

## Efeitos de métodos de classificação e de escalas de mapeamento na percepção das relações entre geomorfometria local e classes de vegetação

Polyanna da Conceição Bispo<sup>1</sup>  
Márcio de Morisson Valeriano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{polyanna, valerian}@dsr.inpe.br

**Abstract.** The relatively recent accessibility of SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) data has stimulated the inclusion of topographic data into environmental studies throughout Brazilian biomes, traditionally deprived from topographic information. However, its assimilation in the dataset integration procedures should be preceded by significant advancements in basic knowledge, in order to develop proper methodologies. This study aims at the selection of a classification method that best expresses the contribution of geomorphometric variables concerned to vegetation mapping in two distinct biomes, Caatinga and Amazonia. Specifically, three traditional classification techniques (Cluster, MaxVer and simple slicing) were tested, beside classification assisted by multivariate tabular statistical analysis. Scale effects were also included among the conditions for the classification performance, as an adjacent research issue. The classes of vegetation in *Interflúvio Madeira-Purus* were controlled by the elevation, reflecting their relationship with altimetric strata occurring in the area, such as plateaus and floodplains. Otherwise, the distribution of vegetation in *Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas* seemed to be constrained by elevation and vertical curvature, due to their correlation with other environmental aspects (substrate, microclimate and hydrology). Among the tested methods, discriminant analysis was more suitable for the distinction of different geomorphometric patterns among vegetation classes. Together with eco-physiological differences between the studied biomes, scale of vegetation input data was found to indirectly explain the results.

**Palavras-chave:** image processing, brazilian biomes, topography, processamento de imagens, biomas brasileiros, topografia.

### 1. Introdução

Alguns estudos têm mostrado de modo indireto que a topografia exerce influência sobre a vegetação, uma vez que determina feições hidrológicas, variações na disponibilidade de água no solo, distribuição dos tipos de solo e topoclimas. Outros enfocam diretamente a relação entre a topografia e a vegetação, baseados na distribuição de dados de vegetação e variáveis topográficas, especialmente elevação, declividade e orientação de vertentes, e mais raramente estudos baseados nas curvaturas vertical e horizontal do terreno (Dargie; 1984, 1987; Kirkby et al., 1990; Florinsky e Kuryakova, 1996; Velásquez-Rosas et al., 2002). O estabelecimento de metodologias com este aporte requer o desenvolvimento de estudos específicos. Neste contexto, a utilização de bases topográficas tais como o TOPODATA (2008) pode viabilizar parte destes estudos, por oferecer derivações locais básicas dos dados topográficos SRTM em cobertura nacional.

Os métodos tradicionais de classificação digital de imagens são de grande importância em estudos ambientais, e de modo geral produzem resultados satisfatórios. Entretanto, quando se objetiva a integração de dados não espectrais (informações geomorfométricas, climáticas entre outras) para subsidiar ou refinar mapeamentos, os resultados podem se apresentar deficientes por motivos diversos. Nas modalidades tradicionais de classificação automática de imagens, os valores numéricos associados a cada pixel, determinados pela reflectância dos materiais que compõem esse pixel e sua geometria de superfície, são associados a um tipo de cobertura da superfície terrestre imageada (Crósta, 1992). Pode-se dizer dado seu funcionamento baseado em análises locais, independentes do contexto circunvizinho, que estes métodos são potencialmente compatíveis com a expressão das variáveis geomorfométricas locais. Deve-se ressaltar que o desenvolvimento metodológico para a inserção da geomorfometria no mapeamento da vegetação deve conciliar o caráter

regionalizado das classes mapeadas com a distribuição local das variáveis topográficas. Porém, como pesquisa fundamental, é oportuno fazer uma caracterização dessas relações locais por si, para a geração de conhecimentos básicos que subsidiem os avanços metodológicos até sua integração com outros dados. Portanto, tal pesquisa tem, entre suas condicionantes, a metodologia com que se associam classes a conjuntos de atributos numéricos, ou seja, o método de classificação, além das escalas espaciais dos mapeamentos envolvidos. O presente trabalho tem como objetivo avaliar métodos clássicos de classificação de imagens, com vistas a evidenciar essas relações locais em dois biomas distintos, um na Caatinga e o outro na Amazônia. Especificamente, as metas foram testar três técnicas de classificação (*Cluster*, *MaxVer* e *Fatiamento*) e uma técnica baseada em análise estatística tabular multivariada (discriminante).

## 2. Materiais e Métodos

Para o atendimento dos objetivos da pesquisa, selecionaram-se áreas com diversidade topográfica e vegetal que dispusessem de mapeamento da vegetação. As áreas selecionadas nos biomas Amazônia e Caatinga foram, respectivamente, uma área no Interflúvio Madeira-Purus e a Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas (Piauí/Ceará). Os dados de vegetação se referem aos seguintes mapeamentos: Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas (RPPNSA) - mapa da vegetação na escala de 1:100.000, de Carvalho e Pinheiro-Júnior (2004), obtido pela identificação de cada classe vegetal nas imagens orbitais TM/Landsat, através de uma abordagem integrada, usando classificação e interpretação visual de imagens seguida da caracterização florístico-fisionômica em campo. As classes não identificadas em campo que apresentaram padrões individualizados nas imagens orbitais receberam uma denominação como Complexos vegetais; Interflúvio Madeira Purus – o mapa de vegetação obtido em escala de 1:250.000 do RADAMBRASIL (1981), digitalizados pelo SIPAM (Sistema de Proteção da Amazônia). Os dados geomorfométricos foram provenientes do TOPODATA (2008). Para a avaliação da classificação por análises discriminantes, as classes de vegetação de referência foram reagrupadas em função da semelhança entre suas estruturas vegetacionais.

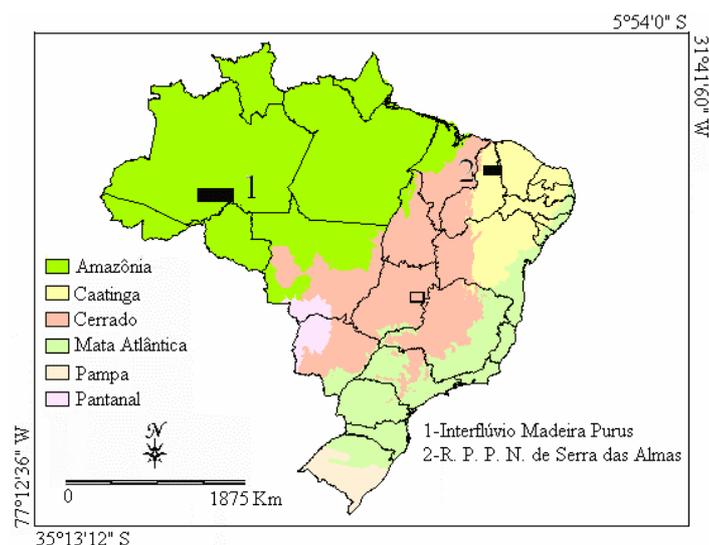


Figura 1. Localização das áreas de estudo (retângulos pretos).

Tendo em vista as classificações das áreas de estudo, foi feita uma amostragem das variáveis por classe vegetal através de programas de lote (macro) em SIG (IDRISI 2.0). As amostras foram extraídas em esquema aleatório estratificado. Para cada classe foram escolhidos aproximadamente 50 pontos. O painel amostral assim formado foi aplicado em

cada uma das variáveis para extração de amostragens uniformes entre as diferentes classes mapeadas. Os dados amostrados foram pareados em planilhas de acordo com sua posição geográfica e o conteúdo destas planilhas submetido às análises estatísticas. Tal técnica foi também usada para a extração de amostras treinamento para a classificação por Máxima Verossimilhança.

Os dados topográficos foram submetidos a testes de classificação com recursos básicos de processamento de imagens. Para isso foi necessário que os dados estivessem na estrutura típica das imagens de satélite (byte/binário). Assim, foi realizado um reescalonamento das variáveis para o intervalo de 0 a 255, o que exigiu a seleção de valores extremos para cada variável. Para que o re-escalonamento das variáveis fosse consistente sob diferentes condições de relevo, os valores extremos foram tomados após observação de 12 folhas 1:250.000 do Brasil, escolhidas pela presença de relevos contrastantes entre as áreas já preparadas no TOPODATA. Os máximos e mínimos foram tomados nos valores em que cada curva de distribuição indicasse a frequência de 1% da frequência máxima, independentemente da ocorrência de valores fora desse intervalo. Os valores de declividade foram convertidos de porcentagem para graus antes desta transformação, para que a variável mantivesse proporcionalidade uniforme, no intervalo de 0° a 39°. A orientação de vertentes, originalmente uma variável circular, foi desdobrada nas componentes lineares cosseno (“o quão para nortese orienta”) e seno (“o quão para leste”) e ambas transformadas para byte binário no intervalo de -1 a +1. A curvatura vertical foi transformada no intervalo de -0,155°/m a +0,155°/m e a curvatura horizontal -2,1 %/m a +2,1 %/m. A elevação constitui-se uma exceção a essa padronização e foi transformada usando-se os limites observados localmente. Estas transformações foram feitas essencialmente através da operação de realce de contraste (stretch). Uma vez que este estudo se ateve ao potencial de utilização dos dados topográficos, os testes de classificação apresentados - Máxima Verossimilhança (MaxVer), *Cluster* e Fatiamentos - foram aplicados de modo expedito, através dos recursos disponíveis no SIG. Ressalta-se que o Fatiamento foi feito com base na análise de histogramas verificando pontos em que as classes se apresentassem mais distintas entre si.

As classificações baseadas em estatística tabulares multivariadas tiveram como base as observações gerais sobre as variáveis geomorfométricas. As análises discriminantes (Manly, 1994) aplicadas sobre as classes vegetacionais reagrupadas indicaram as variáveis geomorfométricas de maior peso na separação dos grupos, bem como quais desses grupos foram discriminados. A partir das primeiras funções discriminantes, nas quais a maior parte da variação dos dados se concentrava, foram geradas imagens. A avaliação dessas imagens e dos gráficos das funções discriminantes permitiu que os mapas baseados nas primeiras funções fossem gerados a partir de Fatiamentos. Esses resultados foram editados em mapas experimentais para comparação com os dados de vegetação agrupados sob as novas classes.

### 3. Resultados e Discussão

As Figuras 2 e 3 ilustram os produtos das classificações das variáveis geomorfométricas selecionadas, realizadas através de métodos diversos (*Cluster*, MaxVer e Fatiamento), bem como o mapa de vegetação de cada área em estudo. Apesar da representação de tais resultados na forma de mapas (Figuras 2 e 3) é importante salientar que estes são exercícios experimentais, uma vez que não se incluem fontes tradicionais de informação para o sensoriamento remoto da vegetação.

As classificações por *Cluster*, MaxVer e Fatiamento simples, bem como a classificação por Fatiamento das primeiras funções discriminantes, mostraram diferentes respostas comparativamente aos mapas de vegetação. A avaliação dos histogramas propiciou a seleção do melhor conjunto de variáveis topográficas para alimentar algoritmos de classificação. Esta seleção se baseou nas classes que se separavam mais claramente entre si.

As análises de histogramas para RPPNSA mostraram notável separação entre as classes S\_A (Caatinga Arbórea-arbustiva) e S\_I (Mata Seca), através da variável elevação, sendo a classe S\_A coincidente com a S\_C (Caatinga Herbáceo-Lenhosa), S\_D (Complexo Arbóreo-arbustivo) e parte predominante da S\_H (Complexo Galeria). Esta última classe se distinguiu das demais por sua curvatura horizontal (caráter convergente) e curvatura vertical (côncava), principalmente. As análises de histogramas para o Interflúvio Madeira Purus, mostrou a separação entre as classes A\_B (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva sem palmeiras), A\_C (Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel emergente), A\_D (Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel emergente) e A\_F (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva) e entre A\_G (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva com palmeiras), A\_H (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - herbácea) e A\_I ( Savana Gramíneo-Lenhosa sem floresta-de-galeria) através das variáveis elevação. Esta última combinação não gerou resultado satisfatório em comparação com a referência, uma vez que não abrange todo o intervalo de valores possíveis. As demais variáveis geomorfométricas apresentaram-se mais ou menos homogêneas para todas as classes.

Observa-se que o método de classificação que gerou produto mais semelhante ao mapa referência da RPPNSA (Figura 2) foi o MaxVer ( $\kappa=0,3439$ ), principalmente pela extensão e posicionamento da classes Caatinga Florestada (S\_F), Carrasco (S\_G) e Mata Seca (S\_I). O *Cluster* apresenta o produto mais distante comparativamente ao mapa referência ( $\kappa = 0,0443$ ), especialmente no que se refere à abrangência e ao posicionamento das classes (S\_A) Caatinga Arbóreo-arbustiva e (S\_B) Complexo Arbóreo. Por outro lado, embora o produto da classificação por Fatiamento ( $\kappa=0,2662$ ) mostrasse apenas três zonas vegetacionais, estas esboçam um resultado mais coerente com a referência do que por *Cluster*.

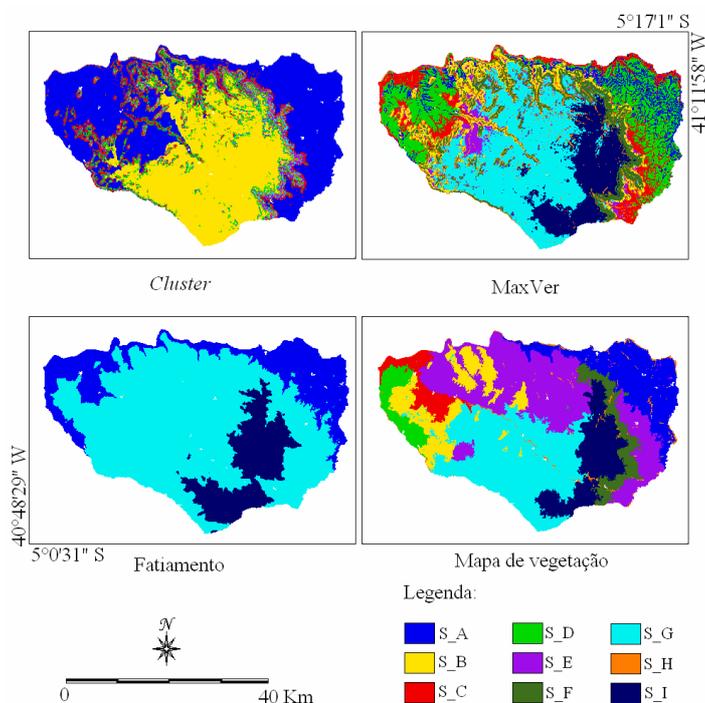


Figura 2. Classificações sobre variáveis geomorfométricas para a Reserva Particular do Patrimônio natural de Serra das almas (RPPNSA) utilizando métodos de *Cluster*, Máxima Verossimilhança (MaxVer), Fatiamento e Mapa de vegetação usado como referência. Classes de Vegetação: S\_A (Caatinga Arbórea-arbustiva), S\_B (Complexo Arbóreo), S\_C (Caatinga Herbáceo-Lenhosa), S\_D (Complexo Arbóreo-arbustivo), S\_E (Caatinga Arbórea), S\_F (Caatinga Florestada), S\_G (Carrasco), S\_H (Complexo Galeria) e S\_I (Mata Seca).

Para o Interflúvio Madeira Purus (Figura 3), o Fatiamento gerou produto comparável ao mapa referência (kappa=0,4104), principalmente pela extensão e posicionamento das classes (A\_B) Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva sem palmeiras, (A\_C) Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel emergente e (A\_D) Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel emergente. O *Cluster* (kappa=-0,0913) apresenta o resultado mais discrepante e relação à referência, sem correspondência qualquer classe. A classificação por MaxVer também mostra pouca correspondência com este mapa (kappa=0,0958).

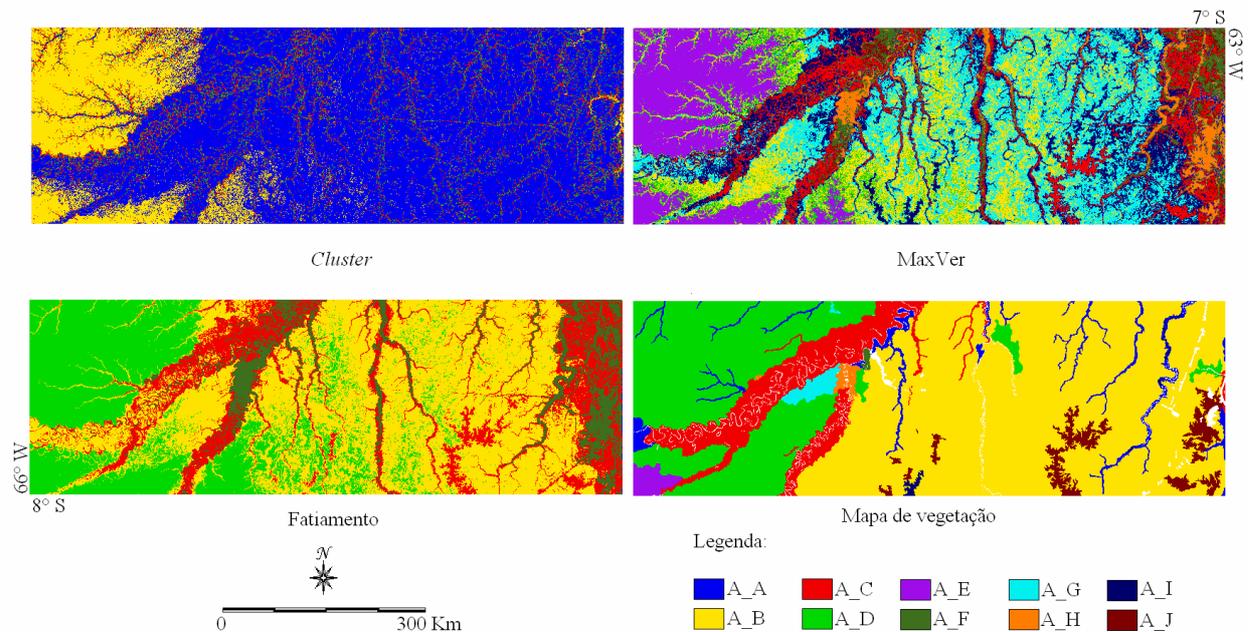


Figura 3. Classificações sobre variáveis geomorfométricas para a área do Interflúvio Madeira-Purus utilizando métodos de *Cluster*, Máxima Verossimelhança (MaxVer), Fatiamento e Mapa de vegetação usado como referência. Classes de Vegetação: A\_A (Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas com palmeiras), A\_B (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva sem palmeiras), A\_C (Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel emergente), A\_D (Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel emergente), A\_E (Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel uniforme), A\_F (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva), A\_G (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre – arbustiva com palmeiras), A\_H (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - herbácea), A\_I ( Savana Gramíneo-Lenhosa sem floresta-de-galeria) e A\_J (Savana Parque sem floresta-de-galeria).

Quanto aos processamentos baseados nas análises discriminantes, a geração da imagem da primeira função discriminante de cada área permitiu a obtenção de uma classificação mais elaborada que as anteriores, com melhores resultados gerais. A Figura 4 ilustra os mapas das funções 1 e 2 e o Fatiamento da função 1 na área da RPPNSA. É possível observar na função 1 e 2 padrões comparáveis às classes de vegetação. Na função 2 há um indicativo pronunciado do Complexo Galeria, principalmente devido à variável declividade que possui maior peso dentro de tal função, sendo o Complexo Galeria característico de ambientes fluviais, que nesta área se apresentam encaixados, portanto com declividades mais pronunciadas. O Fatiamento feito a partir da função 1 mostrou-se muito semelhante ao mapa de vegetação, especialmente quanto às classes Complexo Arbóreo-arbustivo e Mata Seca. Comparando o presente resultado com o resultado dos demais processamentos experimentais realizados, este se mostrou o mais aplicável ao mapeamento da vegetação já realizado.

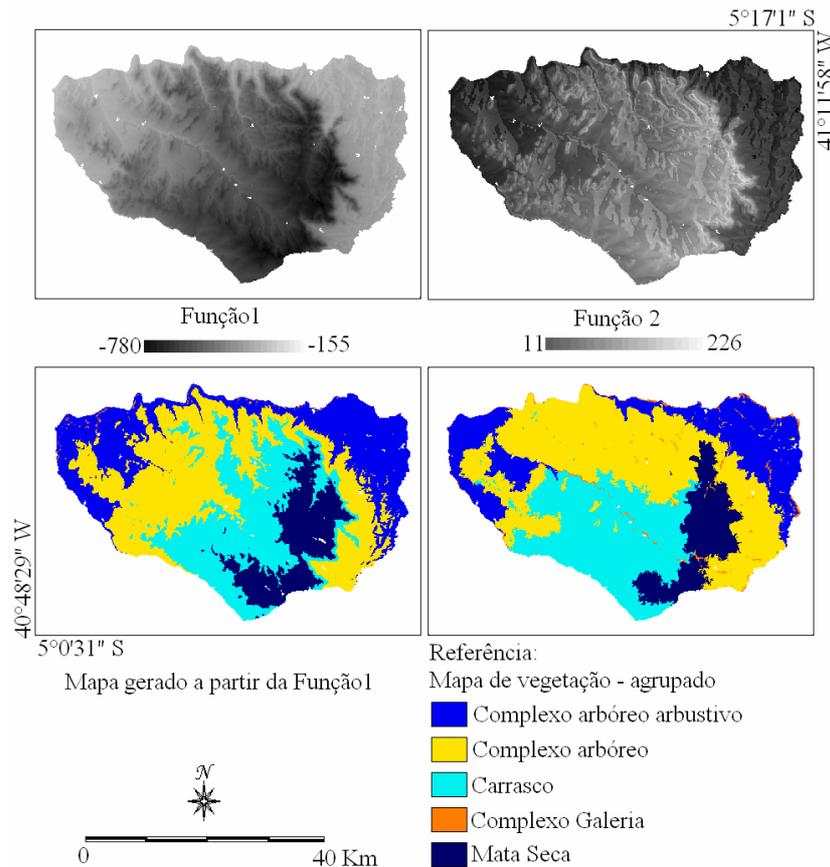


Figura 4. Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfológicas para a Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas (RPPNS) e Mapa de vegetação agrupada como referência. Classes de Vegetação: Complexo arbóreo arbustivo (Classes agrupadas: Caatinga Arbóreo-arbustiva (S\_A); Caatinga Herbácea-Lenhosa (S\_C); Complexo Arbóreo-arbustivo (S\_D), Complexo Arbóreo (Classes agrupadas: Complexo Arbóreo (S\_B); Caatinga Arbórea (S\_E); Caatinga Florestada (S\_F)), Carrasco, Complexo Galeria e Mata Seca.

No Interflúvio Madeira Purus, as feições vegetacionais foram evidenciadas pelas funções 1 e 2 (Figura 5). Pela função 1, todas as classes são distinguidas facilmente, exceto a classe Formações Pioneiras. Assim, o mapa obtido por Fatiamento da função 1 mostrou resultado satisfatório, distinguindo as Florestas ombrófilas, densa e aberta, da Savana. Embora as duas primeiras se mostrem sutilmente subestimadas e a última superestimada, estes resultados são coerentes com a tendência dos diferentes tipos de vegetação no terreno. Comparativamente aos outros processamentos experimentais, este processamento mostrou-se o mais aplicável para relacionar os dados geomorfológicos locais ao mapeamento da vegetação.

A partir dos resultados encontrados, nota-se que a compatibilidade entre as feições vegetacionais e as geomorfológicas são dependentes da escala e as suas características variam quando medidas ao longo de diferentes extensões ou resoluções espaciais com diferentes níveis de detalhe. Por exemplo, considerando a RPPNSA, existe uma maior compatibilidade entre o detalhamento das informações do mapa de vegetação e aquele da análise geomorfológica. Na área do Interflúvio Madeira-Purus, os mapas gerados a partir das variáveis geomorfológicas apresentaram um detalhamento muito elevado em relação à escala de 1:250.000, em que se apresenta o mapa de vegetação referência. Há de se considerar também, que sob uma perspectiva geomorfológica, torna-se muito limitado apenas considerarem-se as variações de uma superfície sob uma escala fixa quando se almeja a compreensão de toda a paisagem. A própria variação que ocorre com a escala é em si um

diagnóstico útil do relevo (Wood, 1996). O papel da escala para explicar o comportamento de um dado evento no terreno não pode ser negligenciado (Moore et al., 1993; Wood 1996; Wilson e Gallant 2000; Evans 2003), o que também se aplica aos dados vegetacionais. Uma cadeia de montanhas e uma Floresta densa, por exemplo, podem ser observados sob diferentes extensões espaciais indo de poucas dezenas de metros até dezenas de quilômetros, sendo possível extrair informações importantes a cada nível de observação.

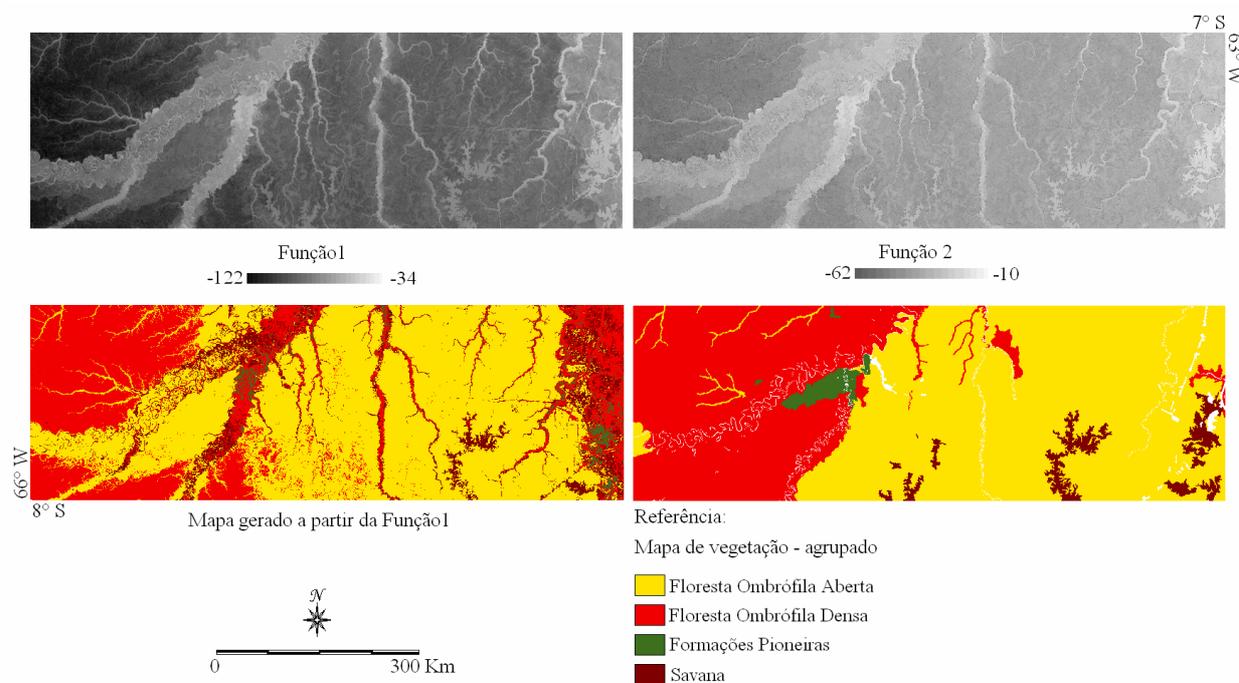


Figura 5. Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfométricas para a área do Interflúvio Madeira-Purus e Mapa de vegetação como referência: Classes agrupadas: Floresta Ombrófila Aberta ( Floresta Ombrófila Aberta aluvial ( A\_A), Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com palmeiras (A\_B)), Formações Pioneiras (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre – arbustiva (A\_F), Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva com palmeiras (A\_G), Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre – herbácea) (A\_H)), Floresta Ombrófila Densa (Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel emergente (A\_C), Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel emergente (A\_D), Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel uniforme (A\_E)), Savana (Savana Gramíneo-Lenhosa (A\_I) sem floresta-de-galeria, Savana Parque sem floresta-de-galeria (A\_J)).

#### 4. Conclusões

O presente estudo permitiu concluir que:

- A classificação feita com base na análise discriminante mostrou-se mais eficaz para associar classes de vegetação mapeadas aos padrões de distribuição de geomorfometria local do que feita por *Cluster*, MaxVer ou Fatiamentos simples.
- As classes de vegetação mapeadas no Interflúvio Madeira-Purus mostraram-se associadas à elevação somente, devido à sua relação com os domínios altimétricos da área, como patamares e várzeas, considerada desde o mapeamento RADAM.
- Os dados geomorfométricos locais derivados da altimetria SRTM mostraram variação detalhada incompatível com o grau de generalização dos mapas de vegetação fornecidos pelo RADAM (escala 1:250.000), dado que na região do Interflúvio

Madeira-Purus as variáveis geomorfométricas mostraram distribuições indistintas entre as classes de vegetação.

- As classes de vegetação da RPPNSA mostraram-se condicionadas pela elevação, indiretamente, e pela curvatura vertical, em virtude da correlação destas com os demais aspectos condicionantes do meio físico (substrato, microclima e hidrologia).
- Os dados geomorfométricos derivados mostraram escala de variação compatível com o detalhamento da distribuição de classes de vegetação observada no mapa de referência da RPPNSA (1:100.000).

## 5. Referências Bibliográficas

- Crósta, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas, SP IG/UNICAMP, 1992. 170 p.
- Dargie, T.C.D. An ordination analysis of vegetation patterns on topoclimate gradients in South-East Spain. **Journal of Biogeography**, v.14, n. 3, p.197-211,1987.
- Dargie, T.C.D. On the integrated interpretation of indirect site ordinations: A case study using semi-arid vegetation in Southeastern Spain. **Plant Ecology**, v.55, n.1, p.37- 55,1984.
- Evans, I.S. Scale specific landforms and aspects of the land surface. In I.S. Evans, R. Dikau, E. Tokunaga, H. Ohmori e M. Hirano (Eds.). **Concept sand modeling in geomorphology: International Perspectives**. Tokyo, Terrapub, 2003. p. 61–84.
- Florinsky, I.V.; Kuryakova, G.A. Influence of topography on some vegetation cover properties. **Catena**, v. 27, n.2, p. 123-141, 1996.
- Moore, I.D.; Lewis, A.; Gallant, J.C. Terrain attributes: estimation methods and scale effects. In: Jakeman, A.J.Beck, M.B.McAleer, M.J. (Eds.). **Modelling change in environmental systems**. Chichester (United Kingdom), John Wiley and Sons.1993. p. 189-214
- Kirkby, M.; Atkinson, K.; Lockwood, J. G. Aspect vegetation cover and erosion on semi-arid hillslopes. In: Thomes, J. (Ed.). **Vegetation and geomorphology**. John Wiley . 1990. p.25-39,
- TOPODATA. Banco de dados Geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/topodata>>. Acesso em: 1.Out. 2008.
- Manly B. F. J. **Multivariate statistical methods - a primer**. 2. ed. New Zealand: Ed.Chapman and Hall, 1994. 210 p.
- Velazquez-Rosas, N.; Meave, J.; Vázquez-Santana, S. Elevation variation of leaf traits in montane rain forest tree species at La Chinantla, Sourthen Mexico. **Biotropica**, v. 34, n. 4. p. 534-546, 2002.
- Wilson, J.P.; Gallant, J.C. **Terrain Analysis: Principles and Applications**. New Cork, J.Wiley. 2000. 479p.
- Wood, J., 1996. **The Geomorphological Characterization of Digital Elevation Models**, Ph.D. Dissertation. In (p. 193 <http://www soi.city.ac.uk/~jwo/phd/>). Leicester, UK.