

Bacia hidrográfica Piray Miní: geoprocessamento aplicado ao zoneamento territorial e sua implicação com a legislação

Bedrij, Natalia Alejandra^{1,3}; Nivaldo Eduardo Rizzi²; Santiago José Elías Velazco¹

¹Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Avenida Lothário Meissner, 3400, Jardim Botânico 80210-170, Curitiba, PR-Brasil; ²Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal – UFPR ³nabedrij@gmail.com

Bedrij, Natalia Alejandra; Nivaldo Eduardo Rizzi; Santiago José Elías Velazco (2017) Bacia hidrográfica Piray Miní: geoprocessamento aplicado ao zoneamento territorial e sua implicação com a legislação. Rev. Fac. Agron. Vol 116 (1): 117-127.

O trabalho foi conduzido para descrever zonas homogêneas dentro da bacia hidrográfica do rio Piray Miní, Misiones, na Argentina, segundo ocupação do solo, tipo de solos, hidrografia, declividade e altimetria. Para isto, se confeccionaram cinco mapas contendo as variáveis de análise aos quais se sobrepôs uma malha de hexágonos regulares de 60 ha cada, medindo-se cada variável em hectares. Utilizando os hexágonos como unidades de análise foi conformada uma matriz com 28 colunas (variáveis) e 2645 linhas (hexágonos), aplicando-se a técnica de aglomeração k-médias seguido da análise da estabilidade e validação dos agrupamentos mediante o procedimento de permutação multi resposta. Como resultado, uma particular divisão espacial da bacia hidrográfica do rio Piray Miní foi proposta. Foram identificadas oito zonas homogêneas com características específicas: Zona de Florestas de Preservação; Zona de Nascentes; Zona de Uso Intensivo; Zona de Uso Semi-Intensivo; Zona Fluvial; Zona de Transição; Zona de Planície e Zona Hidromórfica. As variáveis utilizadas forneceram parâmetros suficientes para a caracterização de áreas a partir da qual foi possível direcionar o planejamento e gestão da bacia hidrográfica, baseado na sustentabilidade e legislação existente.

Palavras-chave: Compartimentalização, Análise de agrupamento, Planejamento, SIG, Legislação.

Bedrij, Natalia Alejandra; Nivaldo Eduardo Rizzi; Santiago José Elías Velazco (2017) Basin Piray Miní: geoprocessing applied to territorial zoning and its implication with legislation. Rev. Fac. Agron. Vol 116 (1): 117-127.

This study was conducted to discern and describe homogeneous zones on Piray Miní river basin, Misiones, Argentina, according to variables: land use, soils, hydrography, slope and altimetry. For this, five maps were created containing the analysis variables and were superposed a grid of regular hexagons of 60 hectares each one, contained the covered of variables with the surface in hectares. Using each of the hexagons as units of analysis was adjusted a matrix with 28 columns (variables) and 2645 lines (hexagons), it was applied the K-means clustering technique, later, the performed of groups was analyzed by the technique of Multi-Response Permutation Procedure. As a result, a particular division of Piray Miní basin was proposed. Eight homogeneous zones were identified: Preservation Forest Zone; Headwaters Zone; Intensive Use Zone; Half Intensive Use Zone; River Zone; Transition Zone; Lowland Zone and Hydromorphic Zone. Thus, the variables used provided sufficient information for classification area from which it is possible to direct the planning and basin management based on sustainability and existing legislation.

Keywords: Partitioning, Cluster analysis, Planning, SIG, Legislation.

Recibido: 27/09/2016

Aceptado: 09/02/2017

Disponibile on line: 31/07/2017

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

INTRODUÇÃO

Mudanças e conflitos no uso da terra são resultado do aumento demográfico desordenado, em conjunto com a degradação dos recursos hídricos, desmatamento indiscriminado, aumento de áreas com terras inférteis, entre outros. Devido a que, na atualidade, a pressão da população sobre as características do meio ambiente é tão intensa, seus efeitos provocam a modificação do ecossistema e fazem que sua resposta varie em prejuízo da humanidade (Gaspari et al., 2013).

Essa realidade exige estudos que permitam nortear a possível ocupação territorial e manutenção das condições necessárias para o desenvolvimento de atividades sociais e econômicas aproveitando as aptidões e limitações dos recursos naturais, sem incorrer na sua degradação excessiva. Assim, com base nesses estudos, é possível gerar estratégias e diretrizes que equilibrem as diversas necessidades e interesses sobre a ocupação do espaço, sendo estas medidas inseridas dentro de um plano de ordenamento territorial.

Por ser um sistema natural aberto, a bacia hidrográfica é utilizada geralmente como uma unidade de estudo. Esta unidade abrange o complexo morfológico, econômico e social num mesmo território, admitindo um enfoque integral que permite projetar o desenvolvimento sustentável regional e determinar os impactos e externalidades que geram as atividades humanas no meio ambiente. De tal modo, configura-se como um dos principais sistemas de gestão e planejamento territorial (Gaspari et al., 2013; Leal, 2012; Gomes & Lobão, 2009).

O planejamento territorial necessita do zoneamento da paisagem, ou seja, arranjos espaciais das variáveis que a compõem, conformando-se unidades homogêneas em relação a seus componentes constituintes (relevo, vegetação, condições hidrológicas, entre outros). Estas unidades servem de marco prático e objetivo para a gestão sustentável de recursos e para o melhoramento da qualidade de vida (Comisión de Desarrollo

Sustentable y Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, 1991).

No contexto da província de Misiones (Argentina) a bacia hidrográfica do rio Piray Mini apresenta grande importância para a população do município de El Dorado já que abastece a uma população de 63.931 habitantes (IPEC, 2010), assim como de outros municípios das imediações com crescimento demográfico em expansão, que demandam recursos e água para o consumo.

Essa província conta com grande quantidade de recursos hídricos, mas a falta de ordenação de suas bacias traz prejuízos sociais caracterizados principalmente pela diminuição na disponibilidade de água para o consumo, refletindo em problemas de saúde da população.

Perante esse contexto, torna-se necessário o estudo integrado dos componentes ambientais visando o manejo sustentável da bacia hidrográfica, considerando as potencialidades e limitações de cada área.

O objetivo deste trabalho foi propor a compartimentalização da bacia hidrográfica do rio Piray Mini integrando as variáveis de altimetria, declividade, tipo de solos, usos do solo e hidrografia, por meio da aplicação de técnicas de análises multivariada e sua consistência com a legislação.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização

A bacia hidrográfica Piray Mini é uma das bacias hidrográficas com maior importância provincial pela sua abrangência geográfica. Encontra-se localizada entre as coordenadas geográficas 54°40'52" e 53°44'15" O e 26°9'54,50" e 26°26'34,35" S, formando parte dos afluentes da margem direita da bacia do rio Paraná. Sua cabeceira encontrasse no departamento de San Pedro, delimitada pela estrada provincial N° 14 e sua foz no departamento Eldorado. Possui uma área de 1.467 km² (146.700 ha) e um perímetro de 279 km (Figura 1).

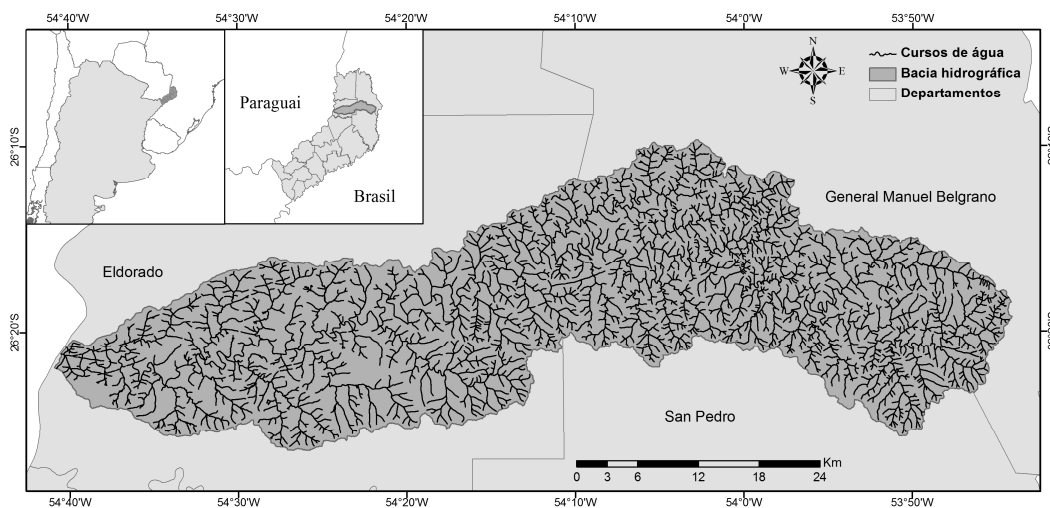


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Piray Mini, Misiones – Argentina.

O clima, segundo a classificação de Köppen-Geiger é, mesotérmico com verão e inverno bem definidos sem estação seca definida (Cfa) (INTA-SAGYP, 1990). A precipitação média anual é 1800 mm (Caldato & Pezzutti, 2010), sendo maior nos setores mais altos, que se localizam na porção nordeste da província. A temperatura média anual é de 20 °C (INTA-SAGYP, 1990).

Base de dados inicial

Os dados iniciais para este estudo se constituíram de imagens de satélite, mapas de complexos de solos, curvas de nível (com equidistância de 20 m), rede hidrográfica digitalizada e 38 cartas topográficas da região em escala 1:50.000. O material foi disponibilizado pela *Subsecretaria de Ordenamiento Territorial*, dependente do *Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables*, organizações governamentais da província de Misiones.

Os mapas foram editados no sistema de coordenadas POSGAR 1998, Zona 7, com projeção Transverse Mercator e Datum WGS 1984 e incorporados mediante o uso de software ArcGis 10[®] (ESRI, 2011). Foram conferidas as linhas das curvas de nível e rede hidrográfica, e imediatamente corrigidas a falta, superposição e conectividade de segmentos assim como os valores de altitude com base nas cartas topográficas.

Elaboração de mapas temáticos

Primeiramente, foi gerada uma representação matricial regular da variação contínua do relevo no espaço por meio de um modelo numérico de terreno. Para isto, foi realizada a interpolação entre os valores de altitude apresentados pelas curvas de nível. A seguir, foi conformado um modelo digital de elevação corrigido (MDE), para o qual foram eliminados os valores de depressões ou elevações espúrias, geradas no processo de interpolação, por meio do preenchimento dessas células com valores médios iguais ao das células vizinhas (Peluzio et al., 2010). Com este procedimento todas as células do modelo possuem valores de escoamento que permitem a “fluidez” até às células vizinhas com menores valores. Seguidamente, o limite da bacia hidrográfica foi determinado a partir das curvas de nível tendo em consideração os divisores topográficos que acompanham os pontos de maiores altitudes.

Com a superfície da bacia definida iniciou-se o processo de criação das variáveis de análises contidas em cinco variáveis base a ser: altimetria, declividade, densidade hidrográfica, tipos de solos, e uso atual do solo.

- Altimetria: com base no MDE a superfície total da bacia foi dividida em sete classes de altitudes e para cada classe foi obtida a sua superfície e determinada a distribuição espacial (Tabela 1, Figura 2).

- Declividade: foram definidas cinco classes de declividade e cada uma representada com uma simbologia específica (Tabela 1). As declividades foram obtidas em valores relativos com base ao MDE e seguidamente foram calculadas as superfícies abrangidas de cada classe e determinada a sua distribuição espacial (Figura 2).

- Densidade hidrográfica: a definição das sub-bacias foi realizada sob o critério de que as mesmas possuam confluência com o rio principal (Gomes & Lobão, 2009). Assim, com base no MDE, se obteve a direção de fluxo com maior declividade ou queda máxima desde cada célula até a célula da sua vizinhança, segundo o modelo de fluxo de oito direções (D8). O D8 representa as oito saídas válidas relacionadas às oito células da adjacência até onde o fluxo pode escoar, o que determina o destino final da água que escoar em superfície, desde células com elevações maiores até elevações menores (Jenson & Domingue, 1988). Desta forma determinou-se a acumulação de fluxo. Neste processo cada célula contém um valor representado pelo número de células a montante a partir da célula de análise, onde células com valores mais elevados na superfície representam os canais de drenagem. Em seguida, foram determinados pontos de saída nos córregos em confluência com o córrego principal e definida como uma bacia a área a montante de cada um deles. Foram delimitadas 59 sub-bacias para as quais foram calculadas as superfícies e quantidades de córregos (em unidades). Posteriormente, estas variáveis foram utilizadas para determinar a densidade hidrográfica (D_h) de cada sub-bacia. Com base na D_h as sub-bacias foram classificadas e agrupadas em cinco classes (Tabela 1) (Figura 2).

- Tipos de solo: os solos presentes foram analisados segundo as categorias estabelecidas pela *Compañía Argentina de Relevamientos Topográficos y Aerofotogramétricos* (CARTA, 1962) que propôs uma classificação para os diferentes complexos de solos da província. Os complexos presentes na área de estudo são o Complexo 3, Complexo 6 “A”, Complexo 6 “B”, Complexo 8 e Complexo 9 (Tabela 1) (Figura 2).

- Uso atual do solo: para a determinação das coberturas do solo foram utilizadas duas imagens do satélite LANDSAT 5 TM, com órbita 223 e 224, cena 78, dos meses de fevereiro e março de 2011. Como as imagens possuíam correções atmosféricas e radiométricas, mas como não estavam geometricamente corrigidas se procedeu a seu georreferenciamento. Para efetuar este processo foram utilizados 60 pontos de controle distribuídos nas duas imagens. Tais pontos provieram das cartas topográficas, fotografias aéreas e imagens de anos anteriores. A acurácia do georreferenciamento foi determinada pelo erro médio quadrático (Root Mean Square Error) inferior a um pixel. A seguir foi realizado a interpolação das imagens por meio do algoritmo do vizinho mais próximo (entre pixels) (Chuvieco, 2010).

Para a classificação das imagens, conforme os tipos de cobertura do solo, foi empregado o método de máxima verossimilhança (MAXVER). Para isto, foram delimitadas áreas de interesse por meio da construção de polígonos dentro da imagem, esses polígonos são conhecidos como campos de treinamento e representam as distintas categorias da superfície de estudo (Chuvieco, 2010). Foram selecionados campos de treinamento pequenos, para analisar de maneira objetiva o conteúdo de informação e evitar as distorções geradas na matriz de dados. Também foram realizadas combinações de bandas, com motivo de expressar melhor as categorias temáticas e facilitar a

Tabela 1. Descrição das variáveis utilizadas para o zoneamento da bacia hidrográfica do rio Piray Mini. Classes (Cl), simbologias (Sim) e amplitude.

| Variáveis | Cl | Sim | Amplitude | Descrição |
|-----------------------------|----|-------|--------------------|--|
| Altitudes (m) | 1 | CA1 | 100 - 200 | |
| | 2 | CA2 | 200 - 300 | |
| | 3 | CA3 | 300 - 400 | |
| | 4 | CA4 | 400 - 500 | |
| | 5 | CA5 | 500 - 600 | |
| | 6 | CA6 | 600 - 700 | |
| | 7 | CA7 | 700 - 780 | |
| Declividade (%) | 1 | Decl1 | < 2 | Relevo plano |
| | 2 | Decl2 | 2 - 5 | Relevo suave ondulado |
| | 3 | Decl3 | 5 - 9 | Relevo moderado ondulado |
| | 4 | Decl4 | 9 - 20 | Relevo ondulado |
| | 5 | Decl5 | > 20 | Relevo forte ondulado |
| Tipos de solo | 1 | S1 | Complexo 3 | Derivados de depósitos aluviais, geralmente hidromórficos. Medianamente profundos, ácidos e de baixa fertilidade |
| | 2 | S2 | Complexo 6 "A" | Relevo plano ou pouco declivoso. Reduzido perigo de erosão, perfil mais profundo |
| | 3 | S3 | Complexo 6 "B" | Relevo declivoso, perfil superficial |
| | 4 | S4 | Complexo 8 | Evoluídos, lixiviados, profundos, acedos e férteis |
| | 5 | S5 | Complexo 9 | Evoluídos, lixiviados, permeáveis, acedos e férteis |
| Densidade Hidrográfica (Dh) | 1 | D1 | < 1 | Muito baixas |
| | 2 | D2 | 1,1 - 2 | Baixas |
| | 3 | D3 | 2,1 - 3 | Médias |
| | 4 | D4 | 3,1 - 4 | Altas |
| | 5 | D5 | > 4 | Muito altas |
| Uso atual do solo | 1 | F | Floresta | Áreas com vegetação arbórea, sem discriminar os estágios sussecionais que poderiam estar presentes |
| | 2 | Va | Vegetação alterada | Vegetação de tipo capoeirinha, resposta espectral diferente da floresta nativa |
| | 3 | R | Reflorestamento | Áreas destinadas a cultivos de distintas espécies exóticas do gênero Pinus |
| | 4 | C | Culturas | Culturas anuais ou perenes em distintos estágios, podendo apresentar áreas com solo exposto devido a preparação do terreno |
| | 5 | A | Água | Corpos de água (embalses, lagos e rios), sua classificação foi considerada pela existência destes elementos na parte inferior da bacia |
| | 6 | U | Urbano | Presença de edificações ou construções |

interpretação visual. As tipologias utilizadas na classificação se encontram na tabela 1.

Em relação ao processo de classificação da cobertura com florestas, foi necessária a diferenciação entre florestas em terrenos mais planos daquelas em terrenos mais íngremes, isto devido a que sem tais distinções se observou menor acurácia na classificação. Logo, estas coberturas foram unidas por representarem a mesma tipologia. O software empregado para a classificação foi ENVI (ENvironment for Visualizing Images).

Grid hexagonal

Sob as variáveis de análise foi sobreposta uma grade

hexagonal. Esta é reconhecida como a de maior eficiência e acurácia, devido a que sua forma possui maior aproximação às formas mais compactas e eficientes na natureza (círculos). No entanto é de uso pouco estendido por perder a simplicidade em relação às estruturas de células quadradas (Apte et al., 2012; Ferrero, 2004). A utilização de grades quadradas apresentam problemas, sendo um deles a estrutura dos vértices que aumenta a probabilidade de erro com base nas características dos pontos centróides (Mateucci & Silva, 2005; Birch et al., 2007). Assim, estudos mais recentes vêm utilizando a grade hexagonal como ferramenta de pesquisa, desde análises de áreas com risco de exposição química até análises de

fragmentação e métricas da paisagem, com tamanhos dos hexágonos variáveis (Altonen, 2011; Bertolo et al., 2009; Schindler et al., 2008; Mateucci & Silva, 2005). A área das células foi determinada considerando os elementos nele presentes, dando como resultado polígonos com extensões previamente definidas de 60 hectares cada um (Figura 3). Essa superfície de análise foi utilizada anteriormente com resultados satisfatórios (Falvo, 1996). O total de polígonos que abrangeram a bacia foi de 2645, vários dos quais tiveram superfícies

inferiores a 60 ha por estarem dispostos nas bordas da superfície de estudo. Salienta-se que, não foi analisada a variação na configuração do zoneamento conforme a variação da superfície dos hexágonos. Seguidamente, foram calculadas as superfícies de cada variável contida em cada hexágono. Desta forma ficou conformada uma matriz com 28 colunas (variáveis) e 2645 linhas (hexágonos), onde cada valor representava a superfície que possuíam cada uma das variáveis em cada um dos hexágonos.

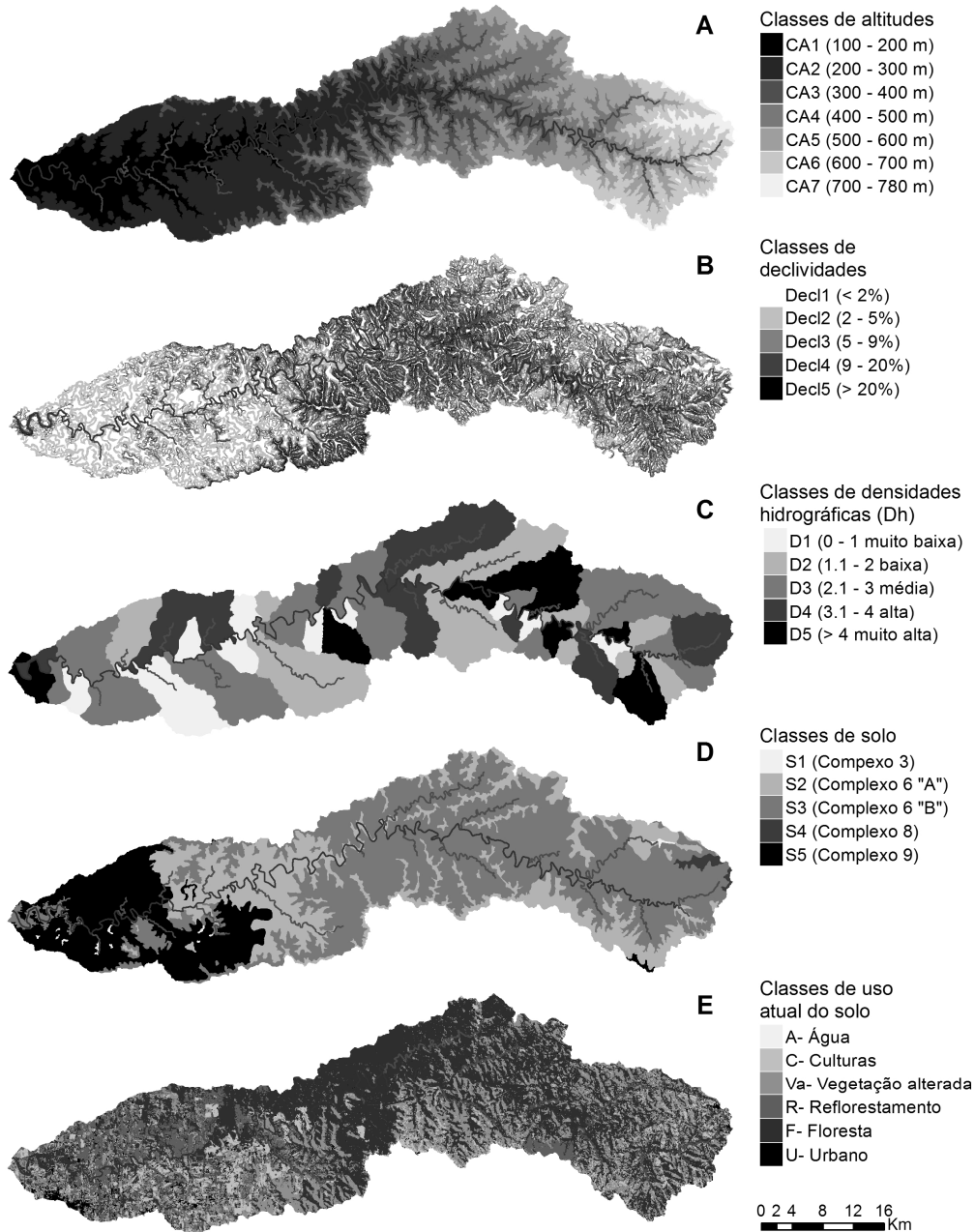


Figura 2. Disposição espacial das classes definidas nas variáveis utilizadas para o zoneamento da bacia hidrografia do rio Piray Mini, província de Misiones. A: Classes de altitudes; B: Classes de declividades; C: Classes de solos; D: Classes de densidade hidrográfica; E: Classes de uso atual do solo.

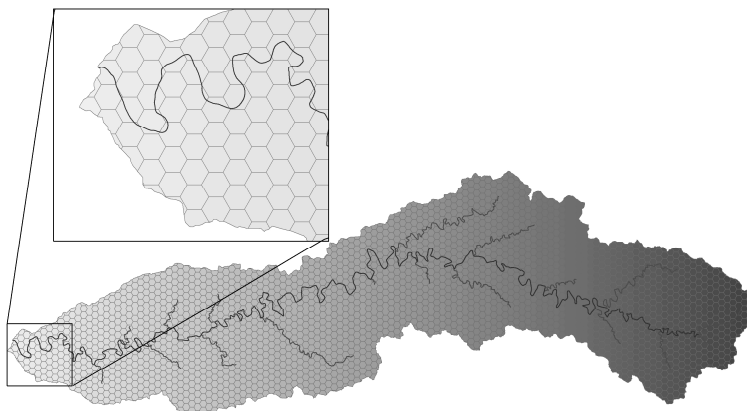


Figura 3. Detalhe da configuração espacial da grade hexagonal aplicada sobre a bacia hidrográfica do rio Piray Mini.

Análise de agrupamento

A técnica de análise de agrupamento foi aplicada com motivo de agrupar hexágonos similares e delimitar zonas homogêneas. Primeiramente, as variáveis foram padronizadas a fim de homogeneizar a estrutura da matriz. Em seguida, por meio da técnica k-médias foram realizados agrupamentos com cinco, seis, sete, oito, nove e dez grupos. O melhor esquema de agrupamento foi avaliado por meio do procedimento de permutação multi resposta (Multi-response Permutation Procedures-MRPP), calculado no PCOrd 6.0. O MRPP é um procedimento não paramétrico para testar a hipótese de que não há diferença entre grupos (McCune & Grace, 2002). Este procedimento forneceu: (1) a média das distâncias observadas dentro dos grupos, ponderada pelo tamanho do agrupamento simbolizada por médio da letra delta (δ); (2) a estatística de prova T, conhecida como a medida do efeito do tamanho do agrupamento, que descreve a separação entre os grupos assim, quanto mais negativo seja seu valor maior será a separação entre os grupos e (3) a medida de semelhança dentro do grupo, representado pelo parâmetro A.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise do zoneamento da bacia

O procedimento MRPP revelou que a compartimentalização dos dados em oito agrupamentos apresentou a menor distância média observada (delta observado) dentro dos grupos, o que indica uma maior similaridade entre os elementos que compõem cada grupo. Por outra parte, para o valor de T o maior valor foi apresentado pela compartimentalização em sete agrupamentos. Por último, o maior valor de A (concordância da probabilidade corrigida dentro do grupo) foi maior no agrupamento oito ($A=0,20$), indicando que o desacordo dentro do grupo é mínimo e que os oito grupos foram mais diferentes uns de outros do que caberia ser esperado pelo acaso (Tabela 2). Com base ao desempenho para os parâmetros de distância média e concordância dentro dos grupos,

efetuou-se a compartimentalização da bacia em oito grupos (Figura 4).

Tabela 2. Resultados estatísticos do MRPP para os seis tipos de agrupamento k-médias da bacia hidrográfica do rio Piray Mini, Misiones – Argentina. NG: Número de Grupos; T: Separação dos grupos; δ obs.: Delta observado; Var. δ : Variância de delta; A: Concordância dentro do grupo.

| NG.* | δ obs. | Var. δ | T | A |
|------|---------------|---------------------------|-----------|--------|
| 5 | 6.1925 | $0.15 \times 10^{-5}E-05$ | -791.7506 | 0.1364 |
| 6 | 5.9345 | 0.1903E-05 | -896.3786 | 0.1724 |
| 7 | 5.7727 | 0.2282E-05 | -925.6246 | 0.1949 |
| 8 | 5.7062 | 0.2664E-05 | -897.4090 | 0.2042 |
| 9 | 5.8418 | 0.3349E-05 | -726.2883 | 0.1853 |
| 10 | 5.7891 | 0.3737E-05 | -714.8355 | 0.1927 |

O cruzamento das informações analisadas produziu uma compartimentalização espacial da bacia, agrupando polígonos com características similares. Desta forma, as distintas classes de altimetria ajudaram a identificar os agrupamentos devido a espacialização das zonas dentro da superfície da bacia, zonas localizadas em altitudes inferiores (zona 5 - Zona de Uso Intensivo, zona 6 -Zona Fluvial e zona 7 - Zona de Uso Semi Intensivo), altitudes superiores (zona 4 - Zona de Nascentes) e aquelas cuja espacialização abrange distintos gradientes altitudinais (zona 1 - Zona de Planície, zona 2 - Zona de Florestas de Preservação, zona 3 - Zona Hidromórfica e zona 8 - Zona de Transição).

Em adição a isso, os distintos tipos de solos presentes lograram uma diferenciação entre os agrupamentos mais aptos para o estabelecimento de atividades econômicas (solos mais profundos com melhores características -S5- e os mais rasos -S3- ou hidromórficos -S1- que requerem maior proteção por serem mais susceptíveis).

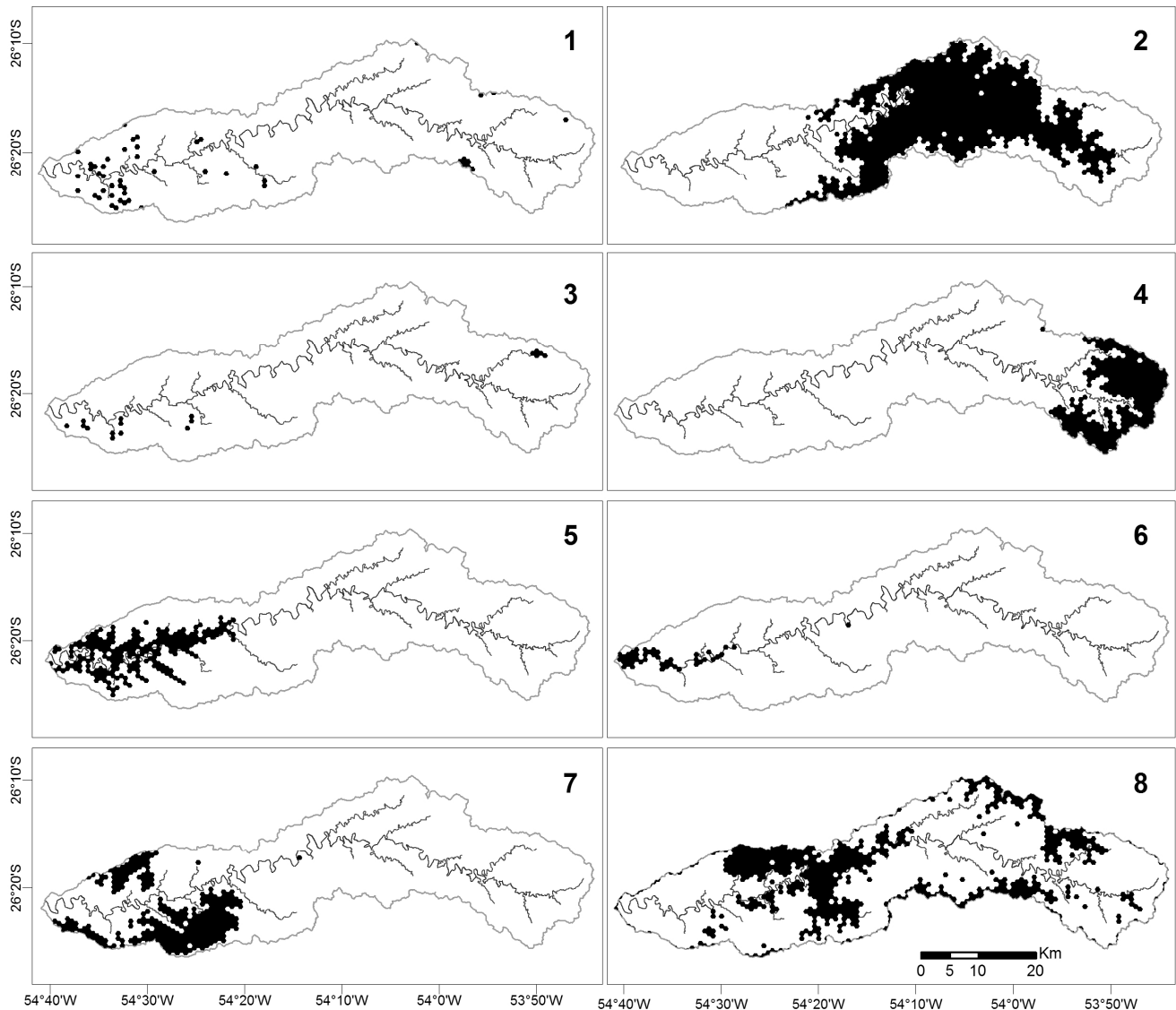


Figura 4. Discriminação espacial das oito zonas na bacia hidrográfica do rio Piray Mini. Zona 1: Zona de Planície (A); Zona 2: Zona de Florestas de Preservação (B); Zona 3: Zona Hidromórfica (C); Zona 4: Zona de Nascentes (D); Zona 5: Zona de Uso Intensivo (E); Zona 6: Zona Fluvial (F); Zona 7: Zona de Uso Semi Intensivo (G); Zona 8: Zona de Transição (H).

Por outro lado, as distintas classes de declividades se diferenciaram em áreas mais íngremes (zonas 2 - Zonas de Florestas de Preservação, 4 - Zonas de Nascentes e 8 - Zonas de Transição), já em áreas mais planas as diferenças foram menos acentuadas, essas declividades permitiram determinar zonas de proteção ambiental.

Por último, as distintas coberturas dos solos determinaram o contexto e a paisagem atual que se apresenta na superfície da bacia e assim permitir um direcionamento e ampliação das coberturas conforme as características nela presentes.

Complementando a diferenciação das áreas, as maiores densidades de drenagem se apresentaram nas zonas 2 (Zonas de Florestas de Preservação), 4 (Zonas de Nascentes) e 8 (Zonas de Transição), que se correspondem com as com maior presença de

florestas.

Em conjunto, estas variáveis demonstraram ter boa capacidade de separação entre as zonas para a bacia em estudo.

Descrição das zonas

Zona 1 (Zona de Planície): com 2.803 ha de superfície, este grupo se mostrou disperso e em maior proporção na parte baixa da bacia caracterizando-se por altitudes baixas CA1 (54 %) e CA2 (27 %). As menores declividades abarcaram mais de 50 % da superfície. Os tipos de solos que caracterizaram este compartimento foram solos S5 (68 %) e S2 (28 %). As densidades hidrográficas nestas áreas foram D3 (57 %) e D2 (28 %). As coberturas do solo foram Vegetação alterada (27 %), Floresta (26 %) e Reflorestamento (26 %) e, em

menor abrangência, as classes Cultura (11 %) e Urbano (10 %).

Zona 2 (Zona Florestas de Preservação): abrangeu a maior superfície dentro da bacia com 60.061 ha, equivalente a 41 % da superfície total, cobrindo a parte central e superior da mesma, maiormente em altitudes médias, CA4 (42 %) e CA3 (31 %). Os tipos de solo predominantes foram S3 (90 %). A densidade hidrográfica não se mostrou como um fator discriminante para este compartimento, porque foram encontradas todas as classes de densidades hidrográficas sendo a muito baixa (D1) de menor expressão. Os tipos de cobertura Florestas e Vegetação alterada foram as mais importantes, cobrindo mais de 66 % e 29 % da superfície respectivamente, em contraposição de aquelas coberturas antrópicas como Cultura e Urbana. As amplitudes de declividades mais íngremes (Decl4, Decl3 e Decl5) foram as mais representativas, abrangeram 82%.

Desse modo, este compartimento se caracterizou pelas coberturas florestais, as quais possuíram sua maior expressão em relação as demais zonas, com escassas áreas de atividades produtivas, situadas nas áreas da bacia com menores declividades. Tais características outorgam a este agrupamento grau mais alto de preservação. Também, foram características as maiores densidades hidrográficas. Em vista disso a área desenvolve a função de proteção integral dos ecossistemas presentes. Estes bosques permitem o resguardo e manutenção da quantidade e qualidade dos cursos hídricos, aumentando o armazenamento da água que contribui a manter a vazão em períodos de estiagem.

Zona 3 (Zona Hidromórfica): com menor superfície (1.020 ha) e distribuída de forma esparsa no setor inferior da bacia e no setor superior num único agrupamento. O arranjo espacial deste compartimento foi caracterizado maiormente por altitudes inferiores (CA1 e CA2) e em menor medida em CA5. Os solos que predominaram foram S5 (48 %) e S1 (30 %), conjuntamente, com a densidade hidrográfica média (D3). Por outra parte, as coberturas foram Vegetação alterada, Florestas, Culturas, Urbano e Reflorestamento. Por último, as classes de declividades de maior expressão foram Dec1(40 %) e Dec3(28 %). As características desta zona foram semelhantes a zona 1, diferenciando-se por apresentarem solos hidromórficos (S1), inexistente nas demais zonas.

Zona 4 (Zona de Nascentes): com 16.847 ha de superfície, o compartimento se encontrou em sua maioria representado por altitudes máximas (CA6, CA7 e CA5), diferenciando-se facilmente das demais zonas. Outro fator de diferenciação foi o tipo de solo S4 que teve expressão unicamente neste conglomerado, além das classes S3 (59 %) e S2 (35 %), sendo insignificantes as demais. Por outro lado, as densidades hidrográficas D3 e D4 foram as de maior proporção. A maior extensão de cobertura teve a Vegetação alterada seguida da classe Floresta, cabe salientar a expressão das classes Culturas (14 %) e Urbano (7 %). Por outra parte, as classes de declividade com maior abrangência foram Dec4, Dec5 e Dec1.

Zona 5 (Zona de Uso Intensivo): se limitou à parte inferior da bacia com 12.611 ha, estando presente em altitudes baixas (CA1). Outra particularidade que a distinguiu foi o tipo de solo, S5, com 70 % de abrangência. As classes de densidade hidrográfica mais frequentes foram D3, D1 e D4 e as classes com maior cobertura foram Reflorestamento, Floresta, Vegetação alterada. As declividades predominantes foram Decl1 (46 %) e Decl3 (31 %). Este agrupamento se distinguiu dos demais por possuir solos com maior aptidão para a implementação de atividades agrícolas e silvícolas que cobrem a maior superfície da zona, que se condiz com a maior expressão da classe Reflorestamento neste agrupamento.

Zona 6 (Zona Fluvial): localizou-se em altitudes baixas (CA1) em maior proporção e abrangeu 2.634 ha. As classes de solos que predominaram esta área foram S5 e S3. Foram diferenciadas as classes de densidades hidrográficas mais elevadas, D4 e D5 e as classes de coberturas com maior representatividade foram as Florestas, Vegetação alterada, Reflorestamento e Água, tendo esta última sua maior expressão neste agrupamento. As declividades foram planas em aproximadamente a metade da superfície pela presença de espelhos de água, entanto que as maiores declividades foram restringidas nas margens do rio principal. Desta forma, este grupo se distinguiu pela grande presença da foz do rio principal e as matas ciliares, pertencentes a classe Floresta, localizadas em ambas margens com a função de proteção dos cursos de água. Destaca-se a abrangência da classe Vegetação alterada em áreas nas quais a cobertura da mata ciliar é escassa.

Zona 7 (Zona de Uso Semi Intensivo): abrangeu 16.524 ha, constituiu-se principalmente por áreas com alterações antrópicas e localizou-se em altitudes inferiores (CA2 e CA1). Foi predominante a classe de solo S5. Por outra parte, as maiores classes de densidades hidrográficas foram a D3 e D1. A ocupação do solo se caracterizou pela presença das classes Vegetação alterada, Florestas, Reflorestamento e Urbano. Uma característica que distinguiu esta zona foram as baixas declividades, representadas maiormente por Dec1. Em adição, evidenciou-se a expressão das classes Urbana, Reflorestamento e Culturas.

Zona 8 (Zona de Transição): Foi a segunda maior zona, com 34.260 ha de superfície, localizada na parte central, superior e inferior da bacia. Todas as classes de altitude fizeram-se presentes neste agrupamento, com maior representatividade de CA2 e CA5. Outra característica foram as classes de solos com escassa profundidade S2 e S3. Em relação aos tipos de uso dos solos, as de maior representação foram as classes Florestas e Vegetação alterada, seguida de Reflorestamento e Culturas. Por outro lado, nesta zona se encontram todas as classes de declividades, assim como todas as classes de densidades hidrográficas, com as classes D3, D4 e D2 como as de maior expressão. Devido as particularidades deste compartimento, esta superfície tem como objetivo manter a conectividade entre áreas de conservação e amortecer o impacto das atividades efetuadas nas zonas de uso intensivas da zona de Florestas e preservação. A superfície mostra uma fase de transição

entre a cobertura florestal e o avanço da agricultura e o reflorestamento devido a que foram encontrados elevados valores da classe Vegetação alterada.

Propostas de ações nas distintas zonas

A bacia do rio Piray Miní, apresenta erosão hídrica decorrente dos processos resultantes tanto do sistema de corte raso e queima, assim como da agricultura migratória (Duarte, 2007). Com base nas zonas delimitadas podem ser propostas ações gerais para cada um dos agrupamentos com objetivo de direcionar atividades efetuadas no espaço geográfico da bacia.

A ocupação desta superfície ocorreu de forma espontânea e irregular, sendo mais desenvolvida em áreas que ofereceram melhores acessibilidades de recursos (Belastegui, 2006), nas quais se realizam loteamentos clandestinos em áreas particulares e governamentais (Duarte, 2007). Os produtores, em sua maioria originaram de localidades ao sudeste da província, áreas que devieram abandonar devido ao encarecimento do valor das terras para produção de culturas mais rentáveis (Duarte, 2007). No ano 2007, a superfície da bacia abrangida pela classe Urbana era inferior a 1,0 % (Duarte, 2007) que, em comparação com os dados obtidos, evidencia um aumento superior a 2000 ha da expansão da fronteira urbana nestes últimos anos. A classe Urbana abrange a superfície inferior da bacia, ao longo da estrada provincial N°17, também se perceberam pequenos povoados no centro e nordeste, representando as localidades de Pozo Azul e Dos Hermanas. Assim, torna-se necessário um ordenamento e direcionamento para futuros assentamentos dentro da bacia.

A norma N° 014, do município de Eldorado (2014), estabelece superfícies mínimas de loteamento, em propriedades localizadas em zona rurais, as áreas de loteamento para a expansão urbana poderia abranger a zona 7 e dar continuidade aos assentamentos atuais. Um ponto importante na norma é a inclusão obrigatória no parcelamento de 10 % da superfície destinada a zonas de espaço verde. Com isto, se evitaria um padrão disperso de ocupação e a excessiva fragmentação dos terrenos, em adição, se estabeleceriam a diminuição da densidade populacional e um limite inferior sobre a superfície a resguardar de usos alternativos.

As zonas 1, 5 e 7, apresentam baixa restrição natural, as declividades baixas e as profundidades e qualidades dos solos favorecem, a ampla utilidade do solo destas regiões, assim como a utilização de maquinaria agrícola mecanizada. Estas zonas se apresentam aptas para a implantação de culturas de importância econômica na região como erva-mate e chá, atividades silviculturais, reflorestamento e pecuária. Nesse contexto, com motivo de estimular a atração dos investidores o Estado promoveu a Lei de inversões aos bosques cultivados (Lei N° 26.432, prorroga e reforma da Lei N° 25.080), que brinda a solvência econômica dos elevados custos de inversão inicial na plantação de igual maneira como promove o manejo eficiente de plantios. Igualmente, na zona 5, existem áreas com declividades maiores que atuam como principal limitante para o desenvolvimento dessas atividades, limitando a mecanização e requerendo práticas de conservação de solos para prevenir sua degradação.

Embora exista um marco legal que visa reduzir a degradação da água e proteger as florestas permanentes nas margens de rios (Lei N° 26.331; Lei N° 3.426; Lei N° 1.838), observou-se superfícies com reduzida massa florestal e presença Urbana nas zonas 4, 5, 6 e 7. A dinâmica ecologia nestes ambientes é frágil, portanto devem ser consideradas ações de recuperação de matas ciliares, proteção da rede hidrográfica e dos ambientes associados.

Em adição, a zona 4 se destaca como área de captação de águas destinada a proteção de bacias hidrográficas, sendo uma área sensível a exploração antrópica, tornando necessária a determinação física dos limites das áreas de proteção de recarga, de nascentes e de cursos de água. Igualmente, é justificada a adoção de medidas de controle, assim como, a implementação de um programa de monitoramento que favoreça uma fiscalização adequada, de modo que garantam a utilização racional dos recursos naturais que sustentam as atividades humanas, assim como manutenção e proteção das nascentes e cursos de água de poluição e erosão das margens dos córregos conforme a Lei provincial N° 3.631.

A zona 3 apresenta declividades elevadas e solos hidromórficos, esta superfície se manifesta como um ambiente delicado no qual o uso e ocupação antrópica é restringindo, recomendando-se atividades de recuperação e preservação por meio do replantio de espécies nativas.

A floresta se distribui em sua maioria no setor médio e alto da bacia, sendo quase inexistente na parte inferior. A maior cobertura florestal dessas áreas é devido a presença de topografia de maior declividade que imperam na maior parte da zona 2, fato que restringe a exploração dessas terras e exige nível de proteção que deve ter segundo a Lei N° 3.426 que determina a proteção das florestas em superfícies com declividade \geq 20 %. Por outra parte, esta zona em conjunto com a zona 4 e parte da zona 8 (as quais apresentaram maiores altitudes) compõem a área integral de conservação e desenvolvimento sustentável do Corredor Verde da província de Misiones (Lei N° 3.631) e pelo artículo 9 da Lei de Orçamentos Mínimos de Proteção Ambiental das Florestas Nativas (Lei N° 26.331), as florestas presentes nesta área são classificadas como florestas de categoria amarela. Categoria que define áreas com valor de conservação médio e que com implementação de atividades, de restauração, por exemplo, poderiam atingir os maiores valores de conservação.

Por se tratar de uma área com valor de conservação médio a legislação determina que as atividades sejam limitadas a aproveitamento sustentável, turismo e pesquisa científica. Por outra parte, as condições presentes nestas superfícies permitem a possibilidade da instauração de programas de pagamentos por serviços ambientais (Lei N° 4.520; Lei N° 26.331), assim como, estabelece incentivos para a conservação e uso sustentável dos componentes da diversidade biológica (Lei N° 24.375), ações que resultam numa alternativa econômica para os colonos da região.

Por apresentar elevado risco erosão, a classe de solo S3 (solos rasos) deve estar com cobertura florestal protetora (Lei N° 3.426), as medidas de recuperação

destas áreas poder ser saldadas economicamente por meio dos recursos econômicos que o Estado outorga a produtores pela execução de planos para conservação de solos (Lei Nº 22.428). Estes solos abrangem principalmente as zonas 2, 4 e 8, áreas com importante estabilidade ecológica, nas quais podem ser desenvolvidos projetos e atividades definidas no parágrafo anterior.

Na bacia, principalmente nas zonas 1, 3, 5 e 7, foram encontradas possíveis áreas críticas, com imediato risco ambiental, resultantes da ausência de coberturas vegetais ao longo da rede de drenagem, dados que concordam com a pesquisa de Mantulak et al., (2014). Do mesmo modo, os pesquisadores observaram a utilização de agrotóxicos nas lavouras adjacentes aos mananciais. Consequentemente, essas ausências de formações vegetais impossibilitam a contenção de descargas de sedimentos e resíduos químicos provenientes de áreas agrícolas, comprometendo a qualidade ambiental, realidade que torna necessária sua iminente recuperação.

Desta forma, é possível direcionar o avanço da agricultura assim como introduzir alternativas econômicas possibilitando outros tipos de atividades como apicultura, turismo ecológico, introdução de plantas medicinais e a implementação de projetos de redução de emissões por degradação e desmatamento evitado (conservação, manejo sustentável e aumento do estoque de carbono), que constituem ferramentas para o desenvolvimento das comunidades locais, além de fornecer serviços de proteção da água e da paisagem.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foi possível elaborar uma proposta de compartimentalização identificando oito zonas segundo suas particularidades mediante as variáveis analisadas a implementação da análise multivariada. Consequentemente, conseguiu-se produzir mapas como ferramentas de visualização identificando áreas homogêneas, nas quais se estabeleceram propostas segundo áreas mais propícias para atividades de produção de reflorestamentos e culturas. Do mesmo modo, determinaram-se áreas com maiores susceptibilidades a futuras mudanças ambientais e sua implicância com a legislação. Em forma geral, ofereceu-se informação onde os pesquisadores podem abordar com maior detalhe riscos atuais e reduzir riscos futuros. Contudo, neste zoneamento existem limitações referidas as métricas da configuração hexagonal, a sua resolução e quantidade de variáveis, deste modo, recomenda-se a análise com distintos tamanhos de hexágonos e a inclusão de variáveis econômicas, sócias e ecológicas como forma de realizar uma compartimentalização mais especializada, e assim possibilitar a formulação de ações de maneira mais integral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Apte, M., Y.Y. Agarwadkar, S. Azmi & A.B. Inamdar. 2012. Understanding Grids and Effectiveness of

Hexagonal Grid in Spatial Domain. IJCA Proceedings on International Conference on Recent Trends in Information Technology and Computer Science. ICRTITCS. pp.1: 25-27.

Argentina. Lei n. 26.331 de 2007. Presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos. Información Legislativa y Documental – InfoLeg. Disponível em: <<http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/13500-0-139999/136125/norma.htm>>. Acesso em: 9/10/2014.

Argentina. Lei n. 26.432 de 2008. Inversiones para bosques cultivados. Información Legislativa y Documental – InfoLeg. Disponível em: <<http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/14500-0-149999/148753/norma.htm>>. Acesso em: 9/10/2014.

Argentina. Lei n. 24.375 de 1994. Convenio diversidad biológica. Información Legislativa y Documental – InfoLeg. Disponível em: <<http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/verNorma.do?id=29276>>. Acesso em: 9/10/2014.

Argentina. Lei n. 22.428 de 1981. Fomento a la conservación de los suelos. Información Legislativa y Documental – InfoLeg. Disponível em: <<http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/verNorma.do?id=40021>>. Acesso em: 9/10/2014.

Belastegui, H.M. 2006. Los colonos de Misiones. Ed. Universitaria de Misiones. Posadas. 180 pp.

Bertolo, L.S., G.T.N.P. Lima & R.F. Dos Santos. 2009. Proposta metodológica para medidas de direção e intensidade de mudanças na paisagem. Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, pp. 383-391.

Birch, C.P.D., S.P. Oom & J.A. Beecham. 2007. Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology. Ecological modelling, 206: 347–359.

Caldato, S.L. & R.V. Pezzutti. 2010. Estructura poblacional de *Myrocarpus frondosus* alemão en un bosque en galería de la selva paranaense en Misiones, Argentina. Ciencia Florestal. Santa Maria, 20(3): 411-418.

Chuvieco, E. 2010. Teledetección Ambiental. 3 ed. Ed. Ariel. Barcelona. 528 pp.

Comisión De Desarrollo Sustentable Y Medio Ambiente De América Latina Y El Caribe. 1991. Nuestra propia agenda sobre el desarrollo y medio ambiente. BID/PNUD. Fondo de Cultura Económica, México, D.F. Disponível em: <<http://www.iadb.org/es/banco-interamericano-desarrollo,2837>>. Acesso em: 9 de outubro 2014.

Compañía Argentina De Relevamientos Topográficos Y Aerofotogramétricos (CARTA). 1962. Buenos Aires. Argentina. Vários mapas.

Duarte, J.A.M. 2007. Ordenación de la cuenca del arroyo Piray Mini para la mejora de la calidad del agua de la ciudad de Eldorado, Misiones, Argentina. Informe final de Proyecto de Investigación. Cód ISIF I51. Universidad Nacional de Misiones. 26 pp.

Eldorado. Ordenança Nº 014 de 2014. Establece fraccionamiento de tierras zona rural reserva espacio verde. Municipio de Eldorado. Disponível em: <http://www.hcdeldorado.gob.ar/paginas/ordenanzas/ordenanzas14/Ord2014/O-014.14_Establece%20Fraccionamiento%20de%20Tie

as%20Zona%20Rural_Reserva%20Espacio%20Verde.htm>. Acceso em: 9 de outubro 2014.

Falvo, G. 1996. Zoneamento da bacia hidrográfica do rio Miringuava utilizando-se de técnicas de análise multivariada. M. Sc. Tesis. Universidade Federal do Paraná. 138 pp.

Ferrero, V.O. 2004. Hidrología Computacional y Modelos Digitales del Terreno. Teoría, práctica y filosofía de una nueva forma de análisis hidrológico. 365 pp.

Gaspari, F.J., V. Rodríguez, M. Alfonso, G.E. Senisterra, M.I. Delgado & S. Besteiro. 2013. Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. 1 ed. Ed. Universidad Nacional de La Plata. La Plata. 188 pp.

Gomes, T. S. & J.S.B. Lobão. 2009. Delimitação de sub-bacias a partir do uso de imagem SRTM/NASA: um estudo da Bacia do Rio Jacuípe-BA. En: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. pp. 3841-3848. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.02.13/doc/3841-3848.pdf>>. Acceso em: 9 de setembro 2013.

Instituto Nacional De Tecnología Agropecuaria – Secretaria De Agricultura Ganadería Y Pesca (INTA-SAGyP). 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. UNPD. Arg-85/019, Buenos Aires, v. 2. 39 maps. 1600 pp.

Instituto Provincial De Estadística Y Censo (IPEC). 2010. Provincia de Misiones. Población por sexo, según área de gobierno local. Año 2010. Disponível em: <<http://www.ipecmisiones.com/>>. Acceso em: 15 de novembro 2013.

Jenson, S.K. & J.O. Domingue. 1988. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54 (11): 1593–1600.

Leal, A.C. 2012. Planejamento ambiental de bacias hidrográficas como instrumento para o gerenciamento de recursos hídricos. Entre-Lugar, 3(6): 65-84.

Mantulak, M.J., J.A. Martínez Duarte, O.E. Arendhardt, J.C. Bernio, R.J. Wanderer & O.M. Martínez. 2014. Valoración económica del servicio ambiental hidrológico del bosque nativo en la cuenca del arroyo Schwarzenberg, Eldorado, Misiones. Visión de Futuro, 18(2): 82-96.

Mateucci, S. D. & M. Silva. 2005. Selección de métricas de configuración espacial para la regionalización de un territorio antropizado. GeoFocus, (5): 180-202.

McCune, B. & J. Grace. 2002. Analysis of Ecological Communities. U.S.A.: MjM Software Design. 300 pp.

Misiones. Lei n. 1.838 de 1983. Ley de aguas. Información Legislativa y Documental – InfoLeg. Disponível em: <<http://www.infoleg.gov.ar/>>. Acceso em: 9/10/2014.

Misiones. Lei n. 3.426 de 1997. Bosques protectores y fajas ecológicas. Misiones, Argentina. Información Legislativa y Documental – InfoLeg. Disponível em: <<http://www.infoleg.gov.ar/>>. Acceso em: 9/10/2014.

Misiones. Lei n. 3.631 de 1999. Área integral de conservación y desarrollo sustentable. Corredor verde de la provincia de Misiones. Información Legislativa y Documental – InfoLeg. Disponível em: <<http://www.infoleg.gov.ar/>>. Acceso em: 9/10/2014.

Misiones. Lei n. 4.520 de 2009. Pagos por Servicios Ambientales. Información Legislativa y Documental – InfoLeg. Disponível em: <<http://www.infoleg.gov.ar/>>. Acceso em: 9/10/2014.

Peluzio, T.M.O., A.R. Santos & N.C. Fieldler. 2010. Mapeamento de áreas de preservação permanente no ARCGIS 9.3. Alegre: CAUFES. 58 pp.

Schindler, S., K. Poirazidis & T. Wrbka. 2008. Towards a core set of landscape metrics for biodiversity assessments: A case study from Dadia National Park. Greece. Ecological Indicators, 8: 502-514.