

Revista Brasileira de Cartografia (2016), N° 68/5: 929-943
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

ÁREAS POTENCIAIS À OCORRÊNCIA DE FLORESTA NATIVA POR MEIO DE DADOS GEOMORFOMÉTRICOS E HIDROGRÁFICOS, REGIÃO DOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA – RS

Potential Areas to Native Forest Occurrence Through the Geomorphometric Data and Hydrography, Campos de Cima da Serra Region – RS

Vianeí Luís Diedrich¹, Dejanira Luderitz Saldanha¹ & Tatiana Mora Kuplich²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia
Av. Bento Gonçalves, 9500 - CEP: 90501-970, Porto Alegre - RS, Brasil
vianeidiedrich@yahoo.com.br, dejanira.saldanha@ufrgs.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE
Av. Roraima 1000 - Caixa Postal 5021 – CEP: 97110-970, Santa Maria - RS, Brasil
tmk@dsr.inpe.br

*Recebido em 29 de Julho, 2014/ Aceito em 29 de Março, 2016
Received on July 29, 2014/ Accepted on March 29, 2016*

RESUMO

As florestas exercem um importante papel na manutenção da biodiversidade natural. Estudos que envolvem a compreensão da dinâmica florestal podem auxiliar nas medidas de mitigação e compensação ambiental, diante dos impactos negativos provocados pelo homem. Neste trabalho, a Floresta Ombrófila Mista foi mapeada com o auxílio de imagens do satélite Landsat 5, na região nordeste do Rio Grande do Sul. O mapeamento serviu de base para a análise estatística da relação da floresta com cinco tipos de variáveis geomorfológicas, obtidas a partir dos dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e a base hidrográfica (escala 1:50.000). Foi estabelecida a relação de ocorrência da vegetação arbórea ao longo do relevo por meio de um mapa de áreas potenciais à formação florestal, gerado pela análise multicritério. As áreas de floresta mapeadas representam 27% do total da área de estudo (9.004,38 km²). As análises indicaram a declividade como fator importante na distribuição espacial da floresta, aliado à proximidade dessa vegetação com a hidrografia local. O mapa de vegetação potencial gerado pela integração entre a declividade e a hidrografia representa 65% da floresta identificada em 2010. Os resultados indicam a possibilidade de aproximação florestal sobre a matriz campestre entre as bacias hidrográficas Taquari-Antas e Apuaê-Inhandava, potencializada pelas sub-bacias dos rios Touros e Cerquinha, ambos tributários do rio Pelotas.

Palavras chaves: Floresta Ombrófila Mista, Mapeamento Temático, Sensoriamento Remoto, SRTM, Mapa Potencial.

ABSTRACT

Forest play an important role in maintaining natural biodiversity. Studies to understand the forest dynamics may assist in mitigation and environmental compensation result from the human impact on the environment. In the present study, the araucaria forest was mapped through satellite images of Landsat 5 in the northeast region of Rio Grande do Sul state. The mapping was used as basis for the statistical analysis of the forest relation with five types of geomorphometric

variables derived from SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) data and watershed (scale 1:50.000). The relation of tree vegetation occurrence along the relief through a map of potential areas to forest shaping was established, generated by Multi-Criteria Evaluation. The mapped forest areas represent 27% of all study area (9.004,38 km²). The analysis indicated the slope as a factor in the forest spatial distribution combined to the proximity of this vegetation with local hydrography. The map of potential vegetation generated by the integration between slope and hydrography represents 65% of the identified forest in 2010. The results present the possibility of forest approximation on the grassland matrix between the Taquari-Antas and Apuaê-Inhandava watersheds, through the Touros and Cerquinha sub-basins, both Pelotas river tributaries.

Keywords: Araucaria Forest, Thematic Mapping, Remote Sensing, SRTM, Potential Map.

1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica vem sendo substituída por diversas práticas antropogênicas não sustentáveis: a expansão da indústria, agricultura, pecuária, turismo e urbanização desordenada. Pela sua localização no território nacional, em regiões de alta densidade populacional humana, vastas áreas foram fragmentadas, resultando na extinção de inúmeras espécies (BOND-BUCKUP *et al.*, 2010). No RS, esse bioma ocupa uma área de 13.759.380 hectares (ha), o que representa 48% do território gaúcho. Do percentual representativo do ambiente originalmente composto pela Mata Atlântica, apenas 7,48% da área ainda possui cobertura florestal nativa remanescente que se localiza especialmente na porção nordeste do Estado (INPE / FSOSMA, 2011).

A vegetação natural junto aos Campos de Cima da Serra, no RS, integrante do Bioma da Mata Atlântica, segundo o Mapa de Distribuição da Vegetação do Brasil (IBGE, 2004), pertence, em sua maioria, à região fitogeográfica da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucárias), essencialmente Montana, e da Estepe (campos), formações Parque e Gramíneo-lenhosa.

A introdução de espécies exóticas, o avanço de extensas monoculturas, especialmente espécies do gênero *Pinus* e outras atividades agrícolas, o corte seletivo em remanescentes florestais, a construção de hidrelétricas e a drenagem/represamento de banhados representam as principais ameaças para a conservação desse ecossistema no RS (BOLDRINI, 2009).

Em uma perspectiva de sustentabilidade ambiental, devem ser realizados inúmeros esforços na tentativa de repovoamento de áreas degradadas com a cobertura vegetal original e com a fauna associada a ela (BOND-BUCKUP *et al.*, 2010). Nesse contexto, estudos

referentes: à dinâmica de uso da terra, de perda, de fragmentação, de regeneração de habitats e de condicionantes ambientais na área de abrangência do bioma Mata Atlântica tornam-se imprescindíveis, com a necessidade de obtenção de informações biológicas, geográficas e ecológicas de regiões ainda pouco estudadas.

A análise da dinâmica das áreas de vegetação constitui importante fator para o planejamento e manejo da biodiversidade em paisagens, visto que estão diretamente ligados à condição de uso da terra em áreas urbanas e rurais (VIANA, 1995). Muitas técnicas de análise têm sido consideradas fundamentais em estudos ambientais, tais como as utilizadas no sensoriamento remoto, aliado ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) (FREITAS & CRUZ, 2003).

Na Região dos Campos de Cima da Serra, a alteração da paisagem há décadas resultou no desaparecimento da cobertura florestal e a redução da diversidade arbórea, ambas provocadas pelo extrativismo madeireiro, especialmente ao longo dos rios e encostas (KAISER & ZOTZ, 2006) A formação do mosaico de vegetação nessa Região requer maiores estudos, pois o seu padrão de distribuição da paisagem não é bem compreendido ainda, em virtude de não haver distinção evidente de variáveis ambientais que justifiquem a existência de manchas florestais adjacentes aos campos (MÜLLER, 2006).

O clima temperado úmido confere à região uma uniformidade quanto à distribuição da precipitação ao longo do ano e não existem limitações edáficas para o desenvolvimento de florestas (PILLAR, 2003). As florestas são mais recentes do que os campos (BEHLING *et al.*, 2004; ROTH & LORSCHREITER, 1991) e estão relacionadas à maior umidade no ambiente e a solos mais profundos. Mesmo

assim, a matriz permanece campestre e a floresta avança gradualmente e sem um padrão uniforme (DUARTE *et al.*, 2006; OLIVEIRA & PILLAR, 2004), estruturando-se na forma de manchas. Pillar (2003) sugere que determinadas características de paisagem, em especial associadas ao relevo, possam influenciar o padrão de distribuição da vegetação. Nesse sentido, o desenvolvimento da floresta estaria relacionado aos locais cuja declividade e exposições do terreno predominante proporcionariam melhores condições de umidade no solo para a sua instalação. Apesar de menos frequentes, os estudos que abordam as relações entre as variáveis topográficas e os tipos vegetacionais são de grande importância para o entendimento do ambiente biofísico de forma geral.

Determinados trabalhos indicam que a elevação, em especial, e outras variáveis geomorfométricas locais como a declividade, a orientação de vertente e a curvatura do terreno estão relacionadas com algumas das alterações no padrão de distribuição de fitofisionomias (BISPO *et al.*, 2010; VELÁSQUEZ-ROSAS *et al.*, 2002; KIRKBY *et al.*, 1990).

Florinsky & Kuryakova (1996) consideram que o uso de modelos digitais de elevação e mapas de variáveis geomorfométricas para o estudo da vegetação são úteis para a compreensão das relações entre os componentes da paisagem, na modelagem e na previsão mais precisa das características da cobertura vegetal em paisagens naturais e antropogênicas, na restauração da cobertura vegetal, além da análise da influência da geologia sobre a estruturação da vegetação.

A vegetação requer certas condições edáficas e climáticas para se desenvolver em um determinado local. Além dos fatores naturais, a influência antropogênica sobre os ambientes pode alterar o seu padrão de desenvolvimento. Portanto, analisar os parâmetros ambientais de forma integrada, pode conferir um grau de precisão maior aos estudos ambientais.

O objetivo do presente trabalho foi analisar as áreas com maior potencial para a composição florestal na matriz campestre (vegetação herbácea e arbustiva essencialmente nativa), considerando o seu padrão de ocupação atual, condicionado por fatores ambientais naturais e antropogênicos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a caracterização da área de estudo, a descrição dos materiais (produtos cartográficos e softwares) e o método utilizado na pesquisa.

2.1 Área de estudo

Nas regiões de elevada altitude, no nordeste do Rio Grande do Sul (RS), próximo ao limite com o Estado de Santa Catarina (SC), encontra-se o espaço geográfico denominado Campos de Cima da Serra, inserido no Planalto Meridional. A área de estudo representa parte dessa região, onde a economia baseia-se principalmente na pecuária extensiva (AMBROSINI *et al.*, 2012), na porção superior das bacias hidrográficas dos rios Taquari-Antas (porção sul da área de estudo) e Apuaê-Inhandava (porção norte da área de estudo), que corresponde a 9.004,38 km² e é limitada pelas seguintes coordenadas: projeção UTM, datum horizontal WGS84, fuso 22, 487883 - 622132 E e 6746117 - 6875309 N (Fig. 1).

A Região possui o clima mais frio do sul do país, com chuvas ocorrendo em todos os meses do ano, sem uma estação seca bem definida. A precipitação média anual varia de 1.500 a 1.700 mm. Em junho e julho ocorrem temperaturas mínimas absolutas abaixo de 0 °C. No inverno, a média diária da temperatura costuma ficar abaixo dos 10,5 °C; e nos meses mais quentes, a temperatura média fica abaixo dos 19 °C (BOND-BUCKUP *et al.*, 2010).

Conforme a classificação de Köppen, o clima da é caracterizado como do tipo “Cfb”, igualmente conhecido como temperado úmido. Esse tipo de clima apresenta chuvas bem distribuídas ao longo do ano e temperatura do mês mais quente inferior a 22 °C.

Nos Campos de Cima da Serra, predominam rochas de caráter ácido, tais como dacitos e riodacitos felsíticos, riolitos felsíticos, basaltos pórfiros e fenobasaltos vítreos. Estas rochas, por seu maior conteúdo de sílica, apresentam mais resistência ao intemperismo e, por isso, geralmente ocorrem em relevo tabular de platô. A continuidade física deste relevo é interrompida apenas junto ao leito dos rios, os quais, com seu continuado trabalho erosivo, acabam por expor o basalto subjacente.



Fig.1 - Localização da região nordeste do RS, sobre os Campos de Cima da Serra.

Nas imediações dos vales dos rios Pelotas, Antas e Touros e seus afluentes principais, predomina o basalto (HORBACH *et al.*, 1986). Quanto aos solos, são pobres na sua composição química. Na parte leste do Planalto, geralmente eles apresentam pouca profundidade e são classificados como cambissolos, originados de derrames ácidos. Na parte oeste da Região, predominam solos profundos, do tipo latossolo Bruno, formados a partir de basalto (HORBACH *et al.*, 1986).

2.2 Materiais

A hidrografia foi obtida a partir da Base Vetorial do RS, em escala 1:50.000 (HASENACK & WEBER, 2010), disponível em meio digital. Esse plano de informação corresponde à digitalização sistemática das cartas topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) do Exército.

Foi realizado um trabalho de campo para o reconhecimento da área de estudo, nos dias 3, 4 e 5 de junho de 2010, onde 153 amostras de treinamento que representavam a FOM foram selecionadas e georreferenciadas, com o auxílio de um GPS de navegação.

O mapeamento da vegetação nativa na região de estudo foi realizado por meio de imagens de satélite da série Landsat 5, sensor TM, com resolução espacial de 30 m, bandas um a sete (excluída a banda seis – resolução espacial de 120 m), que envolveram cenas de duas órbitas-ponto, a 220-80 e a 221-80, cujas cenas foram obtidas nos dias 31 de agosto e 7 de setembro de 2010 (INPE, 2010).

O registro das imagens do mapeamento temático envolveu como base a utilização de cenas TM do catálogo GeoCover (Global Land Cover Facility, 2010). Para a padronização dos diversos planos de informação, foi adotada como referência a Universal Transversa de Mercator (UTM), e o datum horizontal World Geodetic System 1984 (WGS84).

Os dados topográficos foram obtidos a partir dos dados SRTM, disponibilizados pelo INPE, organizados em um banco de dados geomorfométricos locais para o território nacional, denominado TOPODATA (VALERIANO *et al.*, 2009). O modelo digital de elevação, refinado para a resolução de 1" (~30 m), e suas variáveis geomorfométricas derivadas de primeira ordem (declividade e orientação de vertentes) e de segunda ordem (curvaturas horizontal e vertical) foram selecionados dentre os planos de informação.

Os softwares utilizados no desenvolvimento do trabalho e a respectiva utilidade são descritos a seguir: Global Mapper (versão 11.0) e Autocad Map 2005, para a edição dos arquivos vetoriais; Envi (versão 4.5), para o registro das imagens de satélite e a seleção das áreas de treinamento da classificação supervisionada; Idrisi Andes

(versão 15.0), para a classificação supervisionada das imagens, o pré-processamento (conversão) dos arquivos disponíveis no banco de dados TOPODATA e a análise dos resultados, incluindo a estruturação do mapa potencial; e MultiSpec, para a obtenção dos histogramas da resposta espectral das amostras de treinamento, utilizadas na classificação das imagens.

2.3 Análise dos dados

A representação esquemática das etapas do trabalho é apresentada na Figura 2.

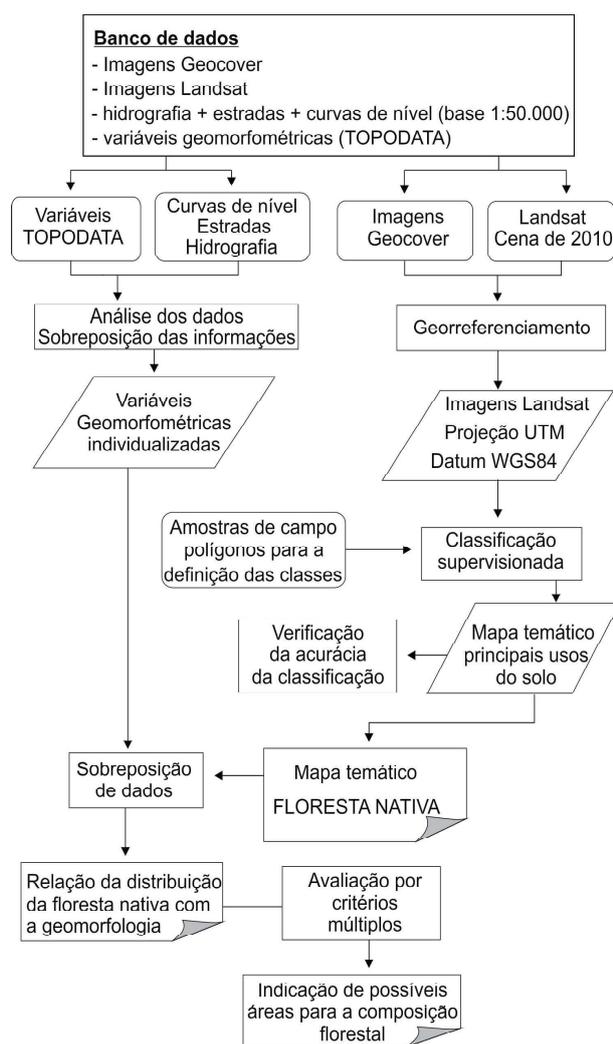


Fig. 2 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos utilizados.

2.3.1 Mapeamento da cobertura florestal

A integração de imagens com mapas e outras informações requer o uso da correção geométrica (D'ALGE, 2001). O georreferenciamento das imagens do satélite Landsat 5 foi obtido por meio da transformação geométrica polinomial

de segundo grau, utilizando como método de amostragem a interpolação por “Vizinho Mais Próximo”, onde foram utilizados 55 pontos de controle para as duas cenas, apresentando como resultado do registro um erro RMS (Root Mean Square) médio de 0,35 (inferior a um pixel). As variáveis geomorfométricas (TOPODATA), com resolução de 32 bits foram corrigidas geometricamente utilizando as coordenadas conhecidas dos cantos das imagens.

A distinção da floresta nativa sobre as imagens de satélite foi feita por meio de classificação supervisionada: seleção de 81 áreas de treinamento (9,78 km² - 0,10% da área de estudo) para as imagens Landsat da órbita 220 e 193 amostras de treinamento sobre a imagem da órbita 221, totalizando uma área de 20,77 km² (0,23% da área de estudo). Para a classificação digital, utilizou-se o algoritmo Máxima Verossimilhança (MaxVer). A precisão dos métodos utilizados foi avaliada a partir da análise da matriz de confusão (erros de inclusão e omissão) e do coeficiente de concordância Kappa para a classe em questão (CONGALTON & GREEN, 1999; LANDIS & KOCH, 1977).

De forma complementar ao mapeamento e visando a compreensão da estrutura de ocorrência da vegetação florestal, realizou-se uma análise a partir da rede hidrográfica, convertida para a estrutura matricial, onde foram efetuados buffers (perímetros) de 100, 200, 300 e 400 metros. Sobre estas áreas quantificou-se a ocorrência da FOM mapeada.

2.3.2 Relação da ocorrência florestal com as variáveis geomorfométricas

Com a sobreposição das variáveis geomorfométricas (TOPODATA) sobre as áreas de floresta nativa mapeadas, foram gerados histogramas com as frequências de ocorrência de valores numéricos e de classes. Os valores nulos, fora da área avaliada, não foram considerados.

A análise da vegetação potencial refere-se à máxima expressão que a vegetação atingiria se tivesse a liberdade de se desenvolver sem a interferência do ser humano, considerando-se os atuais limites proporcionados pelo clima e pelas condições edáficas (FÁVERO *et al.*, 2004).

Para a proposição de áreas potenciais de ocorrência da floresta nativa no presente trabalho, não foram considerados aspectos

relacionados à ação antrópica, como estradas, áreas urbanas e demais usos. A pretensão envolveu a seguinte lógica: o potencial de ocorrência deve representar ao menos um percentual considerável da paisagem florestal atual, para que as evidências apresentadas demonstrem o grau de confiança.

O método denominado Combinação Linear Ponderada (Weighted Linear Combination - WLC) utiliza uma padronização de fatores para uma escala contínua de aptidão de 0 (menos apto) a 255 (mais apto), sem reduzir os dados a uma simples restrição Booleana (aceitar e rejeitar), que resulta em limites rígidos de decisão. No método WLC, é possível utilizar o conceito relativo ou fuzzy para definir as áreas de aptidão, bem como os limites de inaptidão, para os fatores considerados na análise (EASTMAN, 1997).

Foi relacionada a similaridade entre a distribuição da floresta e as variáveis estruturadas como fatores da avaliação multicritério. A similaridade explica a comparabilidade entre as imagens, indicando o grau de associação entre os dados.

A potencialidade à ocorrência da Floresta Ombrófila Mista foi calculada pela combinação linear ponderada (WLC) por meio de fatores múltiplos. As variáveis (fatores) que, inicialmente, condicionaram a elaboração do mapa potencial foram: declividade; altimetria; e hidrografia.

2.3.2.1 Fatores condicionantes à ocorrência florestal mapeada

A tendência da floresta em ocupar áreas com maior declividade é expressa pela diferença observada em relação ao comportamento médio do relevo na área de estudo. Baseado nesse aspecto, ao invés do valor modal, que é próximo ao perfil geral do relevo, foi utilizado valor da média como referência para o maior potencial de ocorrência da floresta nativa. Para confirmar a referida análise, foram gerados cinco fatores distintos quanto à aptidão em função das faixas de declividade:

- (a) utilizando os valores entre menor pico e maior média de declividade, observados nos resultados de ocorrência da floresta mapeada em 2010, foi definida uma faixa de aptidão entre 12 e 29%. A padronização para a escala de aptidão (0 a 255)

foi realizada pela função sigmoideal simétrica, com pontos de inflexão em 3, 12, 29 e 90%;

- (b) utilizando o valor modal (16% - maior frequência) da ocorrência da floresta mapeada em 2010 como maior potencial, gerou-se uma função sigmoideal simétrica, com pontos de inflexão em 3, 16 e 90%;

- (c) utilizando a amplitude entre a moda das três análises (16 a 19°) como maior aptidão, o mapa foi gerado utilizando a função sigmoideal simétrica, com pontos de inflexão em 3, 16, 19 e 90%.

- (d) utilizando como potencial a amplitude entre o pico (14 a 19°) observado em 2010, gerou-se um mapa pela função sigmoideal simétrica, com pontos de inflexão em 3, 14, 19 e 90%.

- (e) para finalizar os testes quanto ao melhor intervalo de distribuição da aptidão, utilizou-se como preferência o percentual de 29% de declividade (terrenos forte ondulados), baseado na média da ocorrência da floresta mapeada em 2010. A função utilizada representa uma curva sigmoideal simétrica, com pontos de inflexão em 3, 29, e 90%.

A escolha do melhor fator de aptidão, baseado na declividade e altimetria, foi influenciada pelo teste de similaridade entre as imagens. O “V” de Cramer (Cramer’s V) é um coeficiente que indica a correlação entre duas imagens, resultado da afinidade entre duas categorias, que varia de 0,0 (nenhuma correlação), até 1,0 (perfeita correlação) (EASTMAN, 2006).

Para o fator hidrografia, a partir dos seus vetores rasterizados, foi gerado um mapa com as distâncias lineares, posteriormente transformado em um mapa de aptidão, com o valor mínimo de 0 e a distância máxima de 2.560 metros. A proximidade com os recursos hídricos representou a maior aptidão (valor 255) à ocorrência da floresta nativa.

2.3.2.2 Definição dos pesos e composição final do mapa potencial

Depois de estruturados os fatores de potencialidade à ocorrência da floresta, foram definidos os pesos respectivos por meio do método de comparação pareada. Esse método, conhecido também como Processo Analítico Hierárquico (Analytical Hierarchy Process -

AHP), considera a ponderação de importância entre os fatores de decisão (MIRANDA, 2005). Utilizou-se a declividade, com peso de ponderação 0,3 e a distância da floresta mapeada em relação à hidrografia, com peso de ponderação 0,7.

Pela função MCE (Multi-Criteria Evaluation), foram gerados e testados 3 cenários distintos, totalizando 12 tentativas, que indicariam o potencial de ocorrência da floresta com base em fatores ambientais relacionados ao relevo.

O mapa com o potencial de ocorrência (escala de 0 a 255) foi dividido em 5 classes: muito baixo (0 a 51); baixo (51 a 102); médio (102 a 153); alto (153 a 204) e muito alto (204 a 255).

A análise de sub-bacias hidrográficas com maior potencial de avanço florestal sobre áreas de campo foi obtida a partir do mapa potencial, considerando-se a sobreposição de planos de informação e quantificação das informações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo estão sendo apresentados os resultados obtidos no mapeamento da cobertura

vegetal da área de estudo, a análise das variáveis geomorfométricas na relação com o padrão de ocupação da floresta nativa e o indicativo do potencial de ocupação da floresta sobre a matriz campestre nativa.

3.1 Mapeamento da cobertura florestal

As áreas de FOM têm maior expressividade em regiões de encosta e próximas aos recursos hídricos de maior porte. A floresta ocorre em terrenos ondulados, pelo potencial reduzido para a agricultura e pecuária, além das porções mais baixas do terreno, em função da maior disponibilidade de água e nutrientes (Fig. 3). Junto ao campo nativo (Estepe), em regiões de maior altitude, a floresta se apresenta na forma de manchas, com formações descontínuas no espaço (DUARTE *et al.*, 2006; OLIVEIRA & PILLAR, 2004).

Pelo mapeamento obtido, a maior densidade de áreas florestais ocorre junto aos rios das Antas e Pelotas, além dos seus afluentes principais (Figura 3).

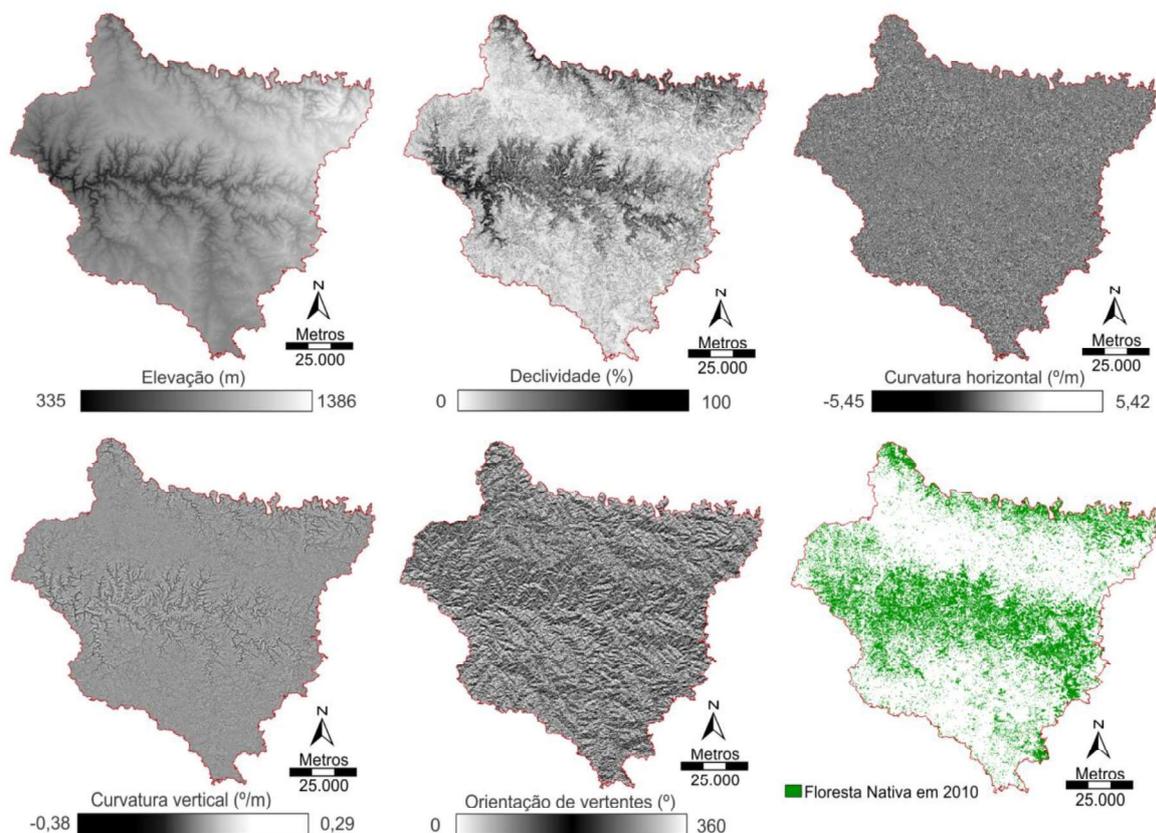


Fig. 3 - Mapas das variáveis geomorfométricas e o resultado da classificação da FOM na região nordeste do RS.

Conforme o mapeamento temático sobre a imagem de satélite obtida em 2010, a floresta representa um percentual de 27%, que representa uma área de 2.492,86 km².

O resultado do mapeamento temático da FOM foi considerado satisfatório, com o índice Kappa de concordância de 0,95 e 0,96, para as duas imagens que compõem o mosaico da área de estudo, gerando assim um mapeamento excelente, conforme a classificação proposta por Landis & Koch (1977). Além disso, os erros de comissão e omissão da classificação foram inferiores a 4%.

3.2 Análise das variáveis geomorfométricas e sua relação com a ocorrência florestal

Na área de estudo, a análise da distribuição numérica das variáveis geomorfométricas indica uma variação altimétrica de 335 a 1386 m, onde os compartimentos mais elevados do terreno

estão localizados no extremo nordeste e são superiores a 1.000 m (Figura 4).

Quanto à declividade, ocorrem todas as formas de relevo, desde planícies até encostas escarpadas e a faixa média é de 18%, que corresponde a terrenos ondulados conforme a classificação adotada pela EMBRAPA (1999).

O histograma de frequências da orientação de vertentes apresenta uma distribuição bimodal, com as maiores ocorrências em torno das vertentes norte e sul. As variáveis: curvatura vertical e curvatura horizontal distribuem-se de forma equilibrada, apenas com uma leve tendência à ocorrência de terrenos com curvatura côncava (Fig. 4). Quando consideradas apenas as áreas florestais atuais, a sua distribuição ao longo do gradiente altimétrico mostra-se proporcional à frequência de toda a área de estudo, ocupando uma amplitude que varia de 342 até 1384 m.

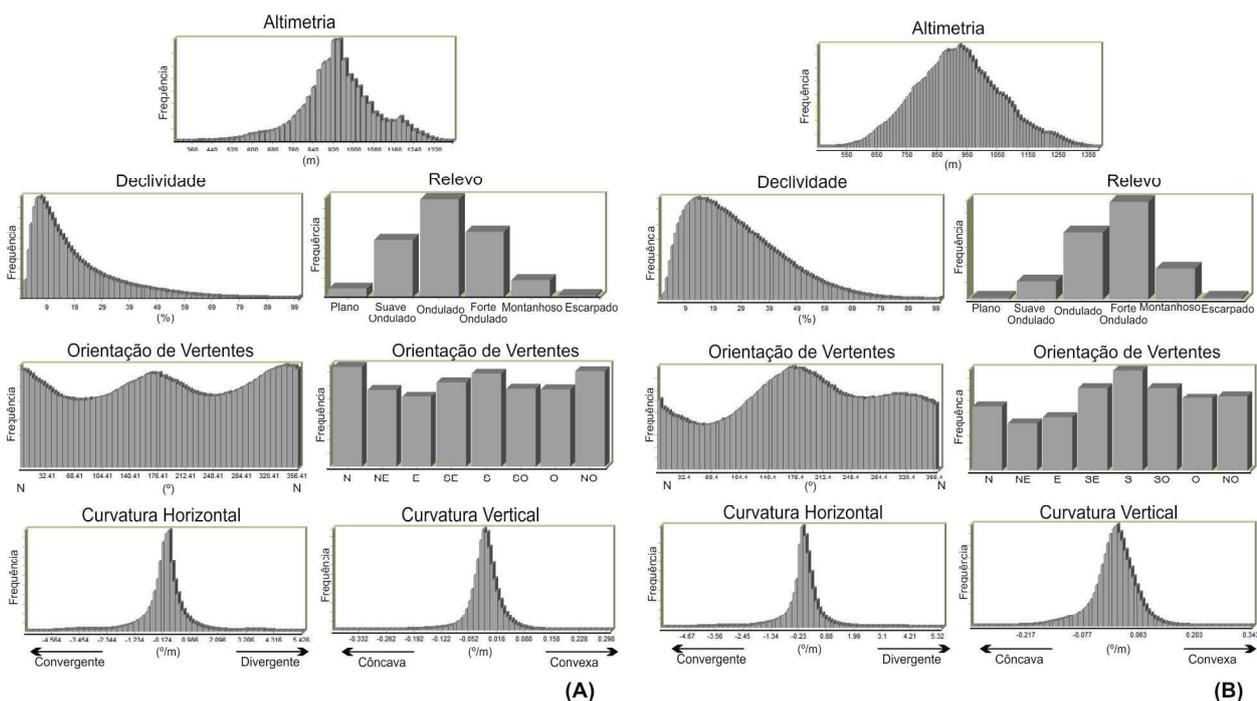


Fig. 4 - Distribuição de frequências de ocorrência das variáveis geomorfométricas em toda a área de estudo (A) e considerando apenas as regiões de FOM (B) mapeadas em 2010, na região nordeste do RS.

Considerando a análise da floresta em relação à declividade, são registradas todas as faixas percentuais, com média de 28% de inclinação, que difere da média geral da área de estudo e corresponde a relevos forte ondulados. Entretanto, o pico das frequências está em torno de 12 a 17%, que representa os terrenos

ondulados. A ocorrência da floresta em áreas com maior declividade (terrenos ondulados e forte ondulados) indica uma tendência que difere do padrão descrito para toda a área de estudo.

A frequência de ocorrência da floresta em relação à orientação de vertentes evidencia uma distribuição bimodal, com maior preferência

por terrenos orientados para o sul. Os regimes térmicos e hídricos do solo são afetados pela radiação solar, que é condicionada em parte pela orientação de vertentes, onde terrenos voltados para o norte tendem a receber uma maior radiação solar. As diferenças quanto à incidência da radiação solar no solo podem originar variações na fitofisionomia vegetal, que tende a ser campestre em áreas orientadas para o norte. Nos terrenos orientados para o sul a maior ocorrência tende a ser de florestas (ARMESTO & MARTÍNEZ, 1978).

No estudo realizado por Silva *et al.*, (2007), analisando a regeneração florestal sobre uma área de Mata Atlântica, não foram encontradas evidências quanto à influência da orientação de vertentes sobre a vegetação. Além disso, os mesmos autores citam que a maior cobertura de mata ocorre em áreas mais íngremes ($> 10^\circ$) e com maior altitude (> 923 m).

No presente estudo, a distribuição da floresta em relação às curvaturas vertical e horizontal exibe uma simetria de distribuição das frequências, mas com uma leve tendência à ocorrência de terrenos convergentes e côncavos.

A rede hidrográfica digital sobreposta ao mapa com a classificação das áreas de FOM resultou nas seguintes informações: a floresta tem 39% do total de sua área (2.492,86 km²) localizada em uma distância inferior a 100 m dos recursos hídricos; considerando uma distância de até 200 m em relação à hidrografia, o percentual de vegetação é maior e representa 62% do total; aumentando o limite do perímetro para 300 m, 80% da floresta mapeada ocorre dentro dessa distância máxima e, por fim, considerando a distância máxima de 400 m, 90% da área ocupada pela classe florestal foi registrada dentro desse perímetro.

3.2.1 Fatores influentes na ocorrência florestal

Pelo resultado obtido, a proximidade da floresta nativa com a hidrografia não foi considerada como fator restritivo à sua ocorrência, pelo menos na escala de análise utilizada e, devido a sua importância, foi considerada como um dos fatores potenciais à ocorrência da floresta nativa, na análise posterior.

Identificaram-se tendências sutis quanto à análise das variáveis do relevo observadas, onde os resultados sugerem uma pequena

preferência da floresta nativa por terrenos mais inclinados. Bispo *et al.*, (2010) considera a declividade como um dos fatores importantes na distinção dos tipos vegetais. Além disso, as variáveis geomorfométricas analisadas não se configuram como restrições naturais às áreas de ocorrência da FOM na Região dos Campos de Cima da Serra. Dentre as variáveis que poderiam contribuir como fatores potenciais favoráveis à floresta, a melhor correlação (V Cramer's = 0,33) foi observada para o fator declividade, utilizando como preferência a declividade de 29% (terrenos forte ondulados). De forma similar, foram testados fatores de aptidão para a variável altimetria, onde a correlação mais coerente (V Cramer's = 0,15) refere-se ao valor de maior frequência de ocorrência da floresta (928 m). Porém, pela baixa correlação, a altimetria foi desconsiderada como fator indicativo da ocorrência da floresta.

Silva *et al.*, (2007) não encontraram fatores que possam representar a influência direta do relevo sobre a cobertura florestal e que poderiam agir na regeneração florestal. Porém, os mesmos autores observaram uma maior cobertura de mata em áreas mais íngremes ($> 10^\circ$). No presente estudo, deve-se considerar a existência de uma matriz campestre, cuja formação é anterior à ocorrência da floresta, que estaria avançando sobre essa região (DUARTE *et al.*, 2006; OLIVEIRA & PILLAR, 2004; BEHLING *et al.*, 2004; PILLAR, 2003; ROTH & LORSCHETTER, 1991). Nesse sentido, a declividade e a disponibilidade hídrica tornam-se os indicativos de maior potencial à ocorrência de formações florestais. Portanto, não foram considerados os fatores antrópicos na análise da distribuição da floresta, mas o fator declividade, que inicialmente representa uma preferência da vegetação, pode ser uma restrição à ocupação antrópica, favorecendo a ocorrência da floresta.

3.3 Áreas potenciais de ocorrência da FOM

Após os testes de variados cenários e condicionantes relevo à ocorrência da FOM, a composição dos fatores declividade e hidrografia (Figura 5) como influentes no desenvolvimento florestal na área de estudo gerou o mapa de ocorrência potencial da FOM.

A declividade restringe o maior potencial de ocupação da floresta, se comparada com a

hidrografia, que indica alto potencial para a floresta em quase toda a área de estudo, devido à elevada densidade da rede de drenagem e sua distribuição uniforme. As áreas com maior

proximidade de conectividade florestal junto ao campo nativo entre as bacias Taquari-Antas e Apuaê-Inhandava (Figura 6).

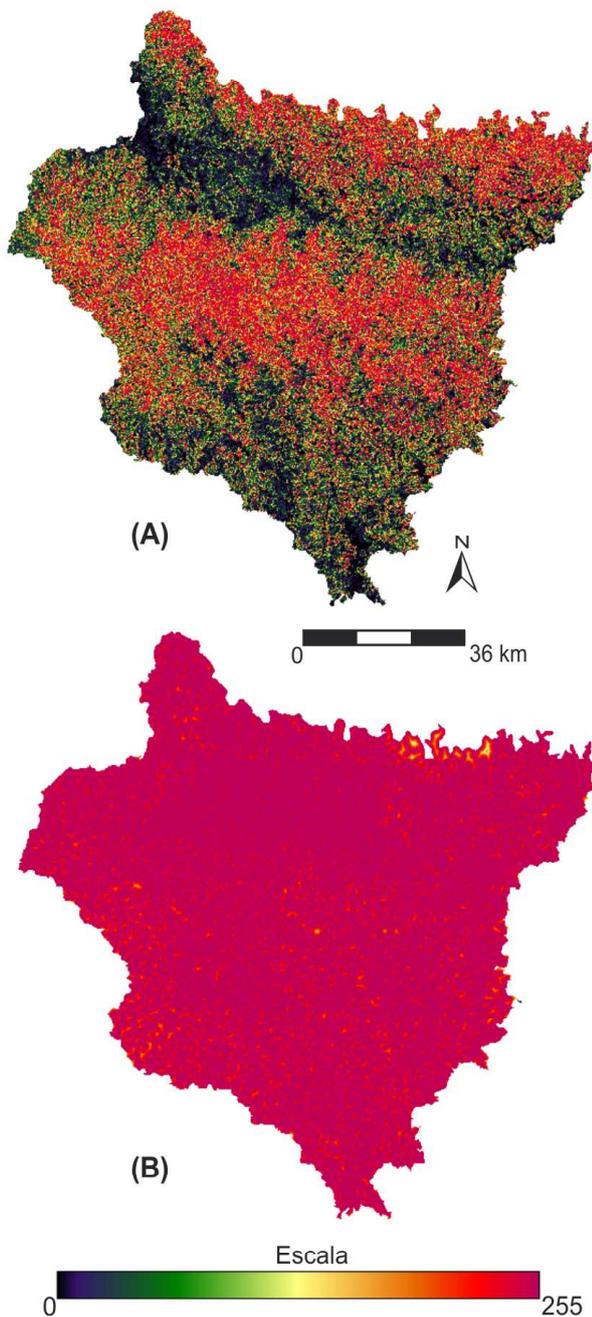


Fig. 5 – Mapas do fator declividade (A) e fator hidrografia (B), utilizados para a elaboração do mapa de potencial da FOM.

declividade concentram-se junto aos rios de maior porte, no caso os rios das Antas e Pelotas e seus afluentes principais. Essas áreas indicam o maior potencial de ocorrência da FOM, que forma na porção central da área de estudo a maior

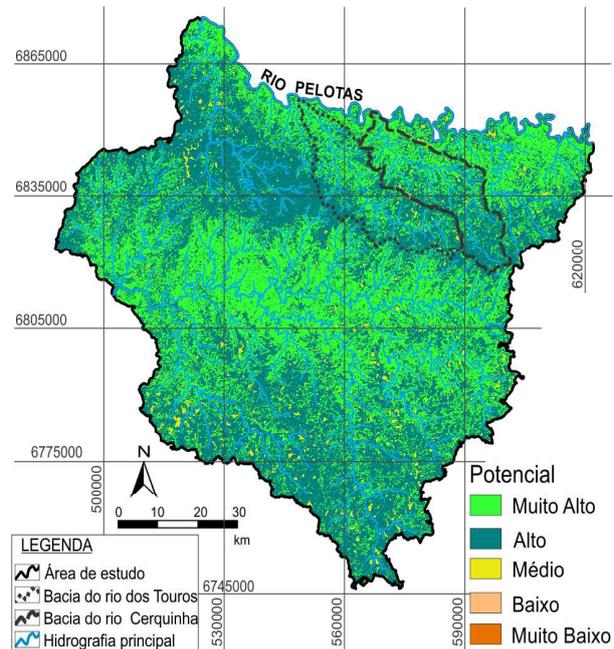


Fig. 6 - Mapa-síntese do potencial de ocorrência da FOM na região nordeste do RS

O mapa potencial de ocorrência da FOM (Figura 6) amplia o padrão de ocupação florestal atual sobre as áreas de campo nativo, influenciado principalmente pela declividade, onde o maior potencial refere-se a terrenos ondulados e forte ondulados, desde que próximos dos recursos hídricos. Em toda a área de estudo, 96% representa muito alto e alto potencial de ocorrência florestal (Tabela 1), representando assim a favorabilidade de ampliação da matriz florestal e poucas condições restritivas, pelo cenário analisado no presente estudo.

Para evidenciar a semelhança entre a relação do mapa potencial e a ocorrência da floresta em 2010, os limites dos polígonos do mapeamento foram sobrepostos à seleção da classe definida como muito alto potencial do mapa simulado (Figuras 7 e 8).

A comparação entre as áreas de floresta nativa com o mapa potencial indicou baixo conflito, refletindo um bom resultado de predição quanto à ocorrência arbórea (Tabela 1). Em termos percentuais, 98% da floresta mapeada em 2010 encontra-se identificada como áreas de

alto e muito alto potencial. Os locais definidos como muito alto potencial representam, além do que existe atualmente estruturado como floresta nativa, uma área adicional de 1.951,69 km².

Em áreas próximas à rede de drenagem e com terrenos que possuem um relevo forte ondulado, o mapa potencial indica o mais alto índice de favorabilidade, onde a floresta poderia ocorrer de fato. Além disso, essas áreas de muito alto potencial estão, de forma expressiva, próximas às ocupações florestais nativas, constituindo-se de prolongamentos da floresta mapeados em 2010, tanto nas áreas contínuas como nas manchas sobre a região de campo nativo. Assim, o indicativo potencial condiciona a vegetação especialmente pelo fator declividade. As classes de baixo e muito baixo potencial florestal ocorrem em eventos pontuais e, em termos quantitativos, com uma área pouco expressiva, no limite leste da área de estudo, próximo à região de escarpa do Planalto Meridional (Tabela 1).

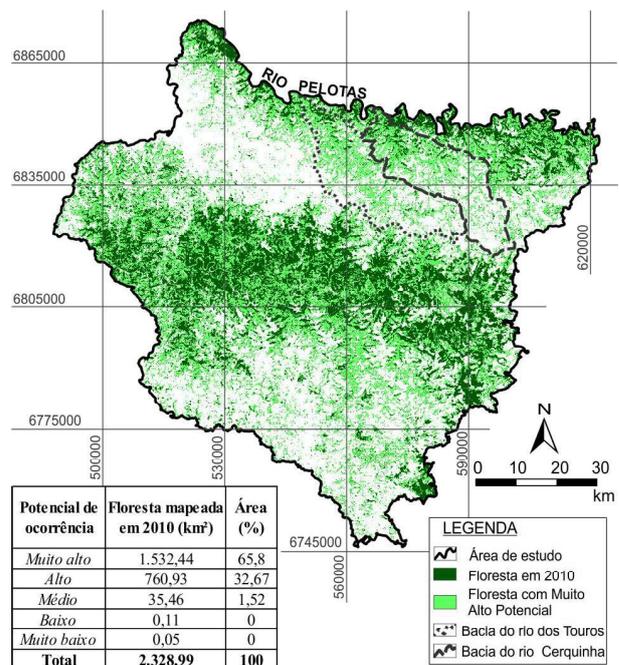


Fig. 7 - Mapa da FOM mapeada em 2010 com a classe "muito alto potencial", referente à ocorrência da floresta na região nordeste do RS.

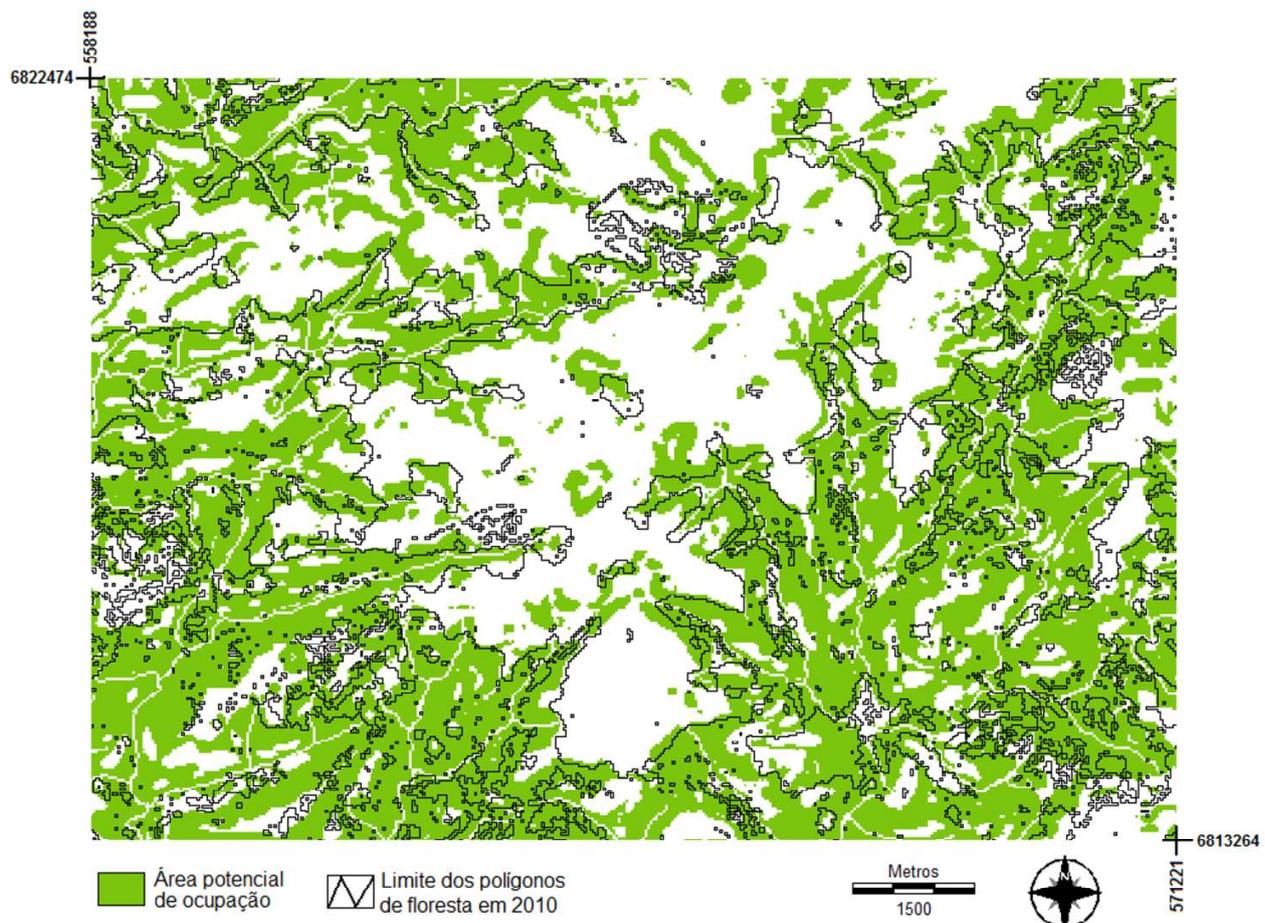


Fig. 8 - Mapa parcial do potencial de ocorrência da floresta, com a representação das áreas classificadas como muito alto potencial e os polígonos florestais mapeados em 2010, região nordeste do RS. Coordenadas UTM, datum WGS 84, fuso 22.

Tabela 1: Comparação do conflito entre as classes potenciais de ocorrência da floresta nativa e as informações da vegetação mapeada em 2010, na região nordeste do RS

Potencial de ocorrência	Área potencial (km ²)	Área (%)	Floresta mapeada em 2010 (km ²)	Área (%)
Muito alto	3.484,13	40,55	1.532,44	65,8
Alto	4.784,71	55,69	760,93	32,67
Médio	322,52	3,75	35,46	1,52
Baixo	0,78	0,01	0,11	0
Muito baixo	0,12	0	0,05	0
Total	8.592,26*	100	2.328,99	100

* Descontada a área ocupada pela hidrografia (412,12 Km²).

Na análise da matriz campestre junto à área de estudo pelo maior potencial de ocorrência florestal, são indicadas duas sub-bacias hidrográficas que sugerem uma característica de aproximação (conectividade) florestal representativa entre as bacias Taquari-Antas e Apuaê-Inhandava: sub-bacia do rio dos Touros e sub-bacia do rio Cerquinha. As áreas de FOM são mais expressivas na bacia hidrográfica Taquari-Antas, em comparação com a bacia Apuaê-Inhandava, onde estão localizadas essas duas sub-bacias potenciais, no limite norte da área de estudo.

Somadas, as duas sub-bacias representam, aproximadamente, 10% do total da área de estudo. Pelo cenário de ocupação mapeado em 2010, nessas regiões a floresta nativa ocupa uma área de 109,36 km², que representa apenas 11% do seu território (Tabela 2). Se sobrepostas as áreas de floresta nativa mapeadas em 2010 sobre as áreas da classe de muito alto potencial,

a acurácia do mapa potencial representa os seguintes percentuais: 68% da floresta identificada para a bacia do rio Cerquinha; e 60% da floresta identificada para a bacia do rio dos Touros. O percentual restante de floresta mapeada corresponde à classe de alto potencial.

Nas duas bacias citadas, as áreas mais favoráveis, que correspondem à classe de muito alto potencial, representariam uma área adicional de 288,21 km². Por fim, mais de 80% da área dessas sub-bacias representa as classes de alto a muito alto potencial (Tabela 2).

O mapa com a indicação de áreas potenciais à ocorrência da floresta nativa (Fig. 5) apresentou boa acurácia, com um acerto de 65,8%, levando-se em conta apenas o erro de omissão em relação ao mapeamento da floresta e a classe caracterizada como muito alto potencial, (Tabela 1). O índice Kappa observado (0,44) apenas para a classe florestal torna satisfatório o produto final (Figura 6).

Tabela 2: Análise quantitativa das sub-bacias hidrográficas de reconhecida importância para a indicação de áreas potenciais à ocorrência da floresta nativa na matriz campestre, na região nordeste do RS

Sub-Bacia Hidrográfica	Floresta mapeada em 2010	Área de Muito Alto Potencial	Área de Alto Potencial	Área de Médio Potencial	Total (km ²)*
Rio Cerquinha	61,49	136,65	256,66	14,08	454,8
Rio dos Touros	47,87	151,56	301,55	11,37	500,98
Total (km²)	109,36	288,21	558,21	25,45	955,78
Total (%)	11,15	29,37	56,89	2,59	100

Tabela 3: Matriz de confusão obtida a partir do mapa das áreas com muito alto potencial de ocorrência da floresta nativa e o mapeamento temático da respectiva classe, região nordeste do RS

Mapa	Verdade terrestre		Total (pixels)
	Não Floresta	Floresta	
Não floresta	5248531	885084	6133615
Floresta	2168541	1702718	3871259
Total	7417072	2587802	10004874
Acerto (%)	-	65,8	-
Kappa	-	0,44	-

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento da vegetação foi considerado satisfatório. As variáveis geomorfométricas contribuíram para a análise do padrão de ocorrência da floresta na área de estudo.

A aplicação da análise multicritério mostrou-se importante para a estruturação do mapa de vegetação potencial.

Conforme os resultados apresentados, além da fundamentação de outros trabalhos (PELOSO & SHIMABUKURO, 2010; BISPO *et al.*, 2010) que tratam do potencial indicativo da geomorfometria na diferenciação de classes de vegetação, considera-se que o padrão de ocorrência da floresta nativa na área do presente estudo é influenciado por variáveis geomorfométricas, diante das condições atuais que limitam o seu desenvolvimento, sejam elas antropogênicas ou naturais.

Pelo presente estudo, as variáveis geomorfométricas influenciam na ocorrência das florestas, considerando as transformações de fitofisionomias, diferente da expansão florestal, em termos de crescimento de borda.

Dentre os testes realizados, concluiu-se que a hidrografia e a declividade exercem um papel importante na distribuição das florestas ao longo da área de estudo.

Na atual estrutura da paisagem, se não existirem alterações significativas dos fatores ambientais, que interferem na ocorrência da floresta, sejam eles naturais ou antropogênicos, o mapa de potencial florestal gerado pode agregar informações de grande importância para a melhor conservação da FOM na região nordeste do RS.

O potencial de ocorrência da floresta sobre

as áreas campestres indica a possibilidade de aproximação florestal entre as bacias dos rios Taquari-Antas e Apuaê-Inhandava, evidenciada pelas sub-bacias dos rios dos Touros e Cerquinha.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida e ao Centro de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM-UFRGS) pela oportunidade de cursar o mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBROSINI, L. B.; MIGUEL, L. A.; FILIPPI, E. E. Evolução e diferenciação dos sistemas agrários nos Campos. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. v. 26, p. 171-187, 2012.
- ARMESTO, J.J.; MARTÍNEZ, J.A. Relations between vegetation structure and slope aspect in the mediterranean region of Chile. **Journal of Ecology**: 66: 881-889, 1978.
- BEHLING, H.; PILLAR, V.; ORLÓCI, L.; BAUERMANN, S.G. Late Quaternary Araucaria forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**: 203: 277-297, 2004.
- BISPO, P.C.; VALERIANO, M.M.; KUPLICH, T.M. Relação entre as variáveis morfométricas extraídas de dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e a vegetação do Parque Nacional de Brasília. **Acta Botanica Brasilica**: 24(1): 96-103, 2010.

- BOLDRINI, I. I. **Biodiversidade dos campos do planalto das araucárias**. Brasília: MMA, 2009. 240 p.
- BOND-BUCKUP, G.; BUCKUP, L.; DREIER, C. **Biodiversidade dos Campos de Cima da Serra**. Porto Alegre: Libretos. 2010. 196p.
- CONGALTON, R.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. Boca Raton, Florida: CRC/Lewis Press. 1999. 137p.
- D'ALGE, J.C.L. **Geoprocessamento - Teoria e Aplicações - Parte I - Cap. 6 - Cartografia para Geoprocessamento**. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2001. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso: 15 novembro 2010.
- DUARTE, L.S., DOS SANTOS, M.M.G., HARTZ, S.M.; PILLAR, V.D. The role of nurse plants on Araucaria Forest expansion over grassland in south Brazil. **Austral Ecology**. 31: 520-528, 2006.
- EASTMAN, J. R. **IDRISI Manual**. IDRISI Andes Guide to GIS and Image Processing. Manual Version 15.00. Clark University, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos. 2006. 412p.
- FÁVERO, O.A.; NUCCI, J.C.; BIASI, M.D. Vegetação Natural Potencial e Mapeamento da Vegetação e Usos Atuais das Terras da Floresta Nacional de Ipanema, Iperó/SP: conservação e gestão ambiental. **RA'E GA** 8: 55-68, UFPR: Curitiba, 2004.
- FLORINSKY, I.V.; KURYAKOVA, G.A. Influence of topography on some vegetation cover properties. **Catena**, 27 (2): 123-141, 1996.
- FREITAS, S.R.; CRUZ, C. B. M. Índices de Vegetação na Caracterização de Fragmentos de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**Belo Horizonte, INPE, 2003.
- GLOBAL LAND COVER FACILITY (GLCF). **Landsat GeoCover**. Maryland, 2010. Catálogo. 2010. Disponível em: <<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat/>>. Acesso: 13 setembro 2010.
- HASENACK, H.; WEBER, E. (org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre, UFRGS - IB - Centro de Ecologia. DVD-ROM, Série Geoprocessamento, 3. 2010.
- HORBACH, R.; KUCK, L.; MARIMON, R.G.; MOREIRA, H.L., FUCK, G.F.; MOREIRA, M.L.O.; MARIMON, M.P.C.; PIRES, J. DE L.; VIVIAN, O.; MARINHO, D. DE A.; TEIXEIRA, W. Geologia. In: BRASIL. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento de Recursos Naturais**. Vol. 33, Folha SH 22, Porto Alegre e parte das folhas SH 21 e SI 22 Lagoa Mirim. Capítulo 1, Rio de Janeiro, 1986. 796p.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Catálogo Landsat TM**. São José dos Campos. Catálogo. 2010. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso: 15 setembro 2010.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) - FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: período 2008 a 2010**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/atlasrelatoriofinal.pdf>>. Acesso: 26 outubro 2011.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2 ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphanyo (coordenador); Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese. 2009. 672 p.
- KAISER, J.; ZOTZ, W. **Aventura no caminho dos tropeiros**. Florianópolis. Letras Brasileiras. 2006. 164p.
- KIRKBY, M.; ATKINSON, K.; LOCKWOOD, J. G. Aspect vegetation cover and erosion on semi-arid hillslopes. In: THOMES, J. (ed.). **Vegetation and Geomorphology**. Local: John Wiley: p.25-39, 1990.
- LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, 33: 159-174, 1977.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE / INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO

AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – MMA/IBAMA. **Monitoramento do Desmatamento nos biomas brasileiros por satélite. Monitoramento do Bioma Mata Atlântica de 2002 a 2008.** MMA: Brasília. 2010. Disponível em: <http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/mataatlantica/RELATORIO_PMDBBS_MATA_ATLANTICA_2002-2008.pdf> Acesso: 23 outubro 2011.

MÜLLER, S.; OVERBECK, G.E.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V.D. Plant functional types of woody species related to fire disturbance in forest-grassland ecotones. **Plant Ecology**, 189: 1-14, 2007.

OLIVEIRA, J.M.; PILLAR V.D. Vegetation dynamics on mosaics of Campos and Araucaria forest between 1974 and 1999 in Southern Brazil. **Community Ecology** 5(2): 197-202.

PILLAR, V.D. Dinâmica de expansão florestal em mosaicos de floresta e campos sul do Brasil. In: Claudino-Sales, V. (Ed.) **Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação.** Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2003. p. 209-216.

PELOSO, B.D.A.; SHIMABUKURO Y.E. Caracterização de unidades geo-botânicas do Parque Nacional da Serra do Cipó (MG) através da integração de imagens ópticas e modelo digital de elevação. **Revista Brasileira de Cartografia**, 62 (1), 2010. 103-118pp.

ROTH, L.; LORSCHREITER, M.L. Palynology of a peat in Parque Nacional de Aparados da Serra, Rio Grande do Sul, Brazil. **Boletim IG-USP**, 8: 153-157, 1991.

SILVA, W.G.; METZGER, J.P.; SIMOES, S.; SIMONETTI, C. Relief influence on the spatial distribution of the Atlantic Forest cover on the Ibiúna Plateau, SP. **Brazilian Journal of Biology** [online], 67 (3): 403-411, 2007.

VALERIANO, M.M.; ROSSETTI, D.F.; ALBUQUERQUE, P.C.G. TOPODATA: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfológicos locais em cobertura nacional. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...Natal:** INPE, 2009. p. 5499-5506.

VELÁZQUEZ-ROSAS, N.; MEAVE, J.; VÁZQUEZ-SANTANA, S. Elevation variation of leaf traits in montane rain forest tree species at La Chinantla, Southern Mexico. **Biotropica**, 34 (4): 534-546, 2002.

VIANA, V.M. Conservação da biodiversidade de fragmentos de florestas tropicais em paisagens intensamente cultivadas. In: Abordagens interdisciplinares para a Conservação da Biodiversidade e Dinâmica do Uso da Terra no Novo Mundo. **Gainesville:** Conservation International do Brasil/Universidade Federal de Minas Gerais/University of Florida, 1995. p. 135-154.