

DINÂMICA DOS USOS DA TERRA EM ÁREAS DE ELEVADA ENERGIA DO RELEVO: SUBSÍDIOS À GEOCONSERVAÇÃO DA CACHOEIRA DO ARCO-ÍRIS (RS-BRASIL)

Victória Dejan Paganotto

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Centro de Ciências Naturais e Exatas, Santa Maria, RS, Brasil
victoria.paganotto@acad.ufsm.com

Edvania Aparecida Correa Alves

Universidade Federal de Pelotas – UFPEL
Instituto de Ciências Humanas, Pelotas, RS, Brasil
edvania.alves@ufpel.edu.br

Gracieli Trentin

Universidade Federal do Rio Grande – FURG
Instituto de Oceanografia, São Lourenço do Sul, RS, Brasil
gracieli.trentin@furg.br

Adriano Luís Heck Simon

Universidade Federal de Pelotas – UFPEL
Instituto de Ciências Humanas, Pelotas, RS, Brasil
adriano.simon@ufpel.edu.br

RESUMO

Esta pesquisa analisa a dinâmica dos usos da terra em áreas de elevada energia do relevo da sub-bacia da Cachoeira do Arco-Íris, para identificar locais suscetíveis aos processos morfogenéticos e morfodinâmicos que podem ter consequências na queda d'água, importante elemento geopatrimonial de Pelotas (RS/Brasil). Foram elaborados dois mapas de cobertura e uso da terra dos anos de 2010 e 2017 e o mapa de energia do relevo para a área em estudo. Os usos da terra foram selecionados e relacionados com as elevadas energias do relevo (classes muito forte, forte e medianamente forte). As áreas de elevada energia do relevo representam 61,3% da sub-bacia. Houve um aumento de 8,9% dos usos da terra. Os usos da terra localizados em áreas de elevada energia do relevo tiveram ampliação de 40,6% para 51,1%, sobretudo em zonas de nichos de nascentes e na confluência dos canais de primeira ordem. As culturas temporárias foram protagonistas dessa expansão. O monitoramento dos usos da terra em áreas de elevada energia do relevo deve ser mantido e medidas devem ser tomadas a fim de evitar a degradação e perda de solos, que podem ter consequências na integridade ambiental da queda d'água.

Palavras-chave: Processo de ocupação. Morfometria. Queda d'água. Geopatrimônio.

LAND USE DYNAMICS IN AREAS OF HIGH LANDFORM ENERGY: GEOCONSERVATION SUPPORT AT ARCO-ÍRIS WATERFALL (RS-BRAZIL)

ABSTRACT

This research analyzes the dynamics of land uses in areas of high energy in the relief of the Cachoeira do Arco-Íris sub-basin, in order to identify susceptible locations to morphogenetic and morphodynamic processes that may have consequences on the waterfall, an important geopatrimonial element of Pelotas (RS/Brazil). Two maps of land cover and use for the years 2010 and 2017 and the relief energy map for the area under study were prepared. The land uses were selected and related to the high relief energies (very strong, strong and moderately strong classes). The high energy relief areas represent 61.3% of the sub-basin. There was an 8.9% increase in land use. Land uses located in areas of high relief energy increased from 40.6% to 51.1%, especially in niche areas of springs and at the confluence of first-order channels. Temporary cultures were protagonists of this expansion. The monitoring of land uses in areas of high relief energy must be maintained and measures must be taken in order to avoid soil degradation and loss, which can have consequences on the environmental integrity of the waterfall.

Keywords: Occupation process. Morphometry. Waterfall. Geoheritage

INTRODUÇÃO

A geodiversidade é definida como a variedade natural dos elementos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e características hidrológicas, incluindo seus conjuntos, estruturas, sistemas e contribuições para as paisagens (GRAY, 2008; GRAY; GORDON; BROWN, 2013; GRAY, 2018; BRILHA et al., 2018). Os elementos da geodiversidade podem ser considerados como o substrato para a manutenção da biodiversidade na Terra (NIETO ALBERT, 2002; GRAY, 2004; BRILHA et al., 2018).

Gray (2018) indica a existência da geodiversidade não-identificada e da geodiversidade identificada. A primeira compõe o espectro de elementos abióticos ainda não descobertos, descritos ou estudados, podendo também ser denominada de 'geodiversidade hipotética'. A geodiversidade identificada, por sua vez, compõe o conjunto de elementos, sua gênese e processos já compreendidos por meio de investigações, catalogações, mapeamentos e descrições.

O geopatrimônio compõe a geodiversidade identificada, sendo caracterizado pelo conjunto de geossítios e geomorfossítios inventariados de determinado território, considerados dignos de conservação devido à sua importância e/ou conjunto de valores associados (BORBA, 2011; BRILHA, 2016). Ainda no âmbito da geodiversidade identificada, Gray (2018, p. 15) aponta para a existência de um – "geopatrimônio condicional" –, que inclui sítios e áreas que possuem potencial para serem reconhecidos e inventariados como geopatrimônio, estando condicionados às decisões de geoconservação ou a estratégias de geoturismo. Borba et al. (2019) reforçam a existência deste geopatrimônio condicional ao afirmar que uma série de outros elementos materiais e imateriais relacionados à geodiversidade podem também ser considerados como pertencentes ao geopatrimônio, devendo ter seus valores reconhecidos a fim de compor estratégias de geoconservação e geoturismo.

O geopatrimônio é dinâmico, pois pertence a um sistema paisagístico onde as interações entre os elementos abióticos, bióticos e antrópicos se organizam no tempo e no espaço (PELFINI e BOLLATI, 2014). Gray (2018) evidencia que tanto o geopatrimônio inventariado, quanto o geopatrimônio condicional estão constantemente suscetíveis a perdas, danos e impactos oriundos da própria dinâmica dos processos naturais e das pressões antrópicas. Nesse sentido, a dinâmica do geopatrimônio requer o monitoramento dos processos naturais e antropogênicos envolvidos e também pode ser considerada enquanto base para a sua conservação (SIMON e TRENTIN, 2018; PELFINI e BOLLATI, 2014). Para isso, a definição da área de abrangência dos processos que atuam na gênese e na dinâmica do geopatrimônio deve ser reconhecida e empregada em seu monitoramento.

Simon e Trentin (2018) explicam que quedas d'água, por exemplo, possuem forte conectividade com a bacia de captação responsável pelo suprimento de água e sedimentos que circulam constantemente pelo local onde ocorre essa feição geopatrimonial. Além disso, nessas unidades naturais também ocorrem distintos processos de ocupação, responsáveis por instabilidades ambientais com efeito direto e indireto sobre as quedas d'água.

De acordo com Erikstad (2013), o monitoramento da dinâmica de cobertura e uso da terra em áreas de abrangência direta e indireta do geopatrimônio se faz necessário a fim de verificar se o processo de ocupação pode conduzir à gradual perda dos valores patrimoniais. Para Fuertes-Gutiérrez e Fernández-Martínez (2012) a integração entre o geopatrimônio e o planejamento do processo de ocupação é necessária para evitar estágios de degradação irreversíveis.

A compreensão acerca das condições morfométricas das bacias de captação que drenam para quedas d'água, bem como sua associação com a dinâmica das coberturas e usos da terra, possibilita o planejamento e o ordenamento do processo de ocupação territorial. A energia do relevo se coloca, nesse sentido, como p,

arâmetro morfométrico integrador, pois é resultante da associação entre os documentos cartográficos de declividade, dissecação horizontal e dissecação vertical que permite identificar e quantificar as características e potencialidades para o desenvolvimento de processos morfogenéticos e morfodinâmicos, como o potencial acúmulo de energia, a capacidade de erosão, infiltração e deposição (MENDES, 1993), sobretudo em bacias hidrográficas, a fim de compreender o grau de suscetibilidade dos terrenos com potencialidade à erosão (CUNHA et al., 2003 apud. BOIN; ZANATTA e CUNHA, 2014; FERREIRA, 2015) e consequentes efeitos sobre a integridade ambiental das quedas d'água.

Segundo Ferreira (2015), a energia do relevo regula a intensidade de erosão, escoamento, deposição e infiltração, modificando múltiplas propriedades do solo. Ferreira (2015, p. 18) expõe "[...]" que a energia do relevo disponível para o desenvolvimento de processos geomórficos, pedogenéticos e hidrológicos será fortemente condicionada pelas características geométricas das formas dos terrenos

presentes”.

Inicialmente os estudos de energia do relevo foram realizados a partir de uma equação que articulava a amplitude local do relevo e a porcentagem total da área em estudo. Spiridonov (1981) adaptou a proposta realizando a subtração do ponto de menor elevação com a ponto de maior elevação para a área de interesse. Ressalta-se que as análises eram realizadas a partir de quadrículas (FERREIRA, 2015).

Mendes (1993) adaptou a metodologia de elaboração da carta de energia do relevo a partir da integração dos dados referentes a declividade, dissecação horizontal e dissecação vertical, com base nas propostas de Spiridonov (1981), Mauro et al. (1991) e De Biasi (1992), compreendendo a energia do relevo enquanto uma síntese das cartas morfométricas citadas. Posteriormente a técnica passou por processos de automatização desenvolvidos por Zacharias (2001), Cunha e Piton (2013) e Ferreira (2015).

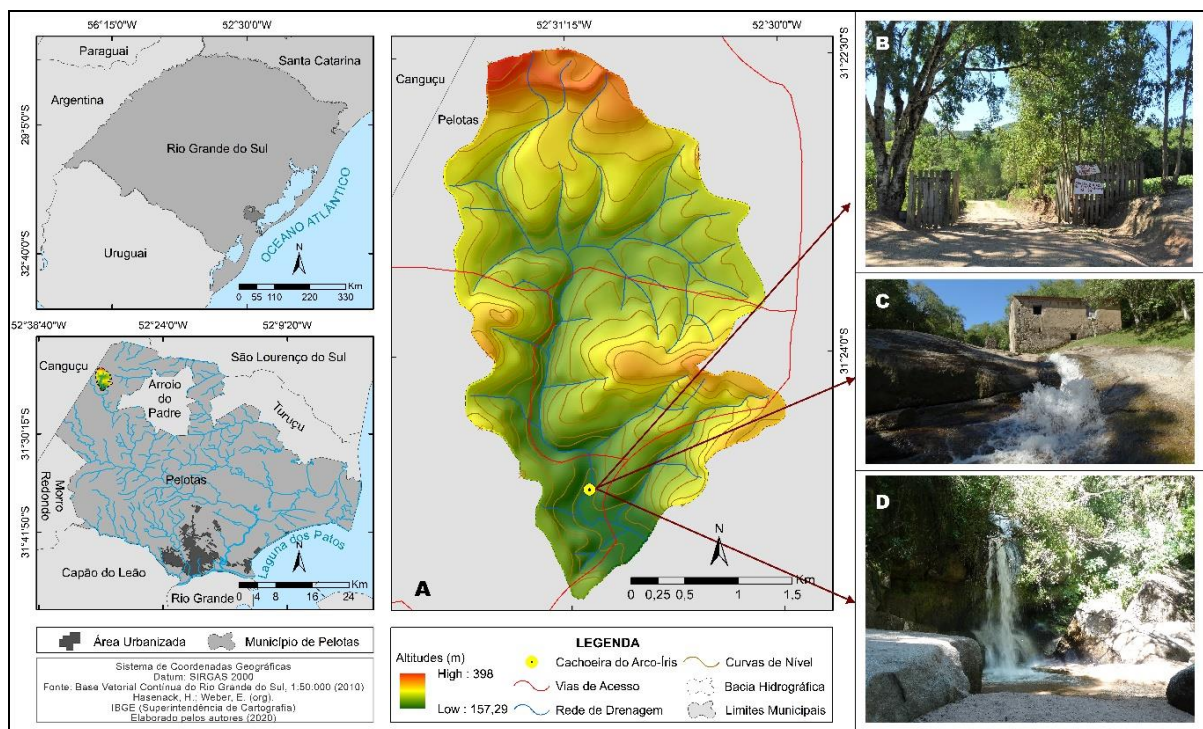
Com base nas considerações iniciais, a pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de analisar a dinâmica dos usos da terra nas áreas de elevada energia do relevo na sub-bacia da Cachoeira do Arco-Íris, a fim de identificar áreas suscetíveis aos processos morfogenéticos e morfodinâmicos que ocorrem no interior dessa unidade ambiental e que podem interferir na integridade da queda d'água, considerada como geopatrimônio condicional do município de Pelotas (Rio Grande do Sul-Brasil).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A Cachoeira do Arco-Íris está localizada a aproximadamente a 54 km da sede do município de Pelotas Rio Grande do Sul (Figura 1). A sub-bacia da Cachoeira do Arco-Íris abrange uma área de 9,908 km².

Figura 1 - Localização da sub-bacia da Cachoeira do Arco-Íris no município de Pelotas: A) Espacialização da sub-bacia da Cachoeira do Arco-Íris; B) Portão de entrada da propriedade onde se localiza a Cachoeira do Arco-Íris; C) Área de recreação, com a existência de um antigo moinho, que hoje funciona como lancheria; D) Queda d'água principal da cachoeira do Arco-Íris.



Fonte - Hasenack e Weber (2010); IBGE/DCG (2017). Elaborado pelos autores (2020).

Predominam na área de estudo um conjunto de granitóides, caracterizados pelo Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado e pelo Granito Arroio Moinho (CPRM, 2000a; 2000b), ocorrendo foliações miloníticas verticais produzidas pelo fluxo plástico durante o cisalhamento (PASSARELLI; BASEI e CAMPOS NETO, 2017). Essas foliações resultantes dos cisalhamentos são importantes para a organização espacial de ressaltos topográficos, que condicionam, em ambiente úmido, a presença de um ou mais degraus no perfil longitudinal dos canais fluviais, originando quedas d'água (PASSARELLI; BASEI e CAMPOS NETO, 2017).

Quanto às formas do relevo presentes, predominam morros e morrotes (sob domínio geológico do Granito Arroio Moinho) e morros, morrotes e colinas (em domínio do Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado). Ocorrem, em menor extensão, planícies alveolares e cabeceiras de drenagem em *hollows* (REHBEIN e DUTRA, 2020).

A área de estudo apresenta três associações de solos: Argissolo Bruno Acinzentado e Neossolo com afloramentos rochosos (localizados predominantemente nas porções central e noroeste da sub-bacia); Argissolo Bruno Acinzentado, Neossolo Litólico e Neossolo Regolítico (encontrados nos compartimentos de nascentes) e Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico e Argissolo Bruno Acinzentado com afloramentos rochosos (situados nas porções centrais e da baixa bacia da Cachoeira do Arco-Íris, onde ocorre a queda d'água) (CUNHA e SILVEIRA, 1996).

Procedimentos metodológicos

Base cartográfica

A base cartográfica da área em estudo, em escala 1:50.000, foi organizada a partir do conjunto de informações espaciais da base vetorial para o Estado do Rio Grande do Sul (HASENACK e WEBER, 2010). Em campo, obteve-se a localização geográfica da Cachoeira Arco-Íris com receptor de sinal GPS Garmin Montana® 650. A partir da localização da queda d'água foi delimitada a sua sub-bacia, considerando também a porção à jusante da Cachoeira do Arco-Íris. Posteriormente, foi realizado o enriquecimento da rede de drenagem (a partir das concavidades de vertentes presentes na base cartográfica) e a delimitação das bacias de captação para cada segmento de canal de drenagem (necessárias para a elaboração do mapa de energia do relevo). Ambos os procedimentos foram executados em tela, manualmente e considerando a escala de trabalho 1:50.000.

Obtenção da energia do relevo da sub-bacia da Cachoeira Arco-Íris

A obtenção do mapa de energia do relevo para a área em estudo ocorreu por meio da associação dos dados espaciais de três produtos cartográficos: declividade, dissecação vertical e dissecação horizontal.

Para a elaboração do mapa de declividade foram consideradas as propostas metodológicas desenvolvidas em meio analógico por De Biasi (1992) e Sanchez (1993), e as propostas de mapeamento em meio digital de Simon e Cunha (2009) e Thomazini e Cunha (2012) que aplicaram o ábaco em seus respectivos trabalhos, de forma semi-automática (utilização do ábaco digital e delimitação das classes de declividade de forma manual, a partir da interpretação em tela).

Para a obtenção do ábaco semi-automático e suas respectivas classes de declividade, inicialmente, tornou-se necessário identificar a equidistância das curvas de nível e o espaçamento das mesmas na base cartográfica da área de estudo em questão, a partir da seguinte equação:

$$D = n \cdot 100 / E$$

D é definida como a declividade, **n** é a equidistância das curvas de nível, que no presente trabalho apresenta-se como 20 m, em decorrência da escala de trabalho utilizada de 1:50.000, e é a menor distância e o maior espaçamento encontrado horizontalmente entre as curvas de nível (THOMAZINI e CUNHA, 2012). Saliencia-se que é necessário que os valores de **n** e estejam na mesma unidade de medida, de acordo com a escala adotada, ou seja, em metros. Os valores encontrados entre curvas de nível na bacia de captação foram de 15,88 metros para a menor declividade, e, de 457 metros para a maior declividade presente na área de trabalho.

Com base nos resultados obtidos, a proposição das classes de declividade seguiu as orientações de Simon (2010), adaptadas a partir da proposta de Lepsch et al. (1991) e das singularidades presentes na área em estudo (Quadro 1).

Quadro 1 - Classes de declividade aplicadas na sub-bacia da cachoeira Arco-Íris.

Classe	Declividade (%)	Descrição (SIMON, 2010 e LEPSCH et al., 1991)
1	<3	Áreas planas ou quase planas
2	3 - 6	Áreas com declives suaves
3	6 -12	Áreas com superfícies inclinadas, relevo ondulado
4	12 -20	Áreas muito inclinadas ou colinosas
5	20 -30	Relevo fortemente inclinado
6	>30	

Fonte - adaptado de Lepsch et al. (1991) e Simon (2010).

Posteriormente, foram desenvolvidos dois ábacos, com base no raio de cada classe: o ábaco convencional, utilizado somente entre as curvas de nível, e o ábaco suplementar, aplicado entre as curvas de nível e os canais de drenagem e as linhas de cumeadas. A proposta de mapeamento da declividade com o auxílio dos ábacos digitais foi desenvolvida de acordo com as orientações de Simon e Cunha (2009), que adaptaram essa ferramenta para a utilização em *softwares* para a elaboração semi-automática da carta clinográfica. Além do mais, a elaboração do mapa de declividade por meio da proposta semi-automática permite a obtenção de um documento vetorial, que pode ser associado com os mapas de dissecação vertical e horizontal para a elaboração do mapa de energia do relevo.

Os ábacos apresentam uma forma arredondada, na qual, as maiores circunferências apresentam as menores declividades. A medida em que se dirige para o seu centróide, os valores de declividade aumentam.

A elaboração dos ábacos ocorreu em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), com o auxílio do *software ArcGIS 10.2* (ESRI, 2013), licenciado pelo Laboratório de Estudos Aplicados em Geografia Física – LEAGEF/ UFPel. A partir dos resultados obtidos na aplicação da equação das classes de declividade, foram calculados os raios de circunferência, com a criação de uma *New Feature Class* do tipo linha. Posteriormente, selecionou-se a aba *Create Features* em *Construction Tools* e elegeu-se a opção *Circle*. Ao criar o círculo escolheu-se que sua delimitação seria baseada em seu raio, desse modo, foi necessário selecionar a opção *Radius*.

Dessa forma, foram criadas seis circunferências para o ábaco convencional e para o ábaco suplementar. Após esse processo, para o melhor manuseio das ferramentas semi-automáticas, as mesmas foram transformadas em polígonos, com o auxílio da extensão *Feature To Polygon*. Por fim, deu-se início a sua aplicação na bacia hidrográfica em análise, com o subsídio dos arquivos vetoriais correspondentes aos cursos d'água, curvas de nível, limite da bacia hidrográfica e as suas respectivas sub-bacias.

Com a ferramenta **Editor** ativada, foi dado início à vetorização das classes de declividade a partir da movimentação do ábaco digital entre as curvas de nível, seus contatos com a rede de drenagem e com o limite da bacia. A partir desse procedimento, foi obtido um conjunto de vetores do tipo linha que, associados aos demais vetores da base cartográfica (limite da bacia hidrográfica, curvas de nível, rede de drenagem e os limites das classes de declividade), foram convertidos em um único arquivo vetorial, do tipo linha, a partir da ferramenta *Merge*, para posteriormente serem transformadas em polígonos, com o auxílio do instrumento *Feature To Polygon*.

A partir das informações presentes na tabela de atributos, e da identificação prévia de cada classe de declividade, os polígonos foram selecionados com base nos valores encontrados e classificados de acordo com as cores temáticas estipuladas.

Os mapas de dissecação vertical e dissecação horizontal foram obtidos a partir das orientações de Ferreira et al. (2015). Os autores propõem uma metodologia automatizada de elaboração desses documentos cartográficos a partir da linguagem de programação *Python*, e o conjunto de modelos geográficos básicos encontrados no *ArcObjects*, presente no *software ArcGIS* (BOIN; ZANATTA e CUNHA, 2014).

A técnica de elaboração do mapa de dissecação vertical desenvolvida por Spiridonov (1981), com adaptações de Mauro et al. (1991) possibilita mensurar a distância entre os divisores de água e os talwegues, e auxilia na realização de avaliações de fragilidade da área em estudo, pois o produto final da metodologia em questão (a carta de dissecação vertical) denuncia os setores suscetíveis a atuação de processos morfoгенéticos (BOIN, ZANATTA e CUNHA, 2014).

Mendes (1993, p. 33) ressalta que a carta de dissecação vertical “[...] permite classificar áreas da bacia segundo o desnível vertical, ou seja, ela indica classes de altitude relativa entre os topos dos interflúvios e o talvegue”. Para Boin; Zanatta e Cunha (2014) o mapa de dissecação vertical permite mensurar a altitude relativa entre os divisores de água e os talwegues acusando os setores mais suscetíveis à atuação de processos morfoгенéticos (BOIN, ZANATTA e CUNHA, 2014). Para a elaboração desse mapa em meio digital, Ferreira et al. (2015) destacam a necessidade dos seguintes dados espaciais na interface de entrada do *plugin* “Dissecação Vertical”, instalado no *ArcToolbox*: a delimitação das bacias de captação, a rede de drenagem, as curvas de nível e o modelo digital de elevação (MDE). Para esse estudo o MDE foi elaborado com resolução de 15m x 15m e obtido pelo interpolador *Topo to Raster*, oriundo da base cartográfica de escala 1:50.000 (HASENACK e WEBER, 2010). Além dos arquivos mencionados foram especificadas informações sobre o intervalo das curvas de nível (20 m) e a escala de trabalho utilizada (1:50.000), pois uma série de parâmetros internos (como a quantidade de classes de dissecação vertical e os seus respectivos valores, que apresentam-se como <20 m como primeira classe, e é somado pelo mesmo valor até alcançar o número de >100 m) estão vinculados a essa informação atrelada à escala de trabalho (FERREIRA, 2015). Os resultados da dissecação vertical foram reclassificados conforme Boin; Zanatta e Cunha (2014) (Tabela 1).

Tabela 1 - Classes de Dissecação Vertical.

Nº da Classe	Classe de Dissecação Vertical
1	<20 m
2	20 - 40 m
3	40 - 60 m
4	60 - 80 m
5	80 - 100 m
6	> 100 m

Fonte - adaptado de Boin; Zanatta e Cunha (2014).

O mapa de dissecação horizontal apresenta a distância horizontal entre os divisores de água e os talwegues no interior de uma sub-bacia hidrográfica (FERREIRA et al., 2014). Ferreira (2015) salienta que o valor da distância horizontal entre o talvegue e a linha de cumeada é inversamente proporcional à intensidade da dissecação. Nesse sentido, quanto maior a distância entre os pontos compreendidos entre a linha de cumeada e o talvegue, menor a dissecação horizontal do terreno.

Spiridonov (1981) propôs que a metodologia em questão fosse elaborada com os dados referentes às bacias hidrográficas, sub-bacias, rede de drenagem e a base cartográfica (FERREIRA et al., 2014). Para a elaboração da dissecação horizontal, são traçadas dentro dos limites de cada bacia hidrográfica, as linhas de caimento das encostas. Posteriormente, pontos equidistantes dos talwegues são traçados e unidos às isolinhas com menor distância dos talwegues, de modo a formar faixas que representam as classes de dissecação horizontal (FERREIRA, et al., 2014).

Assim como a dissecação vertical, o procedimento para obtenção da dissecação horizontal passou por adaptações analógicas, definidas primeiramente por Mauro et al. (1991), que implementou a utilização de um ábaco que se desloca entre a linha de cumeada e o talvegue da bacia hidrográfica

pesquisada (FERREIRA et al., 2014). Posteriormente, foram propostas adaptações por Zacharias (2001) e Ferreira (2015) que possibilitaram a elaboração desse documento cartográfico de forma automática em meio digital.

Para a elaboração do mapa de dissecação horizontal foram adicionados à interface do *plugin* elaborado por Ferreira et al. (2014), os arquivos vetoriais correspondentes aos canais de drenagem, as bacias de captação e o MDE. Posteriormente, foram estabelecidos dois parâmetros: (a) a segmentação de drenagem (a qual estabelece, de acordo com a escala adotada, o erro gráfico tolerável, definido em 10 metros – 0,1 mm – para a presente pesquisa), e, (b) o parâmetro de agrupamento de drenagem, definido de acordo com a sinuosidade apresentada pelo curso d'água, pois áreas que apresentam canais de drenagem com relativa sinuosidade, também exibem múltiplas direções de segmentos de canais de drenagem que acarretam problemas na originação das linhas de dissecação horizontal pela ferramenta de Ferreira (2015). Após testes em gabinete, que consideraram também as informações obtidas em campo sobre a sinuosidade da drenagem da sub-bacia, foi estabelecido o padrão de 60 agrupamentos (IBGE, 1999; FERREIRA et al., 2014). Cabe ressaltar que Ferreira et al. (2014), indicam que o parâmetro agrupamento de drenagem tem relação direta com particularidades da área de estudo e com a escala adotada, demandando teste prévios para a definição do valor a ser adotado.

Posteriormente, baseado na escala de trabalho utilizada, foi definida a menor classe de dissecação horizontal e as classes conseqüentes, que são estipuladas como o dobro da classe anterior, até que seja atingido o máximo da dissecação horizontal, como verificado na Tabela 2. Por fim, para a obtenção do mapa de energia do relevo foi realizada uma associação das informações de declividade, dissecação vertical e dissecação horizontal, a partir dos critérios estabelecidos na Tabela 3.

Tabela 2 - Classes de Dissecação Horizontal.

Nº da Classe	Classe de Dissecação Horizontal
1	< 50 m
2	50 - 100 m
3	100 - 200 m
4	200 - 400 m
5	400 - 800 m

Fonte - Adaptado de Ferreira et al. (2014).

Tabela 3 - Quadro Síntese para a obtenção das Classes de Energia do Relevo.

Classes de energia do relevo	Declividade (%)	Operador	Dissecação Horizontal (m)	Operador	Dissecação Vertical	Ordem de classificação
Muito Forte	>30	OU	<50	OU	>100 80 – 100	1
Forte	20 – 30	OU	50 – 100	OU	60 – 80	2
Medianamente Forte	12 – 20	OU	100 – 200	OU	40 – 60	3
Média	6 – 12	OU	200 – 400	OU	20 – 40	4
Fraca	3 – 6 <3	OU	400 – 800	OU	<20	5

Fonte - Adaptado de Ferreira (2015).

Os critérios para a elaboração da Tabela 3 foram estabelecidos conforme as orientações de agrupamento de dados realizados por Cunha e Pinton (2013), Ferreira (2015) e de acordo com as singularidades presentes na bacia hidrográfica. Posteriormente, tornou-se necessário realizar a análise dos parâmetros de declividade, dissecação vertical e dissecação horizontal, a fim de definir as combinações que refletem as condições da paisagem na área em estudo no que se refere ao comportamento das formas do relevo.

Definiu-se também o uso dos operadores **OU** (*or*) e (*and*):

- a) **OU** (*or*): indica que os resultados da energia do relevo foram determinados a partir de cada variável;
- b) **E** (*and*): indica que houve a combinação de dados vetoriais para a combinação das classes de energia do relevo estabelecidas.

Conforme é possível visualizar na Tabela 3, não foi utilizado o operador **E** para a obtenção do quadro síntese, estabelecendo que as classes de energia do relevo são oriundas da existência de um determinado parâmetro ou de outro (operador **OU**). Cabe destacar ainda que a ordem de classificação significa que, no momento em que a classe “muito forte” tiver sua seleção dos valores realizada para a obtenção dessa classe de energia do relevo, os polígonos que participaram dessa combinação não farão parte das combinações seguintes. Dessa forma, existe uma prioridade de espacialização das classes de maior energia do relevo (partindo da classe muito forte até a classe fraca)

Uma vez definidas as associações das informações de declividade, dissecação vertical e dissecação horizontal, as mesmas foram inseridas no código de programação em linguagem *Python* e a aplicação na interface da *Field Calculator*, presente no *software ArcGIS 10.2*, para, em seguida, acionar a célula *Show Codeblock* e inserir informações de entrada e saída. Por fim, foi realizada a reclassificação dos polígonos e das classes de energia do relevo, conforme a primeira coluna da Tabela 3.

Elaboração dos mapas de coberturas e usos da terra para os anos de 2010 e 2017

O mapa de cobertura e uso da terra do ano de 2010 resultou da coleta de 14 recortes espaciais de imagens georreferenciadas dos sensores acoplados ao satélite *Ikonos* (GEOEYE, 2017) (com resolução espacial de 1 metro e resolução radiométrica de 11 *bits* (PIROLI, 2012), na escala de visualização de 1:10.000, com o auxílio do *software* livre *Elshayal Smart GIS Map Editor*. Já na elaboração do mapa de cobertura e uso da terra para o ano de 2017 foram utilizadas as imagens do *WorldView* (DIGITAL GLOBE, 2017) com resolução espacial de 2 metros para as bandas multiespectrais e a resolução radiométrica de 11 *bits* (sob propriedade da *Digital Globe*) (PIROLI, 2012), coletadas a partir do *plugin Quick Map Services*, no *software* Quantum GIS 2.18.13.

Os mosaicos das imagens selecionadas para os referidos cenários foram organizados no *software ArcGIS 10.2*. e posteriormente segmentados, com auxílio da ferramenta *Segmentation Mean Shift*, que estabelece três valores de entrada, definidos a partir de testes prévios que consideram o tamanho, a definição e a homogeneidade dos pixels das imagens:

- a) Nível de particularidade definido aos atributos espectrais da imagem: que separa os *pixels* com base nas características de cor e é intitulado no *software* como *spectral_detail*, ao qual foi conferido o valor de 20, em uma escala que varia de 1 – 20;
- b) Nível de proximidade entre os recursos das imagens (*spatial_detail*): definido como o parâmetro que separa os objetos com base nas características espaciais, ao qual foi atribuído o valor de 7, que varia de 1 – 20;
- c) Mescla de segmentos menores de melhor semelhança: define a unidade mínima do mapeamento e separa os blocos menores de *pixels*. O mesmo é intitulado como *min_segment_size*, e apresentou o valor de 15.

Os arquivos obtidos em formato *raster* foram convertidos em arquivos vetoriais e, manualmente, foram identificados os polígonos semelhantes, conforme a adaptação da chave de classificação do Manual Técnico de Uso e Cobertura da Terra (IBGE, 2013) (Quadro 2).

Quadro 2 - Sistema de classificação das coberturas e usos da terra aplicado à área de estudo.

USOS DA TERRA		
Nível I – Classe	Nível II – Classe	Cores (RGB)
1. Áreas Antrópicas Agrícolas	Cultura Temporária	R: 255 G: 255 B: 0
	Cultura Permanente	R: 255 G: 214 B: 0
	Pastagem	R: 205 G: 137 B: 0
	Silvicultura	R: 205 G: 173 B: 0
COBERTURAS DA TERRA		
Nível I – Classe	Nível II – Classe	Cores (RGB)
2. Áreas de Vegetação Natural	Florestal	R: 115 G: 168 B: 0
	Campestre	R: 214 G: 255 B: 168
3. Água	Corpo d'água Continental	R: 153 G: 194 B: 230
4. Outras Áreas	Área Descoberta	R: 178 G: 178 B: 178

Fonte - Adaptado de IBGE (2013).

Nesse processo, os elementos de interpretação cor, textura, forma, geometria e sombra foram auxiliares na categorização dos polígonos (CERON e DINIZ, 1966). A opção pela classificação manual se deu em função da pequena extensão da área de estudo e da diversidade e fragmentação das coberturas e usos da terra verificadas nas pequenas propriedades rurais da sub-bacia da Cachoeira do Arco Íris, fato que pode ocasionar uma confusão espectral dos alvos quando da realização de classificações supervisionadas.

Adequabilidade dos usos da terra às áreas de elevada energia do relevo

Com base nas informações espaciais obtidas a partir do mapa de energia do relevo, as superfícies identificadas com energias forte, muito forte e medianamente forte foram agrupadas e denominadas como áreas de elevada energia do relevo.

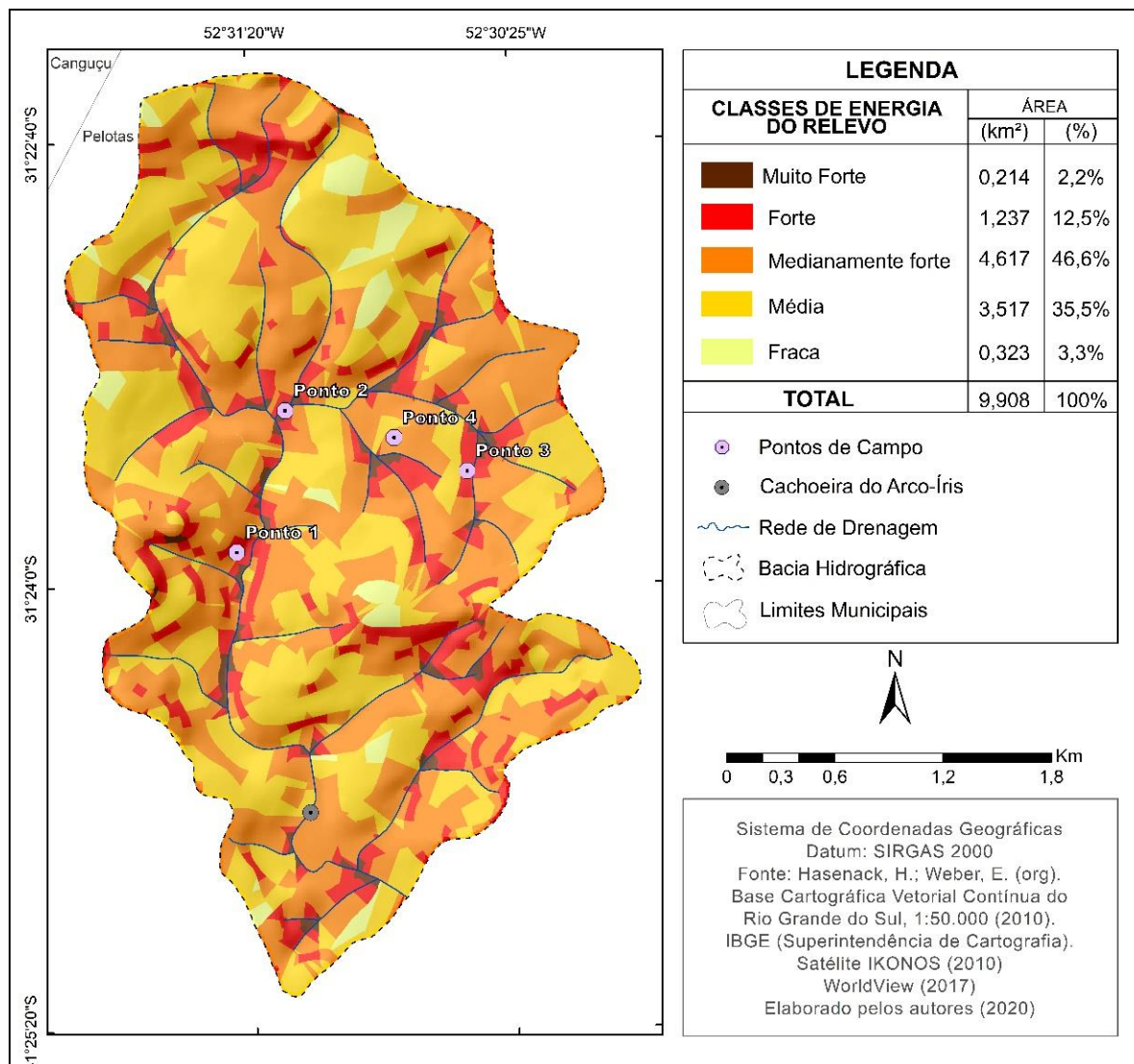
Posteriormente, o mapa com as áreas de elevada energia do relevo foi relacionado com as informações espaciais sobre o uso da terra nos anos de 2010 e 2017 a fim de verificar a adequabilidade da evolução das práticas antrópicas em superfícies com maior suscetibilidade ao desenvolvimento de processos morfogenéticos e morfodinâmicos. Tal verificação concede elementos de monitoramento para as práticas de geoconservação na bacia de captação onde se inserem elementos do patrimônio condicional, nesse caso, compreendido pela Cachoeira do Arco-Íris.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise da energia do relevo na sub-bacia da Cachoeira do Arco-Íris

A Figura 2 corresponde ao mapa de energia do relevo da sub-bacia da Cachoeira do Arco-Íris. As áreas de elevada energia do relevo (agrupamento das classes muito forte, forte e medianamente forte) representam 61,3% da área de estudo e ocupam aproximadamente 6,068 km².

Figura 2 - Mapa de energia do relevo da sub-bacia da Cachoeira do Arco-Íris.



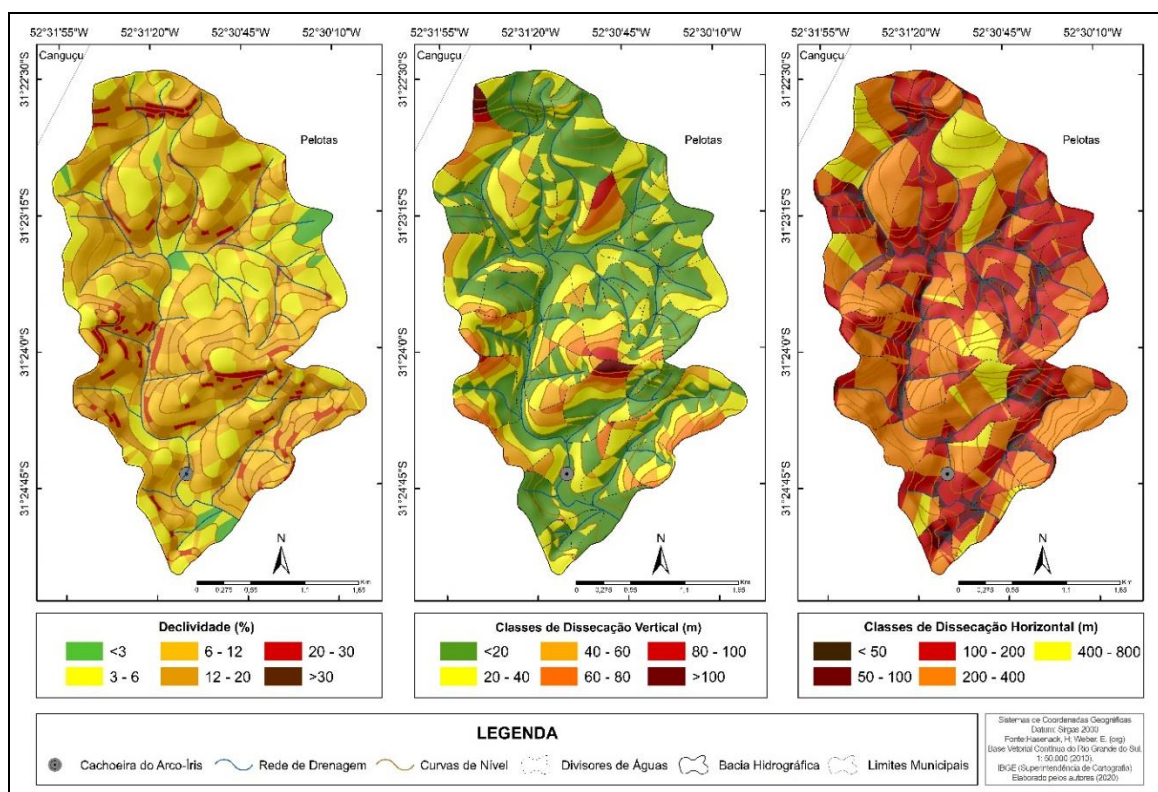
Fonte - Hasenack e Weber (2010); IKONOS (2010); IBGE/DGC (2017); WorldView (2017). Elaborado pelos autores (2020).

A classe medianamente forte corresponde a 46,6% (4,617 km²) da sub-bacia. Ocorre desde os compartimentos de topo até fundos de vale, mas predomina em vertentes alongadas, geralmente convexas, do setor central da sub-bacia. Por ser a classe mais expressiva dentre as elevadas energias do relevo, demanda maior atenção no que se refere às práticas de uso da terra.

A classe muito forte foi definida predominantemente pelas declividades superiores a 30% e pelos valores de dissecação horizontal inferiores a 50 m, conforme é possível visualizar a partir da Figura 3. Localiza-se, em geral, nas confluências de canais de drenagem onde ocorrem as menores dimensões interfluviais e apresenta as menores áreas de abrangência na sub-bacia (Figura 2).

As superfícies com energia do relevo forte são usualmente derivadas da associação entre as classes de declividade que variam de 20 – 30% e pela dissecação horizontal que apresenta os valores entre 50 – 100 m (Figura 3). Os polígonos que representam a classe forte se localizam, assim como a classe muito forte, nas confluências de canais de drenagem e próximas aos cursos d'água, distribuídas por toda a sub-bacia hidrográfica.

Figura 3 - Mapa de Declividade, Dissecação Vertical e Dissecação Horizontal da sub-bacia da Cachoeira do Arco-Íris.



Fonte - Hasenack e Weber (2010); IKONOS (2010); IBGE/DGC (2017); WorldView (2017) Elaborado pelos autores (2020).

A classe média apresenta superfícies definidas pelas dissecações horizontais que variam de 200 – 400 m, ou pela dissecação vertical que exibe um valor de < 20 m (Figura 3). Esse cruzamento de dados corresponde a 35,5% da área de estudo, e encontra-se predominantemente em áreas menos íngremes.

A classe de energia do relevo fraca é determinada, predominantemente, por valores de dissecação horizontal que variam entre 400 – 800 m e ocorre em 3,3% da sub-bacia hidrográfica (Figura 3). Destaca-se que os polígonos referentes às classes fraca e média apresentam razoáveis distâncias de curvas de nível, apresentando-se como áreas planas.

Mediante o documento cartográfico síntese da energia do relevo, constata-se que a sub-bacia da Cachoeira do Arco-Íris apresenta elevada suscetibilidade ao desenvolvimento de processos erosivos. Uma vez consolidadas, as feições erosivas que se desenvolvem em virtude da aceleração dos processos erosivos, tendem a conduzir o material retirado de forma dinamizada para os canais que drenam para a Cachoeira Arco-Íris.

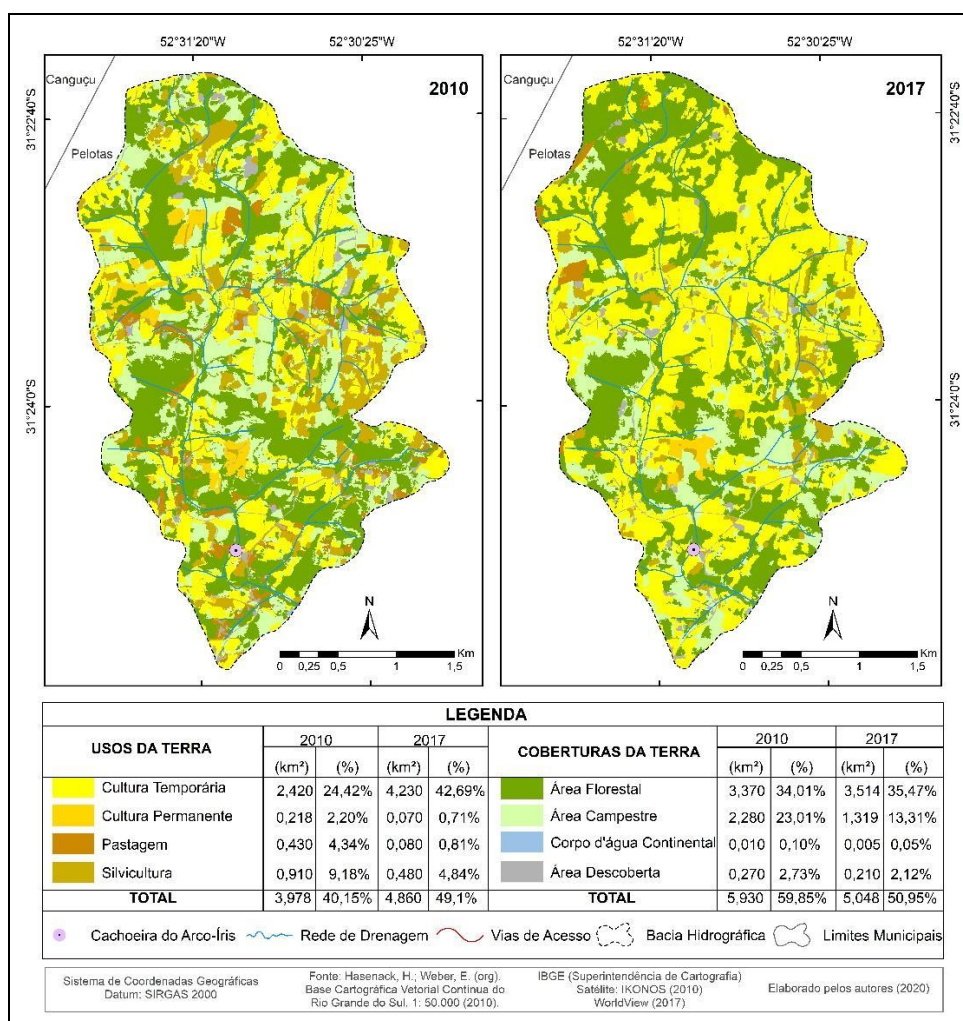
Como o mapa de energia do relevo expõe classes que manifestam a predisposição para ocorrência de processos pedomorfoгенéticos e erosivos, dentro de uma perspectiva da dinâmica natural da sub-bacia, cabe a compreensão de que diante dos processos de ocupação intensos – que apresentaram modificações rápidas em poucos anos – com a ampliação dos usos da terra a manifestação de perdas de solos via erosão laminar e linear tende a ocorrer de forma mais pronunciada. Isso porque esses processos podem ser intensificados em decorrência da ação antrópica e da dinâmica de ocupação e uso das terras, com o destaque para as culturas temporárias – manejadas sem ações conservacionistas – que auxiliam na degradação dos solos, diminuindo a sua qualidade e de outros elementos abióticos que compõem a paisagem.

Nesse sentido, ressalta-se que ações que visam a geoconservação são importantes para manter a integridade de sub-bacia, e consequentemente da Cachoeira do Arco-Íris.

Dinâmica das coberturas e usos da terra na sub-bacia da Cachoeira do Arco-Íris

A dinâmica recente das coberturas e usos da terra na sub-bacia da Cachoeira Arco-Íris (Figura 4) aponta para um considerável aumento das culturas temporárias (74,81%) e um sutil incremento das áreas florestais (4,27%). Todos os demais usos da terra mapeados tiveram decréscimo de área ocupada, sobretudo nas áreas destinadas à pastagem e à silvicultura, convertidas para culturas temporárias onde predominam, além de gêneros agrícolas de subsistência (milho, feijão, cebola e batata inglesa), o cultivo do fumo para produção de tabaco.

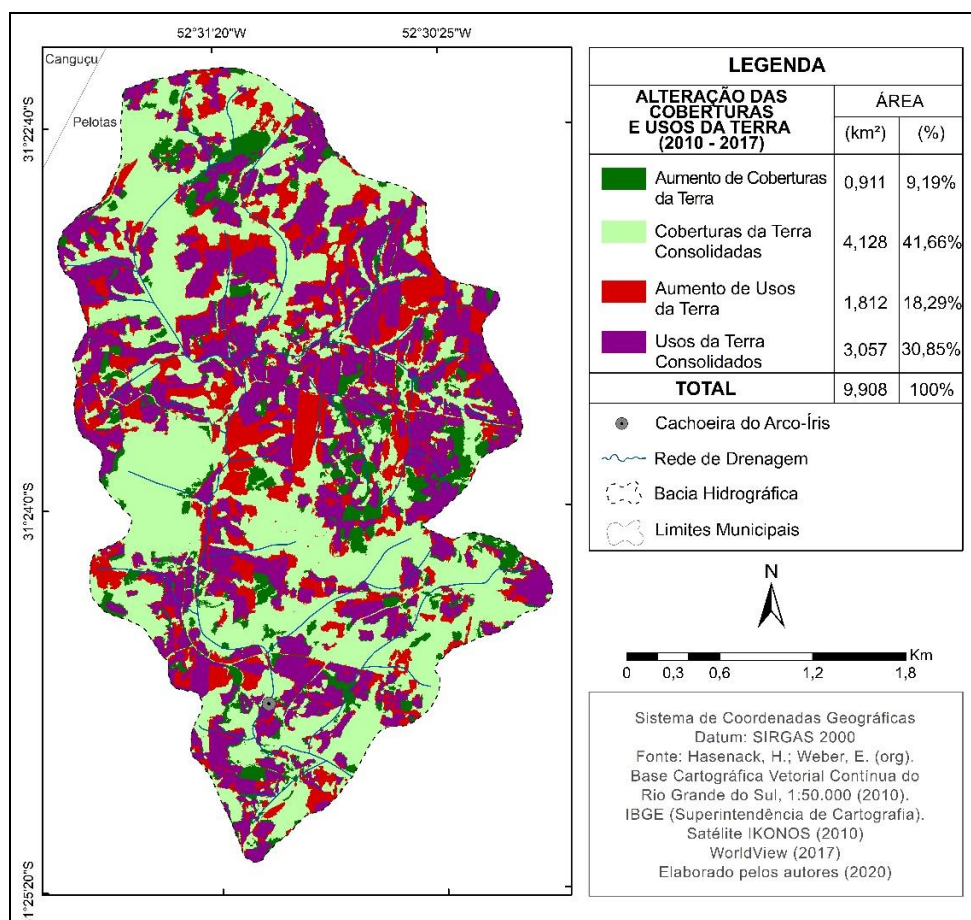
Figura 4 - Mapa das coberturas e usos da terra da sub-bacia da Cachoeira do Arco-Íris (2010 e 2017).



Fonte - Hasenack e Weber (2010); IKONOS (2010); IBGE/DGC (2017); WorldView (2017).
Elaborado pelos autores (2020).

A diminuição das demais coberturas da terra (área campestre, corpos d'água e áreas descobertas) possui ínfima relação com a ampliação das coberturas florestais, que ocorreu prioritariamente em compartimentos de fundo de vale do alto curso da sub-bacia, onde já existiam coberturas campestres (sobretudo campo sujo) no ano de 2010. A evolução das culturas temporárias teve papel principal na diminuição das demais coberturas citadas, evidenciando o avanço das práticas agrícolas, sobretudo das áreas de cultivo de fumo na porção centro e leste da sub-bacia (Figura 5). Dentre as coberturas verificadas, entretanto, as áreas cobertas por vegetação campestre experimentaram as maiores retrações (diminuição de 42,14%).

Figura 5 - Mapa síntese da dinâmica das coberturas e usos da terra na área de estudo entre os anos de 2010 e 2017.



Fonte - Hasenack e Weber (2010); IKONOS (2010); IBGE/DGC (2017); WorldView (2017). Elaborado pelos autores (2020).

Os dados da Figura 4, quando classificados como áreas de aumento de coberturas da terra, coberturas da terra consolidadas, aumento de usos da terra e usos da terra consolidados expõem informações relativas à alteração das coberturas e usos da terra (2010 – 2017). Com base nas informações oriundas da Figura 5, observa-se que as coberturas da terra consolidadas expressam uma porcentagem de 41,66%, localizando-se de forma homogênea por toda sub-bacia. Já os usos da terra consolidados dizem respeito a 30,85% da área em análise expressando-se preferencialmente a montante da sub-bacia da Cachoeira do Arco-Íris. Os dados que acusam o aumento dos usos da terra localizam-se predominantemente a centro-oeste da área de estudo, com aproximadamente 18,29%, seguido do aumento de coberturas da terra, com uma porcentagem de 9,19%.

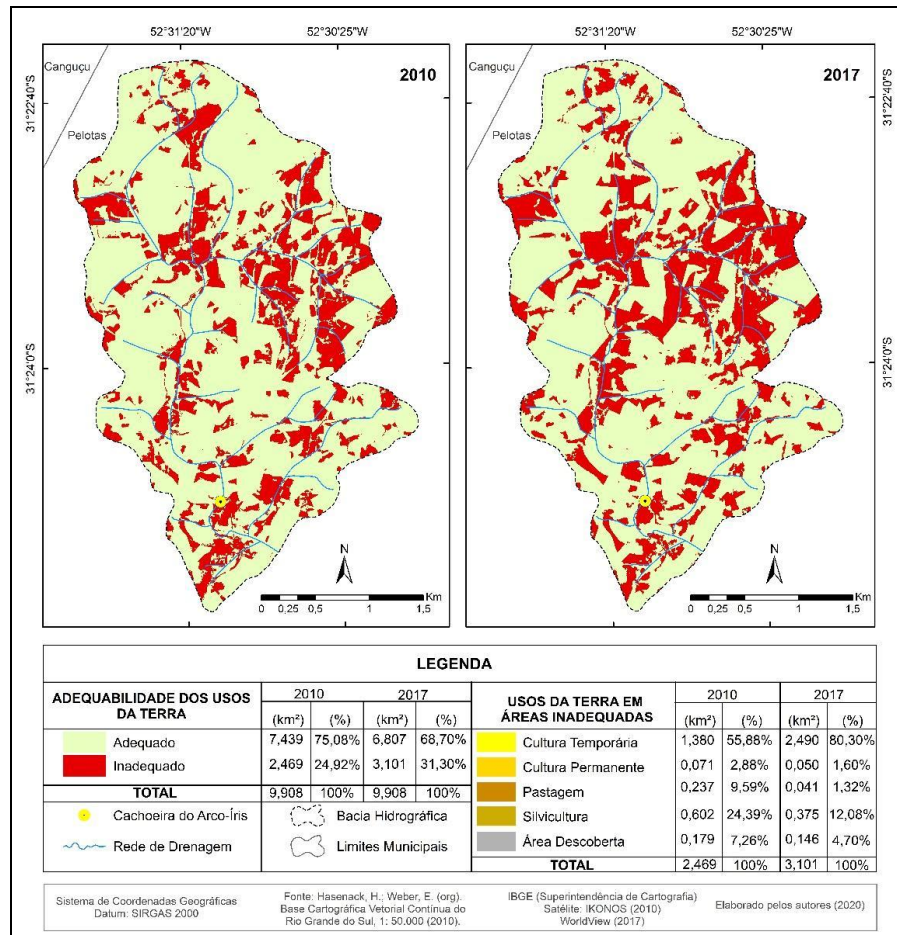
Dinâmica dos usos da terra em áreas de elevada energia do relevo

Para compreender o comportamento do processo de ocupação nas áreas mais suscetíveis à ocorrência de processos erosivos, a dinâmica dos usos da terra foi analisada nos recortes espaciais onde ocorrem elevadas energias do relevo (consideradas as classes muito forte, forte e medianamente forte). Essa análise possibilitou o monitoramento inicial da dinâmica de ocupação espacial em áreas mais suscetíveis a ocorrência de processos morfogênicos e morfodinâmicos da sub-bacia da Cachoeira do Arco-Íris, e que podem ter efeitos sobre a integridade ambiental da queda d'água principal, considerada enquanto elemento geopatrimonial condicional do município de Pelotas.

A Figura 6 evidencia o aumento das áreas consideradas inadequadas sob o ponto de vista da existência de usos da terra em superfícies com elevadas energias do relevo. As culturas temporárias,

caracterizadas principalmente pela fumicultura, são protagonistas dessa expansão, exibindo um aumento de 80,30% entre os anos de 2010 e 2017.

Figura 6 - Adequabilidade dos usos da terra à energia do relevo da sub-bacia da Cachoeira do Arco-Íris.



Fonte - Hasenack e Weber (2010); IKONOS (2010); IBGE/DGC (2017); WorldView (2017). Elaborado pelos autores (2020).

Ressalta-se que esse resultado se dá em decorrência do incentivo à introdução da fumicultura, que tem se destacado das demais culturas temporárias, uma vez que esse cultivo se manifesta como uma alternativa econômica muito rentável aos pequenos agricultores. Entretanto, a adoção dos processos convencionais para o preparo do solo ocasiona a diminuição da matéria orgânica, da atividade microbológica no interior do solo e a potencialização dos processos erosivos, com consequentes desequilíbrios na dinâmica da sub-bacia (NUNES, 2017; PRADELLA, 2018)

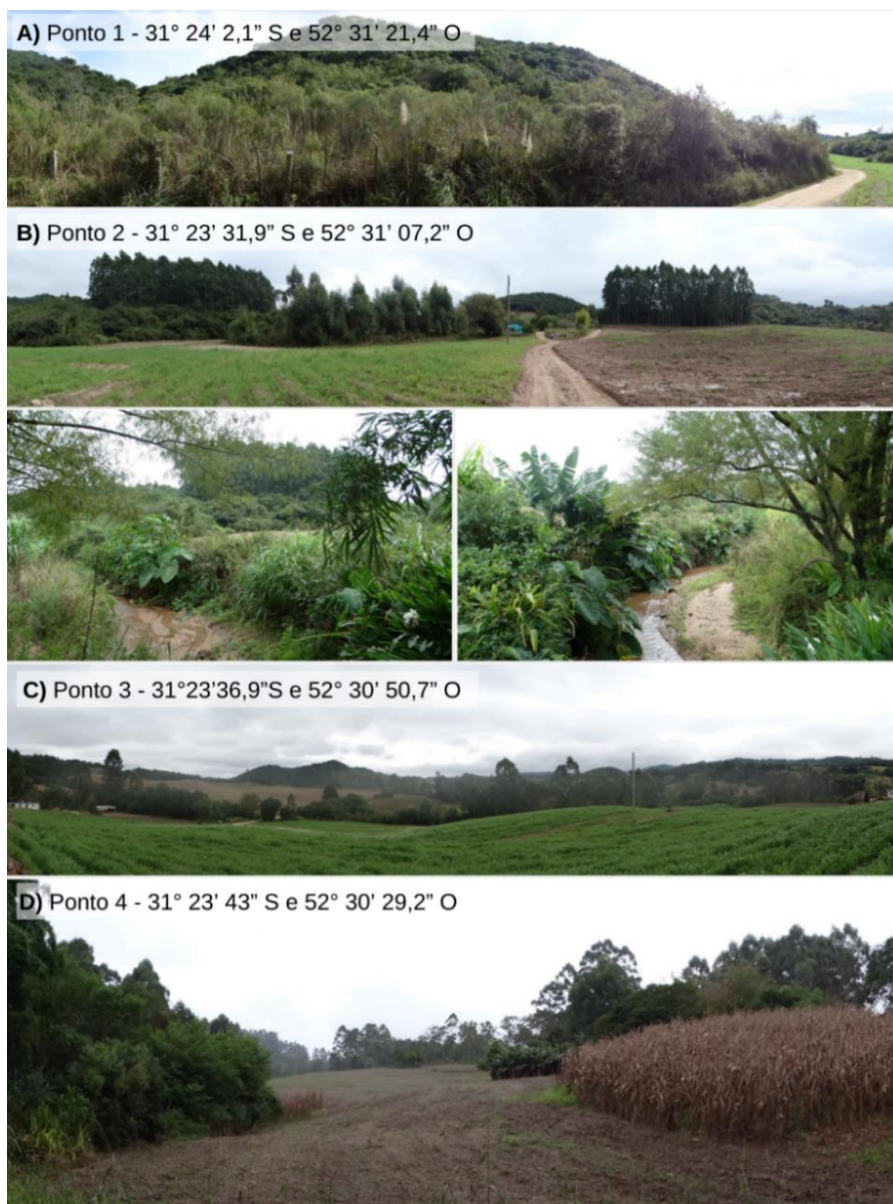
O desmatamento para expansão dos usos da terra e a poluição causada ao solo e aos cursos d'água em decorrência do uso de agrotóxicos provocam ainda a perda da conectividade dos corredores ecológicos, a diminuição da biodiversidade e a redução da qualidade produtiva dos solos. Essas condições, reunidas nas áreas de elevada energia do relevo (consideradas áreas inadequadas), e em um pequeno intervalo de tempo, aumentam a predisposição aos processos erosivos e a poluição dos recursos hídricos. Esse contexto evidencia a importância do constante monitoramento dos usos da terra, a fim de compreender a magnitude da expansão das atividades agrícolas em áreas de elevadas energias do relevo.

A evolução dos usos da terra em áreas definidas como "inadequadas" ocorreu predominantemente na porção centro-norte da área de estudo, em zonas de nichos de nascentes ou então na confluência dos canais de drenagem de primeira ordem (Figura 6). Cabe destacar que, dada a importância que a

rede de drenagem possui para a manutenção da integridade ambiental da Cachoeira do Arco-Íris, a evolução das áreas inadequadas na relação entre elevadas energias do relevo e os usos da terra se coloca como um obstáculo para a geoconservação da sub-bacia hidrográfica enquanto sistema e da queda d'água enquanto elemento geopatrimonial. Tal situação pode atuar na perda da capacidade de geração e manutenção da hidrodinâmica da sub-bacia, devido a gradual diminuição da cobertura vegetal e da conseqüente perda da capacidade de armazenamento de água em subsuperfície.

A Figura 7 apresenta quatro pontos de campo (identificados na Figura 2) a fim de auxiliar a compreensão das condições de cobertura e uso da terra em superfícies onde predominam as elevadas energias do relevo selecionadas e, portanto, consideradas inadequadas, sob a ótica da geoconservação da Cachoeira Arco-Íris, para a expansão do processo de ocupação.

Figura 7 - A) Área de forte energia do relevo, influenciada pelas altas declividades – predomínio de coberturas florestais; B) Área de muito forte energia do relevo, com o predomínio de culturas temporárias e áreas de pastagem, apresenta um curso d'água assoreado, margeado por mata ciliar rarefeita; C) Cultivos temporários em área de energia do relevo medianamente forte; D) Área de forte energia do relevo, com a presença de cultivo temporário (milho e solo preparado para cultivo) e de silvicultura. Os pontos se encontram identificados na Figura 2.



Fonte - Os autores.

Os pontos B, C e D se encontram em áreas de elevada energia do relevo onde foram verificados os usos da terra com culturas temporárias e pastagens. Esta situação se repete por toda a área de estudo e condiciona maior suscetibilidade à perda de solos, especialmente quando associados com os solos naturalmente frágeis da área.

Nesse sentido, ressalta-se que ações conservacionistas (com ênfase na geoconservação) são importantes para manter a integridade da sub-bacia que drena para a cachoeira do Arco-Íris. Para isso, torna-se necessário considerar ações de planejamento ambiental que visem a análise, diagnóstico e prognóstico das dinâmicas de uso e cobertura nas áreas de elevada energia do relevo, pois os usos que se manifestam ainda não desencadearam a existência de feições erosivas pronunciadas, conforme verificado em campo.

CONCLUSÕES

A análise dos dados de energia do relevo da sub-bacia da Cachoeira do Arco-Íris possibilitou identificar as superfícies mais suscetíveis aos processos morfogenéticos e morfodinâmicos, responsáveis pela manutenção do escoamento que alimenta a queda d'água principal da sub-bacia em questão. As áreas de elevada energia do relevo correspondem a 61,3% da área de estudo. Nesse sentido, as práticas de cultivo agrícola verificadas devem ser adequadas a essa conjuntura, a fim de preservar os elementos abióticos que atuam sistemicamente na manutenção da queda d'água, considerada como geopatrimônio condicional do município de Pelotas.

Os documentos cartográficos referentes à dinâmica de uso e cobertura da terra retratam o predomínio dos cultivos temporários no ano de 2017, fato que expressa a reconfiguração da paisagem em um curto intervalo de tempo, com a diminuição das classes relativas a outros usos e coberturas da terra. Salienta-se que as culturas temporárias se caracterizam predominantemente pelo cultivo do fumo e estão inseridas, de forma geral, em áreas pedogeneticamente rasas (Neossolos) e restritivas aos usos da terra (Argissolos). Tal condição acarreta na degradação dos solos, impulsionada pela adoção de métodos não conservacionistas de cultivo.

Definida como o nível de base da sub-bacia, a cachoeira do Arco-Íris expressa, em sua morfodinâmica, todas as alterações de caráter natural e antrópico que ocorrem no interior do sistema de drenagem que conflui imediatamente para a queda d'água, uma vez que, nesse ponto, circulam materiais erodidos, transportados, depositados e remobilizados, expondo as consequências do processo de ocupação e de uso das terras à montante. Assim, os documentos cartográficos referentes à energia do relevo, à dinâmica de uso e cobertura da terra e de adequabilidade do uso das terras às elevadas energias do relevo propiciaram as primeiras informações para o desenvolvimento de ações de geoconservação nas áreas consideradas inadequadas, que apresentam potencial risco à degradação e perda de solos em decorrência da utilização agrícola no interior da sub-bacia.

Torna-se necessário que a dinâmica das coberturas e os usos da terra sejam monitorados por meio de mapeamentos que avaliem a ocupação agrícola e a oscilação das coberturas vegetais. Isso permitirá acompanhar a evolução das áreas inadequadas que apresentam maior suscetibilidade aos processos de desagregação dos solos, e assim, no assoreamento da rede de drenagem. Esse monitoramento também permitirá a adoção de práticas a serem disseminadas a partir das propriedades rurais existentes na sub-bacia, no sentido de evitar a perda excessiva de materiais, sobretudo nos períodos de maior precipitação, para os cursos d'água que drenam para a Cachoeira do Arco-Íris, evitando modificações na paisagem que possam atuar na perda de atratividade (geo)turística da queda d'água.

REFERÊNCIAS

- BOIN, M. N.; ZANATTA, F. A. S.; CUNHA, C. M. L. Avaliação da Morfometria do Relevo da Alta Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Areia Dourada, Marabá Paulista (SP). **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 2, n. 36, p. 5 - 26, 2014.
- BORBA, A. W.; GUADAGNIN, F.; MATTÉ, V.; CARON, F.; FERREIRA, P. F.; KUMAIRA, S.; LOPES, R. P.; SELL, J. C.; DEGRANDI, S. M.; CORRÊA, A. P. S.; SILVA, E. L.; SOUZA, L. P. M.; URBAN, C.,

SIMON, A. L. H.; BALDUÍNO, E.; VARGAS-PEIXOTO, D. Geoturismo na área de abrangência do COREDE Campanha ('metade sul' do Rio Grande do Sul, Brasil), parte II: elementos geopatrimoniais ex-situ, contextos e identidades. **Revista Terr@Plural**, v. 13, n. 2, p. 496 - 512, 2019. <https://doi.org/10.5212/TerraPlural.v.13i2.0013>

BORBA, A. W. Geodiversidade e geopatrimônio como bases para estratégias de geoconservação: conceitos, abordagens, métodos de avaliação e aplicabilidade no contexto do Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, v. 38, n. 1, p. 3 - 13, 2011. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.23832>

BRILHA, J.; GRAY, M.; PEREIRA, D. I.; PEREIRA, P. Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. **Environmental Science & Policy**, v. 86, p. 19 - 28, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.001>

BRILHA, J. Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. **Geoheritage**, v. 8, n. 2, p. 119 - 134, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>

CERON, A. O.; DINIZ, J. A. F. O uso das fotografias aéreas na identificação agrícola da terra. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 28, n. 2, p. 161 - 173, 1966.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Carta Geológica**. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Pedro Osório, SH.22-Y-C. CPRM, 2000a.1 mapa. Escala 1:250.000.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Carta Geológica**. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Pelotas, SH.22-Y-D. CPRM, 2000b.1 mapa. Escala 1:250.000.

CUNHA, C. M. L.; PINTON, L. G. A cartografia do relevo como subsídio para a análise morfogenética de setor cuneiforme. **Mercator**, v. 12, n. 27, p. 149 - 158, 2013. <https://doi.org/10.4215/RM2013.1227.0011>

CUNHA, N. G.; SILVEIRA, J. C. **Estudos de Solos do Município de Pelotas, RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado/CPACT. Editora UFPel, 1996.

DE BIASI, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 6, p. 45 - 60, 1992. <https://doi.org/10.7154/RDG.1992.0006.0004>

DIGITAL GLOBE. **Imagem WordView**: Rio Grande do Sul: Cachoeira do Arco-Íris (Pelotas). [2017]. Imagem de Satélite, Digital Globe/ Google. Lat. 31° 24' 57,19"S, 52° 30' 37,45"W. Disponível em: https://earth.google.com/web/search/Cachoeira+do+Arco+-+Iris+-+Triunfo,+Pelotas+-+RS/@%2031.41185161,-52.5184036,187.24213137a,816.06751269d,35y,-0h,0t,0r/data=CigiJgokCUW11AwGej_AEcJMa1hrmz_AGWevB_HVQ0rAlbynMOWvbkra. Acesso em: 20 fev. 2019.

ELSHAYAL SMART GIS, Version 16.007. Egypt: Elshayal Smart Web On Line Software. 2017. Disponível em: <https://www.softpedia.com/get/Science-CAD/Elshayal-Smart.shtml>. Acesso em: 20 dez. 2018.

ERIKSTAD, L. Geoheritage and geodiversity management—the questions for tomorrow. **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 124, n. 4, p. 713 - 719, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2012.07.003>

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS**, Version 10.2. United States: ESRI, 2013.

FERREIRA, M. V. **Contribuição metodológica ao estudo da dissecação e energia do relevo**: proposta e avaliação de técnicas computacionais. 2015. 229 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista. 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/138513>. Acesso em: 27 abr. 2019.

FERREIRA, M. V.; TINÓS, T. M.; PINTON, L. G.; CUNHA, C. M. L. A dissecação horizontal como parâmetro morfométrico para avaliação do relevo: Proposta de técnica digital automática. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 4, p. 585 - 600, 2014. <https://doi.org/10.20502/rbg.v15i4.553>

FERREIRA, M. V.; TINÓS, T. M.; PINTON, L. G.; LUPINACCI, C. M. A cartografia da dissecação vertical para avaliação do relevo: Proposta de técnica automática. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 6, p. 1231 - 1245, 2015. <https://doi.org/10.14393/rbcv67n6-44639>

FUERTES-GUTIÉRREZ, I.; FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, E. Mapping geosites for geoheritage management: a methodological proposal for the regional park of Picos de Europa (León, Spain). **Environmental management**, v. 50, n. 5, p. 789 - 806, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9915-5>

GRAY, M. Geodiversity: developing the paradigm. **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 119, n. 3 - 4, p. 287 - 298, 2008. [https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(08\)80307-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(08)80307-0)

GRAY, M. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. John Wiley & Sons, 2004.

GRAY, M. Geodiversity: the backbone of geoheritage and geoconservation. In: REUNARD, E.; BRILHA, J. **Geoheritage**: assessment, protection, and management. Amsterdam: Elsevier, 2018. cap. 1, p. 13 - 25. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00001-0>

GRAY, M.; GORDON, J. E.; BROWN, E. J. Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 124, n. 4, p. 659 - 673, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2013.01.003>

HASENACK, H.; WEBER, E.(org.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul** - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD).

GEOEYE. **Imagem de Satélite Ikonos**: Rio Grande do Sul: Cachoeira do Arco-Íris (Pelotas). [2010]. .Lat. 31° 24' 57,19"S, 52° 30' 37,45"W. Disponível em: https://earth.google.com/web/search/Cachoeira+do+Arco+-+Iris+-+Triunfo,+Pelotas+-+RS/@-31.41185161,-52.5184036,187.24213137a,816.06751269d,35y,-0h,0t,0r/data=CigiJgokCUW11AwGej_AEcJMa1hrmz_AGWevB_HVQ0rAlbynMOWvbkrA . Acesso em: 13 abr. 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Noções Básicas de Cartografia**. Manuais Técnicos em Geociências. Rio de Janeiro: IBGE, 1999.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. ed. 3. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. **Base Cartográfica Contínua do Brasil, 1:250.000 – BC250**: versão 2017. Rio de Janeiro, 2017.

LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI, R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Ed. 2. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.

MAURO, C. A.; RUSSO, I.; BOVO, R.; TELES, A.; CARVALHO, M.; PICARELLI, A.; MELO, E. Contribuição ao planejamento ambiental de Cosmópolis – SP – BR. In: ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA. 3., 1991. Toluca. **Anais...** .Toluca: UAEM, 1991, n. 3, v.4, p. 391 – 419.

MENDES, I. A. **A dinâmica erosiva do escoamento pluvial na bacia do Córrego Lafon–Araçatuba–SP**. 1993. 171 f. Tese. (Doutorado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo: São Paulo. 1993. NIETO ALBERT, L. M. Patrimonio Geológico, Cultura y Turismo. **Boletín del Instituto de Estudios Giennenses**, n. 182 p. 109 - 122, 2002.

NUNES, R. B. **Avaliação da Qualidade do Solo, sob Cultivo de Tabaco (Nicotiana tabacum L.), em Propriedades Agrícolas Familiares no Município de Pelotas- RS**.2017. 68 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção Agrícola Familiar) – Pelotas Programa de Pós Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. 2017.

PASSARELLI, C. R.; BASEI, M. A.; NETO, M. C. C. Caracterização geométrica e cinemática da Zona de Cisalhamento Major Gercino e sua importância na compartimentação dos terrenos Pré-Cambrianos de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 23, n. 3, p. 234 - 241, 2017. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.1993233234241>

PELFINI, M.; BOLLATI, I. Landforms and geomorphosites ongoing changes: Concepts and implications for geoheritage promotion. **Questiones Geographicae**, v. 33, n. 1, p. 131 - 143, 2014. <https://doi.org/10.2478/quageo-2014-0009>

PIROLI, E. L. Imagens de satélite de alta resolução espacial para o mapeamento da dinâmica do uso da terra. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL (GEOPANTANAL), 4., 2012. Bonito - MS. **Anais...** . Bonito: GEOPANTANAL, 2012, v. 4, p. 1280 – 1290.

PRADELLA, J. L. **Manejo do Solo Relacionado à Produção do Tabaco e suas Consequências**. Monografia (Especialização em Educação Ambiental) –, Santa Maria: Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental. Universidade Federal de Santa Maria 2018.

QUANTUM GIS User Guide. Version 2. 18. 13. “Las Palmas”. United States: QGIS, 2016. Disponível em: <https://download.qgis.org/downloads/>. Acesso em: 19 de nov. 2016.

REHBEIN, M. O; DUTRA, D. S. Mapeamento geomorfológico da área de influência do Escudo Sul-riograndense no município de Pelotas. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 18, n. 01, p. 1-23, 2020. <https://doi.org/10.5016/estgeo.v18i0.13844>

SANCHEZ, M. C. A propósito das cartas de declividade. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 5., 1993, São Paulo - SP. **Anais...** . São Paulo: FFLCH, 1993. P. 311 – 314.

SIMON, A. L. H.; CUNHA, C. M. L. Elaboração do ábaco digital para a identificação de classes de declividade: aplicações na baixa bacia do rio Piracicaba – SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa – MG. **Anais...** . Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009, v. 13, p. 01 – 10.

SIMON, A. L. H. **Influência do reservatório de Barra Bonita sobre a morfohidrografia da baixa bacia do Rio Piracicaba-SP: contribuições à geomorfologia antropogênica**. 2010. 150 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/104391>. Acesso em: 26 maio 2019.

SIMON, A. L. H.; TRENTIN, G. A representação espacial da geodiversidade e do geopatrimônio: instrumentos para a geoconservação. In: VIEIRA, A.; FIGUEIRÓ, A.; CUNHA, L. STEINKE, V. **Geopatrimônio – Geoconhecimento, Geoconservação e Geoturismo: experiências em Portugal e na América Latina**. Guimarães: CEGOT/UMINHO, 2018. p. 147 – 160.

SPIRIDONOV, A. I. **Principios de La Metodología de Las Investigaciones de Campo y el Mapeo Geomorfológico**. Tradução de Isabel Alvarez e Roberto Del Busto. Havana: Universidad de la Habana, v. 3, 1981

THOMAZINI, L.; CUNHA, C. M. L. da. Análise do relevo da bacia do córrego castelo (Bauru–SP): a influência da urbanização nos processos erosivos. **Caminhos de Geografia**, v. 13, n. 42, p. 169 - 189, 2012. <https://doi.org/10.14393/RCG134216451>

ZACHARIAS, A. A. **Metodologias Convencionais e Digitais para a Elaboração de Cartas Morfométricas do Relevo**. 2001. 166 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 2001.

Recebido em: 03/08/2021

Aceito para publicação em: 25/01/2022