 45%;

O mapa de declividade foi realizado através da ferramenta *Slope* do aplicativo ArcMap. Para cada pixel, a ferramenta calcula a taxa máxima de mudança do valor a partir desse pixel para os seus vizinhos. O cálculo da declividade é apresentado na Equação 1 (ESRI, 2015a).

$$Slope = \text{ATAN} (\sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2}) \quad (1)$$

em que:

[dz/dx]: taxa de variação da superfície em relação à horizontal;

[dz/dy]: taxa de variação da superfície em relação à vertical

Já o mapa de orientação de vertentes foi realizado a partir da ferramenta *Aspect*. Essa ferramenta identifica a direção da curva descendente da taxa máxima de mudança de valor de cada célula para seus vizinhos, podendo ser pensada como a direção de inclinação. O algoritmo usado nessa ferramenta é representado na Equação 2 (ESRI, 2015b).

$$\text{Aspect} = 57.29578 * \text{ATAN2} ([dz/dy] - [dz/dx]) \quad (2)$$

em que:

[dz/dx]: taxa de variação na direção X;

[dz/dy]: taxa de variação na direção Y.

## Mapeamento da cobertura florestal

O mapeamento da cobertura florestal foi realizado com base em imagens do Landsat 5 (sensor *Thematic Mapper* - TM) das datas de 1985, 1994 e 2005 (outubro e novembro), e do Landsat 8 (sensor *Operational Land Imager* - OLI), de 2014 (maio). Todas as cenas foram obtidas da plataforma online *Earth Explorer – United States Geological Survey* (USGS, 2015). Para as datas de 1985, 1994 e 2005 foram adquiridas imagens dos meses de outubro e novembro, e para a data de 2014 o mês de maio. Isso foi realizado devido ao fato de serem épocas de entressafras, a qual o solo encontra-se exposto, permitindo a melhor identificação de fragmentos florestais. Foram selecionadas cenas sempre para o mesmo período do ano. Como ambas as microrregiões não foram englobadas por uma única órbita ponto, foi feito mosaico das cenas das órbitas ponto 222-079 e 223-079.

Os fragmentos florestais foram identificados através da classificação manual e edição vetorial de polígonos. Como o foco do estudo são as áreas florestais, somente a classe floresta foi mapeada, sendo o fragmento florestal detectado e mapeado através da digitalização do mesmo, em escala padrão de visualização (1:40.000). Para a identificação e posterior mapeamento dos fragmentos florestais, foram utilizadas composições coloridas tipo cor verdadeira (3R-2G-1B nos sensores TM do Landsat 5; e 4R-3G-2B no sensor OLI do Landsat 8) com realce de contraste linear de 2%. Todas as outras classes de cobertura foram agrupadas em “Outras coberturas”. A execução dessa etapa foi realizado no Aplicativo ArcMap 10.3.1 (ESRI, 2015c).

## Análise dos dados

Inicialmente, foi realizada uma rápida discussão sobre as características das variáveis geomorfológicas estudadas. Essa avaliação é de caráter descritivo e permite uma comparação entre as duas microrregiões em estudo.

A análise dos dados foi realizada levando em conta o mapeamento multitemporal dos fragmentos florestais. A modelagem topográfica foi integrada na análise dos dados, gerando estatísticas da

fragmentação florestal das microrregiões para cada parâmetro geomorfológico estudado, visando compreender e explicar a influência desses parâmetros no processo de fragmentação florestal. Assim, a cobertura florestal para as diferentes décadas foi avaliada em função de cada classe das variáveis geomorfológicas.

Os resultados são apresentados na forma de tabelas, gráficos e figuras, buscando representar da melhor maneira possível o comportamento da cobertura arbórea entre os anos de 1985 e 2014 em função dos fatores topográficos.

Para complementar a avaliação do impacto da ação antrópica sobre a distribuição dos fragmentos florestais, foram incluídas nas análises as principais rodovias que cortam a área de estudo. Em geral, as rodovias induzem a um maior uso da terra para fins agrícolas. Para isso, foi utilizado um arquivo vetorial das principais rodovias que cortam a região de estudo (IBGE, 2013) e realizado um buffer de 100 m de distância para cada lado da rodovia.

Por fim, uma discussão comparativa entre as duas microrregiões foi conduzida para ilustrar as principais diferenças e tentar elencar os parâmetros físicos do relevo que mais influenciam na cobertura florestal de uma determinada região.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Caracterização geomorfológica da região de estudo

A Figura 2 apresenta o mapa de declividade, expressa em porcentagem, das microrregiões em estudo. Avaliando visualmente a Figura 2 e com base nos resultados da Tabela 1, constata-se que a maior parte da área de estudo apresenta um terreno ondulado (4.229,3 km<sup>2</sup>) e fortemente ondulado (2.698,5 km<sup>2</sup>). A classe de relevo que apresenta menor área é do tipo montanhoso (230,6 km<sup>2</sup> na microrregião de Frederico Westphalen e 102,7 km<sup>2</sup> em Três Passos). Esse resultado mostra que boa parte da área das microrregiões não é recomendada para uso agrícola devido ao controle do relevo (muito acidentado). Contudo, devido ao processo de colonização e ocupação do espaço geográfico nas décadas

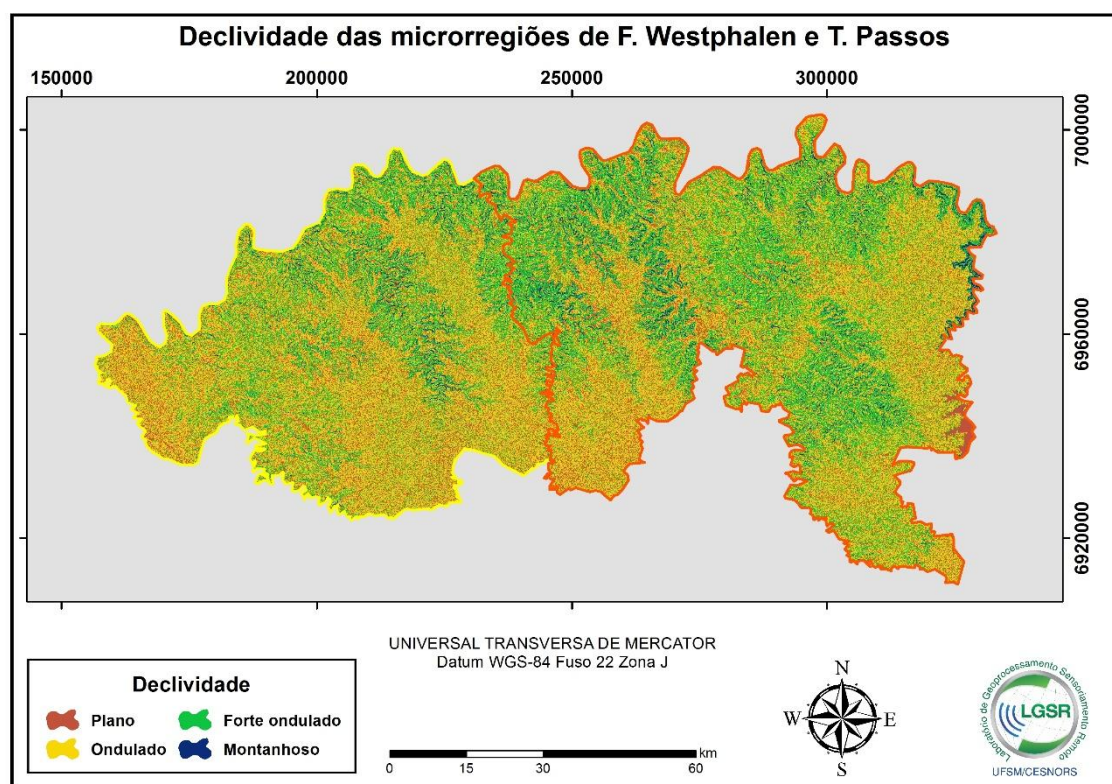


anteriores a 1950, aliado a altos índices de crescimento populacional, essas áreas acabaram por ser desmatadas e utilizadas para fins agrícolas. Nota-se que a microrregião de FW concentra uma maior área de relevo fortemente ondulado e montanhoso, indicando um maior “potencial” para cobertura florestal.

MICRORREGIÃO	Plano		Ondulado		F. ondulado		Montanhoso	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
F. Westphalen	952,5	18,5	2.305,9	44,5	1.696,6	32,7	230,6	4,3
Três Passos	833,3	21,6	1.923,4	49,8	1.001,9	26,0	102,7	2,6
MÉDIA	1.785,8	20,0	4.229,3	47,2	2.698,5	29,4	333,3	3,4

**Tabela 1.** Características das microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos quanto à declividade, com base no modelo de elevação relativo ASTER-GDEM.

Fonte: Os autores.

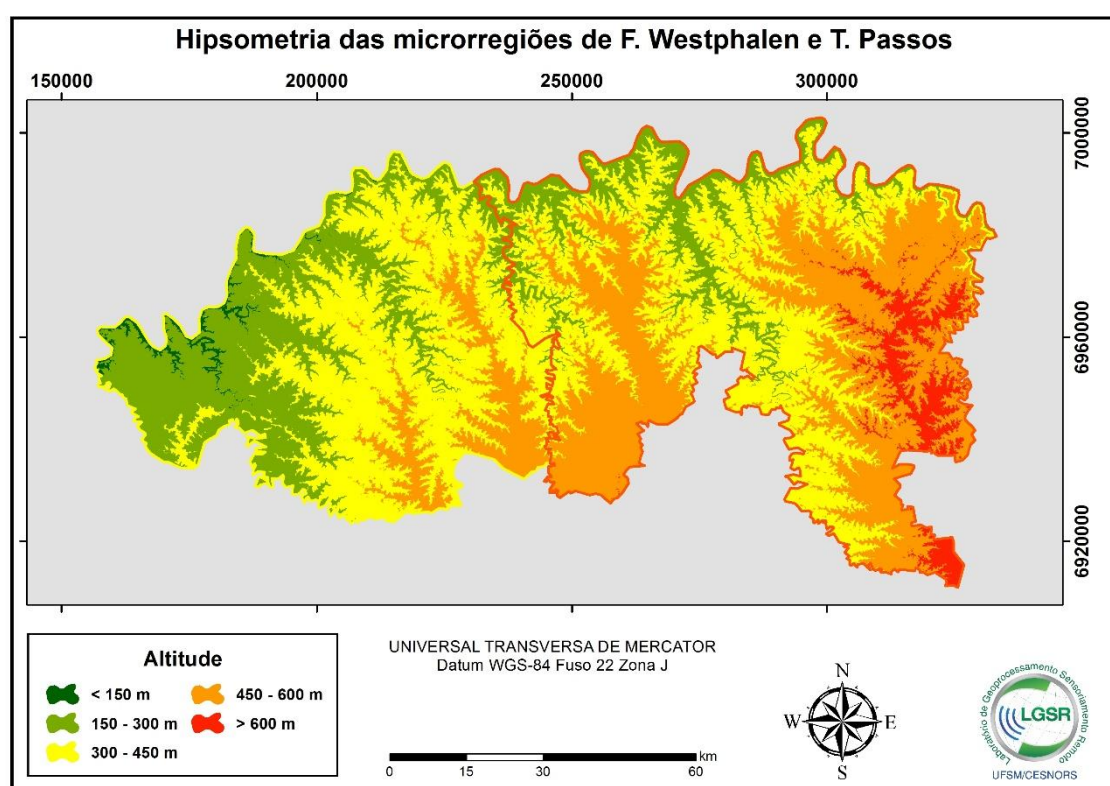


**Figura 2.** Classes de declividade, expressas em porcentagem, para as microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos, com base no modelo de elevação relativo ASTER GDEM.

Fonte: Os autores.

Quanto à altitude, verificou-se que grande parte da área de estudo (42,2%) se concentra nas altitudes entre 300 e 450 m, enquanto que a menor área (1,2%) se encontra em altitudes menores que 150 m (próximas a grandes rios, como o Rio Uruguai) (Figura 3; Tabela 2). Averiguando essas estatísticas

para cada microrregião, verifica-se que a microrregião de FW possui 80,5% de sua área nas altitudes entre 300 e 600 m, enquanto a microrregião de TP possui 59,1% de área na mesma classe. A maior área ocupada pela microrregião de TP concentra-se entre 150 e 450 m, com 85,1% de área, enquanto para essa mesma classe a microrregião de FW ocupa 50,1% de área. Para a região de TP, mais à jusante do Rio Uruguai, verificou-se uma maior concentração de áreas em altitudes menores (abaixo de 300 m), enquanto que na microrregião de FW essas áreas estão praticamente restritas à margem do Rio Uruguai e ao Rio da Várzea.



**Figura 3.** Distribuição das classes de altitude para as microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos com base no modelo de elevação relativo ASTER GDEM.

Fonte: Os autores.

MICRORREGIÃO	< 150 m		150 - 300 m		300 - 450 m		450 - 600 m		> 600 m	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
F. Westphalen	0,2	0	663,3	12,8	1931,9	37,3	2241,6	43,2	348,6	6,7
Três Passos	89,2	2,3	1468,3	38	1817	47,1	486,8	12,6	0	0
TOTAL	89,4	1,2	2131,6	25,4	3748,9	42,2	2728,4	27,9	348,6	3,4

**Tabela 2.** Variação da altitude das microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos com base no modelo de elevação relativo ASTER GDEM.

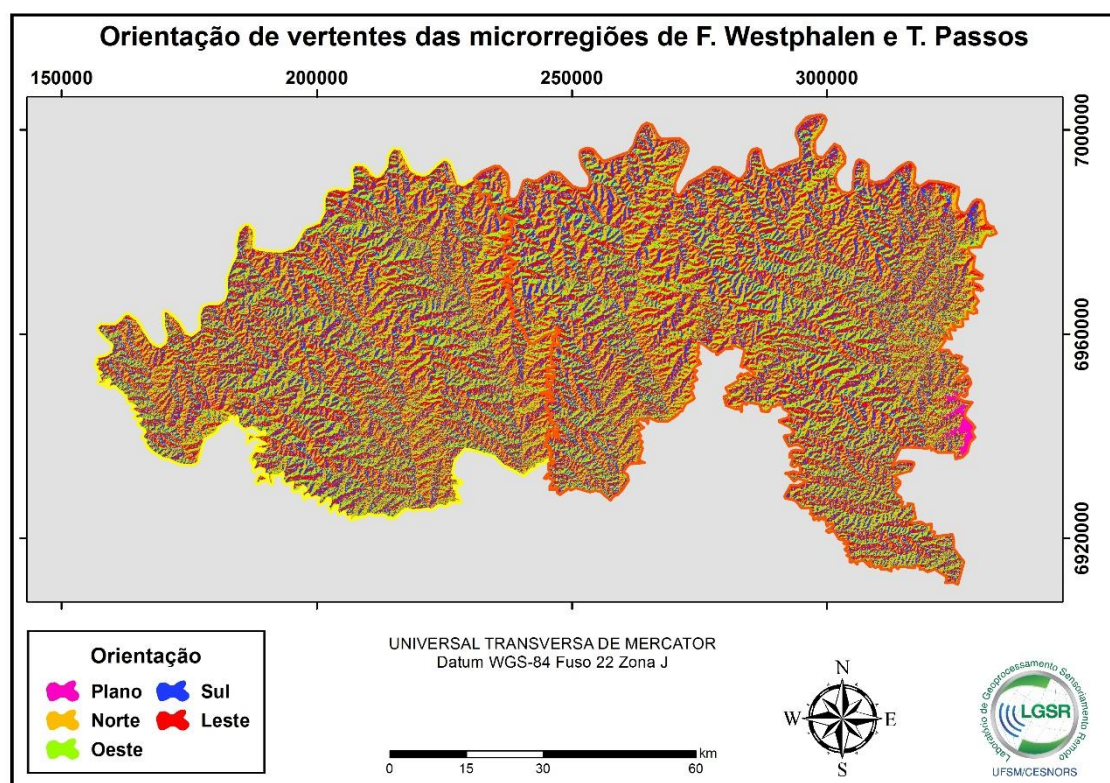
Fonte: Os autores

Constatou-se que 27,2% (2.495,7 km<sup>2</sup>) da região de estudo têm suas vertentes orientadas para o leste, enquanto que a direção de orientação de menor área é a voltada para o norte, com 2.023,8 km<sup>2</sup> (22,4% da área total) (Figura 4 e Tabela 3). As microrregiões de FW e TP apresentam orientações de vertentes voltadas para o leste, ocupando 27,4% e 27,2% de suas áreas, respectivamente. De acordo com os resultados obtidos, há uma distribuição regular entre as classes de orientação, apresentando uma diferença de área de 471,9 km<sup>2</sup> entre a maior e a menor área. Em ambas as microrregiões, as áreas consideradas planas foram quase insignificantes ( $\approx 1\%$ ).

MICRORREGIÃO	Plano		Norte		Oeste		Sul		Leste	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
F. Westphalen	63,1	1,2	1.162,7	22,4	1.278,5	24,7	1.252,2	24,3	1.429,2	27,4
Três Passos	29,1	0,8	861,1	22,3	971,4	25,3	933,3	24,4	1.066,5	27,2
TOTAL	92,2	1,0	2.023,8	22,4	2.249,9	25,0	2.185,4	24,4	2.495,7	27,2

**Tabela 3.** Distribuição da orientação de vertentes para as microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos com base no modelo de elevação relativo ASTER GDEM.

Fonte: Os autores.



**Figura 4.** Classes de orientação de vertentes para as microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos com base no modelo de elevação relativo ASTER GDEM.

Fonte: Os autores.

## Variação da cobertura florestal

O mapeamento da fragmentação florestal a partir da análise visual das imagens de satélite demonstrou um aumento gradual dos fragmentos florestais nas microrregiões de FW e TP entre os anos de 1985 e 2014. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para cada ano de estudo em cada microrregião. Foi constatado um aumento gradual dos fragmentos florestais na região de estudo. De 1985 a 1994, houve 10% de aumento dos fragmentos florestais, seguido de 15,2% entre 1994 e 2005, tendo seu maior aumento nos últimos 10 anos, com 18,4% de aumento nos fragmentos florestais. Isso demonstra cobertura florestal cada vez maior. No ano de 1985, na microrregião de FW, 18,7% da paisagem era composta por florestas, chegando a 28,9% no ano de 2014, ou seja, um incremento de 10,2% de cobertura arbórea em 30 anos. Na microrregião de TP, em 1985, 17,3% da paisagem era composta por florestas, passando para 24,9% em 2014, um aumento de 7,6%. Observa-se que a microrregião de FW, além de apresentar maior dimensão territorial que a microrregião de TP, apresenta um maior crescimento e ocupação de cobertura arbórea. A ocupação de vegetação florestal em toda a área de estudo teve um crescimento de 8,9% entre 1985 e 2014.

MICRORREGIÃO	1985		1994		2005		2014	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Frederico Westphalen	968,3	18,7	1.084,8	20,9	1.282,1	24,7	1.498,3	28,9
Três Passos	668,5	17,3	718	18,6	796,1	20,6	963,2	24,9
TOTAL	1.636,8	18	1.802,8	19,8	2.078,2	22,6	2.461,5	26,9

**Tabela 4.** Área total e porcentagem da cobertura dos fragmentos florestais para cada microrregião de estudo, expressas em km<sup>2</sup>.

Fonte: Os autores.

Em relação ao número de fragmentos florestais na região de estudo, houve um crescente aumento de 1985 a 2005, entretanto, de 2005 a 2014, houve um decréscimo no número de fragmentos florestais (Tabela 5). Esse decréscimo pode ser explicado pela união de dois ou mais pequenos fragmentos que estão próximos, formando um único fragmento de maior dimensão.

MICRORREGIÃO	1985	1994	2005	2014
Frederico Westphalen	5.016	13.817	16.138	9.703
Três Passos	5.016	9.144	9.612	5.972
TOTAL	10.032	22.961	25.750	15.675

**Tabela 5.** Número de fragmentos florestais nas microrregiões de estudo para o período de 1985 a 2014.

Fonte: Os autores.

De 1985 a 2005, o número de fragmentos florestais na região de estudo teve um crescimento significativo, cerca de 156,7%, passando de 10.032 para 25.750 fragmentos. Entretanto, de 2005 a 2014, o número de fragmentos teve um decréscimo de 39,1%, passando de 25.750 para 15.675 fragmentos. Comparando o número de fragmentos de cada microrregião, constata-se o grande salto no número de fragmentos da microrregião de FW entre 1985 e 1994, com um incremento de 8.801 fragmentos em 9 anos, sendo que entre 1994 e 2005 teve novamente um incremento de 2.321 fragmentos florestais. A microrregião de TP apresentou um incremento no decorrer dos anos, porém menor em relação à FW. Entre 1985 e 1994, a microrregião de TP teve um incremento de fragmentação florestal de 82,3% (4.128 fragmentos). De 1994 a 2005, o incremento foi muito baixo, apenas de 468 fragmentos (5,1%). Uma das explicações para o pequeno aumento dos fragmentos na microrregião de TP em relação à FW é a menor dimensão territorial daquela microrregião.

As Figuras 5 e 6 permitem ao leitor visualizar a distribuição dos fragmentos florestais em 1985 e 2014, respectivamente. Notadamente, verifica-se um aumento da cobertura florestal, concordando com resultados reportados por outros autores para regiões do sul do Brasil (LIMA e CUNHA et al., 2011; VASCONCELLOS & BENEDETTI, 2011; MARCHESAN et al., 2012; BENEDETTI et al., 2013).



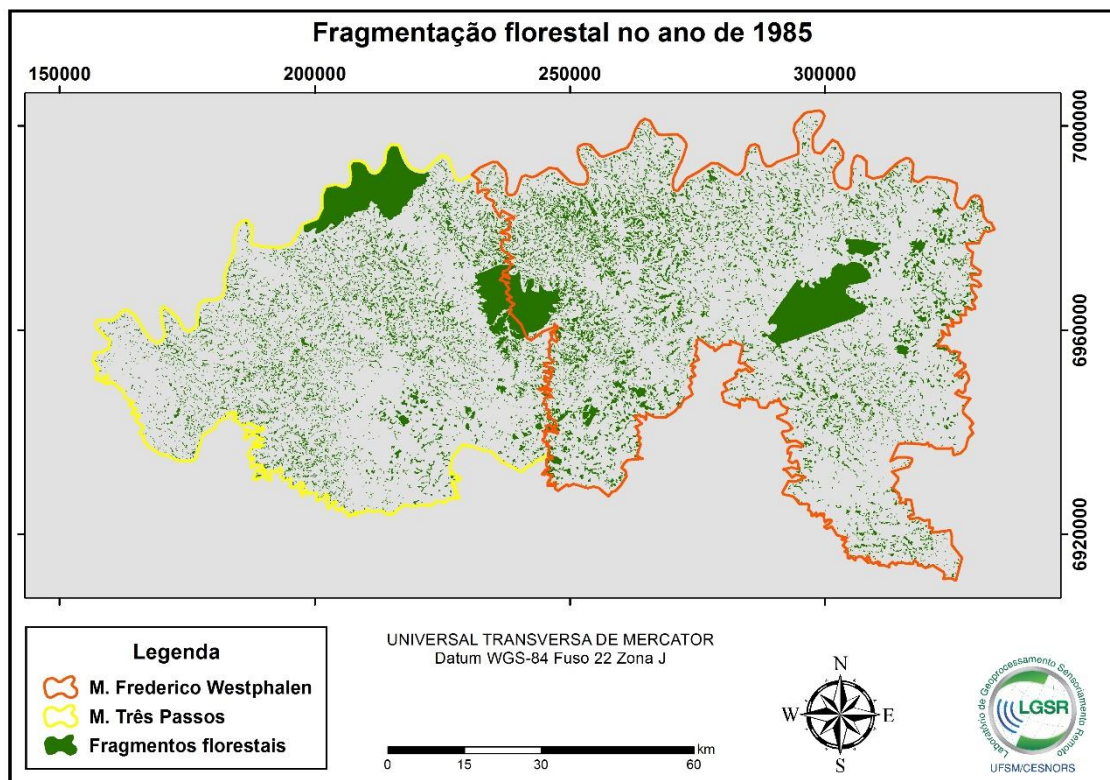


Figura 5. Distribuição da fragmentação florestal no ano de 1985 nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos. Fonte: Os autores.

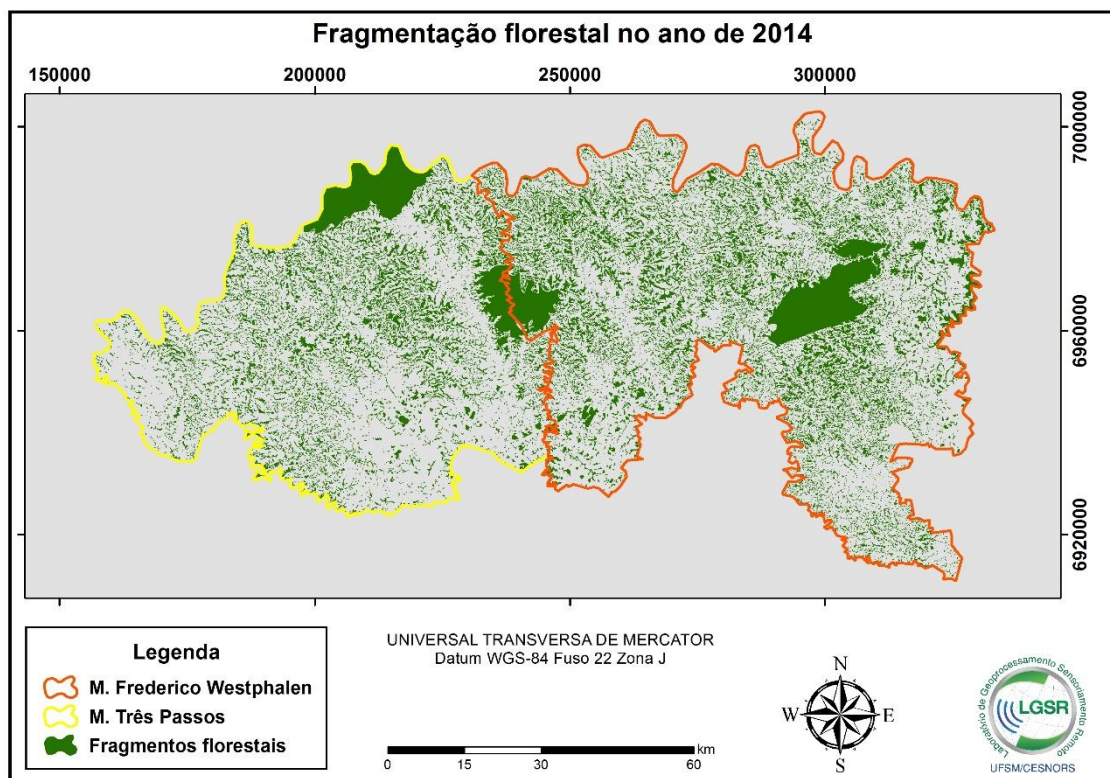
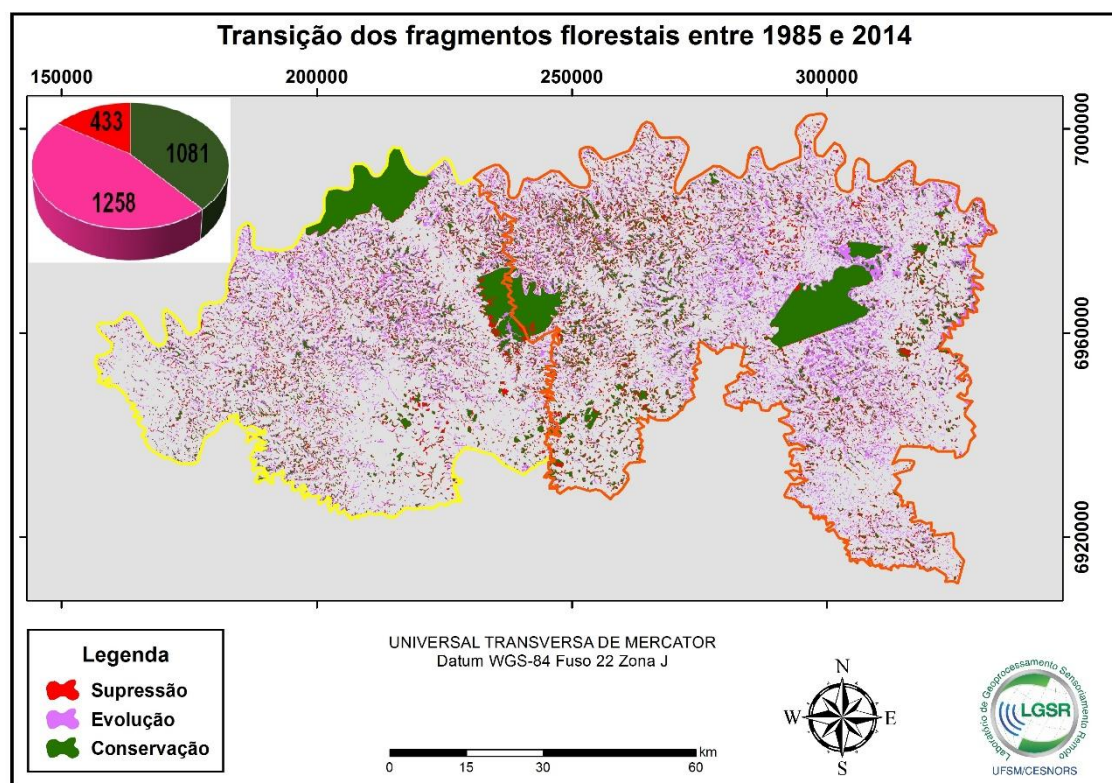


Figura 6. Distribuição da fragmentação florestal no ano de 2014 nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos. Fonte: Os autores.  
Fonte: Os autores.

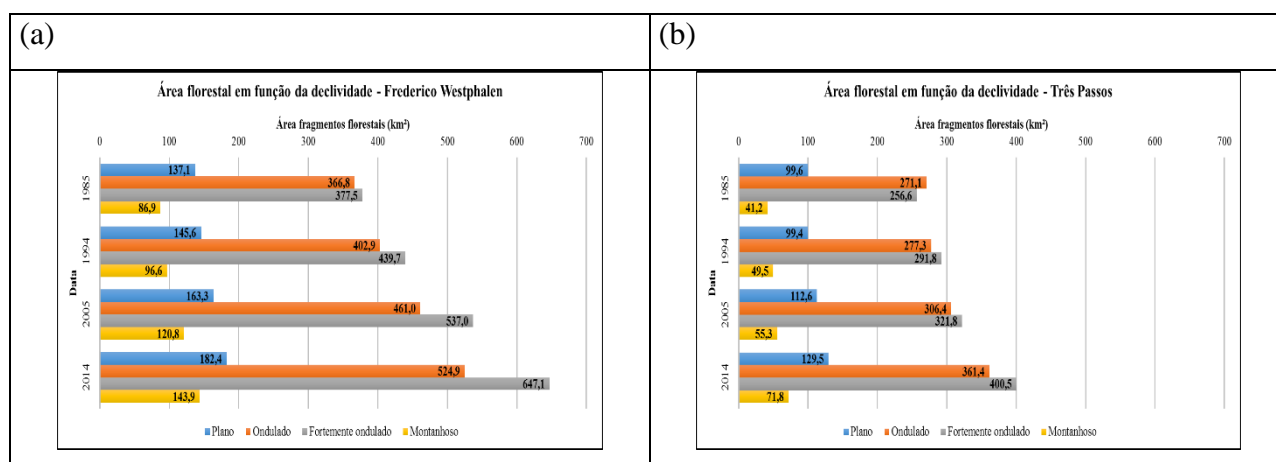
A análise da transição de fragmentos florestais entre 1985 e 2014 é ilustrada quantitativamente e espacialmente na Figura 7, que indica um ganho quantitativo florestal de 1.258 km<sup>2</sup>. Da mesma forma, foi espacialmente constatado que certos fragmentos mapeados em 1985 não foram identificados integralmente no mapeamento de 2014, totalizando uma perda em área de 433 km<sup>2</sup>. Observa-se uma perda significativa de cobertura florestal nas bordas das unidades de conservação (PET, TIG e TIN). Em relação as quantizações apresentadas, é importante considerar que o mapeamento foi realizado com imagens de média resolução espacial (30 m). Teoricamente, com essa resolução, fragmentos com menos de 900 m<sup>2</sup> não são passíveis de identificação. Ademais, o georreferenciamento também pode introduzir pequenos erros (co-registro). Isso tudo, pode levar a pequenas mudanças nos resultados, mas não interfere nas tendências identificadas.



**Figura 7.** Espacialização da transição de cobertura florestal no período de 1985 a 2014. O gráfico de pizza indica as perdas e ganhos em km<sup>2</sup> para o período analisado. Fonte: Os autores.

## Relação entre fragmentos florestais e parâmetros geomorfológicos

A distribuição dos fragmentos florestais em função das classes de declividade para as microrregiões de FW e TP nos anos de 1985, 1994, 2005 e 2014 é apresentada na Figura 7. Pode-se observar que em todos os anos de estudo há um gradual aumento da área dos fragmentos florestais em todas as classes de declividade, mas a predominância de fragmentos florestais concentra-se nas classes ondulado e fortemente ondulado. Em 1985, 634,1 km<sup>2</sup> de florestas ocupavam regiões fortemente onduladas; em 1994 esse índice aumentou para 731,5 km<sup>2</sup>; em 2005, eram 858,8 km<sup>2</sup>, passando para 1.047,6 km<sup>2</sup> em 2014. Na microrregião de FW (Figura 7a), há uma maior presença da classe de relevo fortemente ondulado quando comparado com a região de TP (Figura 7b). Esse resultado mostra uma concordância com a hipótese de que regiões mais onduladas tendem a apresentar um aumento da cobertura florestal ou mesmo uma redução do desmatamento associados à agricultura de pequena escala que predomina nessa região (IZQUIERDO et al., 2011).



**Figura 8.** Área de ocupação de fragmentos florestais nas diversas classes de declividade nas microrregiões de (a) Frederico Westphalen e (b) Três Passos. Fonte: Os autores.

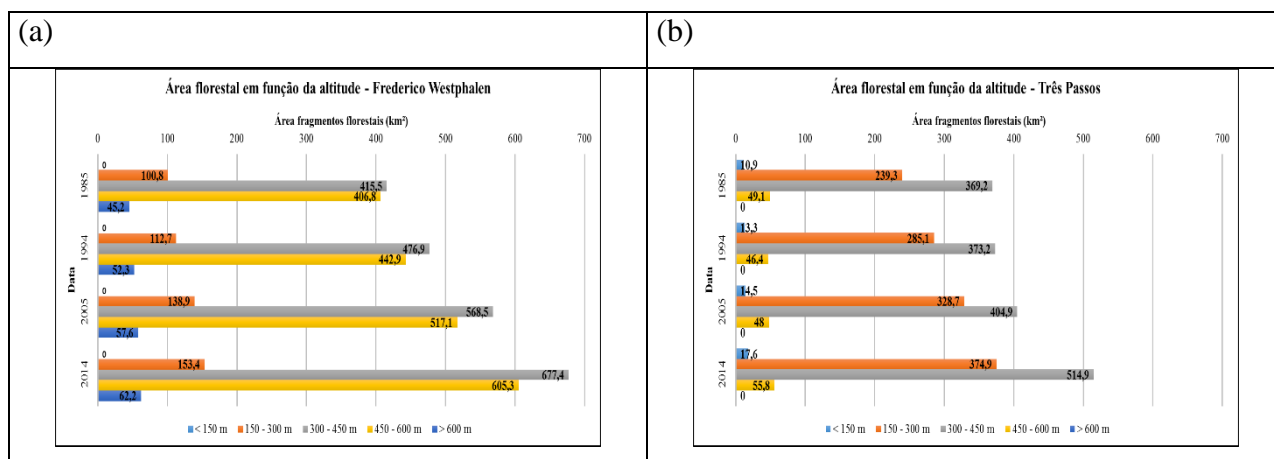
Esse aumento gradual da cobertura florestal no decorrer dos anos, em relevos com essas características, demonstra o abandono dessas áreas pelas atividades agricultáveis. Possivelmente, essas áreas eram cultivadas na sua maior parte por métodos braçais (agricultura tradicional), sem nenhum ou com pouco auxílio de equipamentos. Com o desenvolvimento da agricultura, como o uso de implementos agrícolas, essas áreas foram abandonadas devido ao fato de que esses novos recursos tecnológicos não permitem o trabalho em áreas fortemente onduladas ou montanhosas. Assim, o abandono das atividades agricultáveis nessas áreas resultou indiretamente no aumento da cobertura



arbórea através da regeneração e sucessão natural do ecossistema, bem como do plantio de espécies exóticas.

Observando as mesmas figuras (Figura 8a e Figura 8b), constata-se um aumento gradual da cobertura arbórea na classe de declividade plano, porém de menor proporção em relação a outras classes, durante o período de estudo. Esse aumento pode ser explicado pelo plantio comercial de espécies florestais (nas quais se destacam as espécies do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*), e pelas políticas de conservação e recuperação de áreas degradadas.

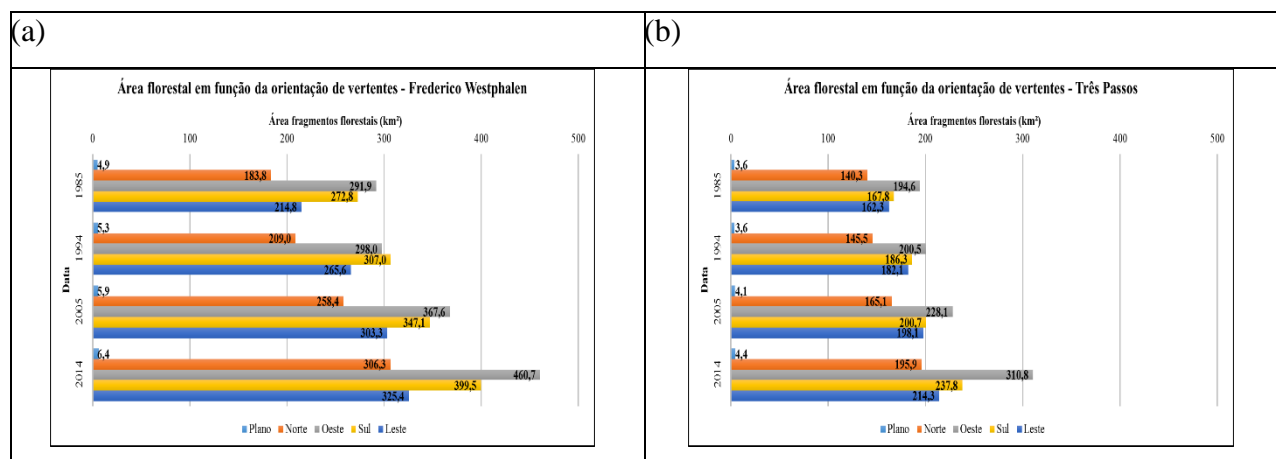
A Figura 9 exibe os resultados da distribuição das áreas de fragmentos florestais nas variadas classes de altitude das microrregiões de estudo nos anos de 1985, 1994, 2005 e 2014. Constata-se um aumento gradual na classe de altitude entre 300 e 450 m. Em 1985, 784,7 km<sup>2</sup> de florestas encontravam-se nessa faixa de altitude; em 1994, esse índice aumentou para 850,1; em 2005, eram 973,4, e em 2014, 1.192,3 km<sup>2</sup>. Nota-se um considerável aumento de área durante os anos analisados, tendo um incremento entre 1985 e 2014 de aproximadamente 408 km<sup>2</sup>. Verificando os gráficos, pode-se observar a grande margem de diferença de área da microrregião de FW (Figura 8a) em relação a TP (Figura 8b) na classe altimétrica entre 450 e 600 m, variando de 350 a 550 km<sup>2</sup> de diferença. Já na classe altimétrica entre 150 e 300 m, a microrregião de TP possui uma maior área de fragmentos florestais localizadas nessa altitude, variando de 135 a 225 km<sup>2</sup> a mais que a microrregião de FW. A menor diferença de área de fragmentos florestais foi localizada na classe altimétrica menor que 150 m, variando de 10,9 a 17,6 km<sup>2</sup>. Cabe destacar que não existe uma relação direta entre a ocorrência de fragmentos florestais e a altitude.



**Figura 9.** Área de ocupação de fragmentos florestais nas diversas classes de altitude na microrregião de (a) Frederico Westphalen e (b) Três Passos. Fonte: Os autores.

A distribuição da área florestal em função da orientação de vertentes nas microrregiões de estudo nos anos de 1985, 1994, 2005 e 2014 é ilustrada na Figura 10. Na microrregião de FW (Figura 10a), a direção de orientação possuidora de maior área florestal foi a oeste, apresentando um crescente aumento no decorrer dos anos. Entre os anos de 1985 e 1994, a área florestal inserida na direção oeste teve um discreto aumento, de 291,9 para 298 km<sup>2</sup>, passando a ter um aumento significativo entre 1994 e 2005 (incremento de 69,6 km<sup>2</sup>), e de 2005 a 2014 (incremento de 93,1 km<sup>2</sup>). A menor porção de área florestal foi ocupada pela direção norte, tendo 183,8 km<sup>2</sup> em 1985, e 306,3 km<sup>2</sup> em 2014.

Já a microrregião de TP (Figura 10b), assim como a microrregião de FW, possui sua maior área de cobertura florestal na direção oeste, entretanto, apresentando um incremento menor em relação à microrregião vizinha. Em 1985, a microrregião apresentava 194,6 km<sup>2</sup> de cobertura arbórea na direção oeste, tendo um aumento para 200,5 km<sup>2</sup> em 1994; em 2005, esse índice aumentou para 228,1 km<sup>2</sup>, e novamente aumentou para 310,8 km<sup>2</sup> em 2014. De 1985 a 2014, a microrregião de TP teve um incremento de cobertura florestal na direção oeste de 116,2 km<sup>2</sup>, um índice menor do que o encontrado na microrregião de FW, que apresentou um incremento de 168,8 km<sup>2</sup>.



**Figura 10.** Área de ocupação de fragmentos florestais nas diversas classes de orientação de vertentes na microrregião de (a) Frederico Westphalen e (b) Três Passos. Fonte: Os autores.

Os resultados da influência indireta da orientação de vertentes mostram que houve uma maior procura por áreas iluminadas para o estabelecimento de campos agrícolas no decorrer da colonização (mesmo que de forma inconsciente).

A Tabela 6 apresenta o efeito das rodovias sobre a vegetação florestal. Pode-se observar que, embora ocorra um aumento da porcentagem de florestas durante os anos, o índice de cobertura arbórea ainda é baixo. Atualmente, na microrregião de FW, somente 13% das encostas das rodovias são cobertas por vegetação nativa, subentendendo-se que 87% são ocupados por outros usos e coberturas, principalmente a agricultura. Na microrregião de TP, esse índice é ainda menor, de 10,6% de cobertura florestal nas encostas das rodovias.

MICRORREGIÃO	1985		1994		2005		2014	
	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%
F. Westphalen	11,1	6,4	15,2	8,7	19,4	11,1	22,6	13,0
Três Passos	9,1	6,7	10,4	7,6	12,6	9,2	14,5	10,6
TOTAL	20,2	13,1	25,6	16,3	32,0	20,3	37,1	23,6

**Tabela 6.** Índices de cobertura florestal presente nas encostas das rodovias nas microrregiões de Frederico Westphalen e Três Passos. Fonte: Os autores.

## CONCLUSÕES

Com o presente trabalho, conclui-se que grande parte da área de estudo apresenta relevos ondulados e fortemente ondulados, ocupando altitudes entre 300 e 450 m e com suas vertentes orientadas a leste. Esses mesmos resultados mostram que boa parte da área das microrregiões não é recomendada para uso agrícola devido ao controle do relevo (muito acidentado). Nota-se que a microrregião de FW concentra uma maior área de relevo fortemente ondulado e montanhoso, indicando um maior “potencial” para cobertura florestal.

O mapeamento da cobertura florestal apontou um incremento de 50,4% da área de cobertura arbórea entre 1985 e 2014, e um decréscimo no número de fragmentos florestais no mesmo período, indicando uma paisagem menos fragmentada e em processo de regeneração/sucessão florestal.

O mapeamento da cobertura florestal aponta um maior crescimento em terrenos ondulados e fortemente ondulados, possivelmente causado pelo abandono de atividades agricultáveis nessas áreas e pelo plantio de espécies florestais exóticas, sendo os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* os mais predominantes. Os índices de cobertura arbórea presentes nas proximidades das rodovias cresceram em ambas as microrregiões, entretanto, ainda apresentam valores modestos se comparados às demais áreas das microrregiões.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à *NASA - Land Processes Distributed Active Archive Center* (LPDAAC) pela disponibilidade dos dados Landsat. À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), pela assistência nos estudos de pós-doutorado. Os autores agradecem também ao *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico* (CNPq) (Processos nº 168869/2014-4 e 305914/2014-6).

## REFERÊNCIAS

- ARNZ, Carlos Eduardo; PIOVEZANA, Leonel. Desenvolvimento econômico na microrregião de Frederico Westphalen (RS). *Revista Grifos*, n. 24, p. 61-74, 2008.
- BALÉE, William. The research program of Historical Ecology. *Annual Review of Anthropology*, v. 35, p. 75-98, 2006.

BENEDETTI, Ana Caroline Paim; et al. Uso do produto MOD13Q1 do sensor MODIS para análise temporal e mapeamento das florestas nas Serras do Sudeste e Campanha Meridional do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 459-467, 2013.

CIMA. Subsídios técnicos para elaboração do relatório nacional do Brasil para a CUNAMAD. Brasília, 1991.

CINGOLANI, Ana María; et al. Predicting cover types in a mountain range with long evolutionary grazing history: a GIS approach. **Journal of Biogeography**, v. 35, p. 538–551, 2008.

DIAS, Maria Accioly; NETTO, Ana Luiza Coelho. A influência da topografia na distribuição de gramíneas em um fragmento de floresta atlântica urbana montanhosa – maciço da Tijuca/RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.12, n.2, p.3-14, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Serviço de Produção de Informação, 1999.

ESRI. ArcGIS Resources. How slope Works. Disponível em:

<<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/009z000000vz000000>>. Acesso em: 20 jul. 2015a.

ESRI. ArcGIS HELP. How aspect Works. Disponível em:

<<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Aspect%20works>>. Acesso em: 20 jul. 2015b.

ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10.3.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2015c.

FLINN, Kathryn M.; VELLEND, Mark; MARKS, P. L. Environmental causes and consequences of forest clearance and agricultural abandonment in central New York, USA. **Journal of Biogeography**, v. 32, p. 439–452, 2005.

FOSTER, David R. Land-use history (1730–1990) and vegetation dynamics in central New England, USA. **Journal of Ecology**, v. 80, p. 753–772, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22. Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Base Cartográfica Contínua do Brasil na escala 1:250.000. Diretoria de Geociências, 2013.

IZQUIERDO, Andrea E.; GRAU, Héctor R.; AIDE, T. Michell. Implications of rural-urban migration for conservation of the Atlantic Forest and urban growth in Misiones, Argentina (1970 – 2030). **Ambio**, v. 40, p. 238-309, 2011.

LIMA E CUNHA, Maria do Carmo; et al. Quantificação da dinâmica dos remanescentes florestais no município de Jaquirana, RS, em imagens de satélite. **Revista Árvore**, v. 35, n. 4, p. 867-873, 2011.

LUNT, Ian D.; SPOONER, Peter G. Using historical ecology to understand patterns of biodiversity in fragmented agricultural landscapes. **Journal of Biogeography**, v. 32, p. 1859–1873, 2005.

MARCHESAN, Juliana; et al. Evolução da cobertura florestal nas serras do sudeste, Rio Grande do Sul, entre 1984 e 2011. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, nº 8, p. 1751-1760, 2012.

MORENO, José Alberto. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul, 1961.

NIMER, Edmon. **Geografia do Brasil – Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. p.151 - 187.

RIO GRANDE DO SUL. Médio Alto Uruguai. Disponível em:

<[http://www.seplan.rs.gov.br/download/20130730152141perfil\\_medio\\_alto\\_uruguai.pdf](http://www.seplan.rs.gov.br/download/20130730152141perfil_medio_alto_uruguai.pdf)>. Acesso em: 21 jul. 2015a.

RIO GRANDE DO SUL. COREDE Celeiro. Disponível em:

<[http://www.seplan.rs.gov.br/download/20130730151920perfil\\_celeiro.pdf](http://www.seplan.rs.gov.br/download/20130730151920perfil_celeiro.pdf)>. Acesso em: 21 jul. 2015b.

ROBERT, Audrey; MORAVIE, Marie-Agnès. Topographic variation and stand heterogeneity in a wet evergreen forest of India. **Journal of Tropical Ecology**, v. 19, p. 697-707, 2003.

ROSSATO, Maira Suertegaray. Os climas do Rio Grande do Sul: Tendências e tipologias. In: MENDONÇA, Francisco (Org.). **Os climas do Sul: Em tempos de mudanças climáticas globais**. Jundiaí: Paco Editorial, 2014. p. 217-271.

Secretaria Estadual do Meio Ambiente – SEMA. Plano de manejo do Parque Estadual do Turvo. Disponível em:

<[http://www.sema.rs.gov.br/upload/Plano\\_manejo\\_PETurvo.pdf](http://www.sema.rs.gov.br/upload/Plano_manejo_PETurvo.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2015.

SILVA, J. G. M. da. **Relação solo-vegetação como instrumento para o manejo da vegetação do cerrado no Triângulo Mineiro**. 136f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 1993.

SIMONSON, J. T.; JOHNSON, E. A. Development of the cultural landscape in the forest- grassland transition in southern Alberta controlled by topographic variables. **Journal of Vegetation Science**, v. 16, n. 5, p. 523-532, 2005.

SWETNAM, Thomas W.; ALLEN, Craig D.; BETANCOURT, Julio L. Applied historical ecology: Using the past to manage for the future. **Ecological Applications**, v. 9, n. 4, p. 1189-1206, 1999.

United States Geological Survey – USGS. Landsat missions. Disponível em:

< [http://landsat.usgs.gov/about\\_project\\_descriptions.php](http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php) >. Acesso em: 25 jun. 2015.

VASCONCELLOS, Bruna Nascimento de; BENEDETTI, Ana Caroline Paim. Dinâmica temporal da cobertura florestal na microrregião Campanha Central do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 4, n. 4, p. 427-433, 2011.

VIANA, V. M. Biologia e manejo de fragmentos de florestas naturais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: SBS/SBEF, 1990. p. 113-118.