



**Zoneamento do Potencial de Uso Conservacionista
na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos - RS**
Zoning of the Conservationist Use Potential in the
Hydrographic Basin of the Sinos River – RS

José Nunes de Aquino¹; Hugo Henrique Cardoso de Salis²; Samuel Gameiro¹; Marco Antonio de Oliveira¹; Grazieli Rodigheri¹; Alan Pereira da Silva Falcão Mendes¹ & Giuliana Andréia Sfredo³

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CEP SRM, Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Av. Bento Gonçalves 9500, Agronomia, 91509-900, Porto Alegre, RS, Brasil

²Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Av. Pres. Antônio Carlos 6627, Pampulha, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geociências, Av. Bento Gonçalves 9500, Agronomia, 91509-900, Porto Alegre, RS, Brasil

E-mails: josenunesdeaquino@gmail.com; hugohcsalis@gmail.com; samuel_gameiro@outlook.com; maooceano@gmail.com; grazielirodigheri@gmail.com; alan.falcao@ufrgs.br; giuliana_sfredo@hotmail.com

Recebido em: 01/02/2020 Aprovado em: 03/06/2020

DOI: http://doi.org/10.11137/2020_3_292_302

Resumo

A bacia hidrográfica do Rio dos Sinos concentra uma intensa atividade agrícola e industrial em seu território, o que ao longo dos anos tem provocado um desequilíbrio ambiental e um comprometimento dos seus recursos naturais. Entendendo a bacia como uma unidade de gestão territorial, se faz necessário o aprimoramento e a criação de ferramentas que auxiliem na gestão deste território. Neste sentido, o presente artigo tem como objetivo a aplicação de uma metodologia de zoneamento ambiental, denominada Potencial de Uso Conservacionista (PUC), com fins de estratificar o território da bacia em níveis de potencial natural de uso. Para isso, foram utilizadas bases geoespaciais de solo, litologia e declividade da região, como dados de entrada deste modelo, determinando pesos para essas variáveis, através de uma Análise Hierárquica de Processos (AHP). A partir disto, foram obtidos os níveis de PUC da bacia do Rio dos Sinos, que foram combinados com um mapa de uso e cobertura do solo da região para um diagnóstico dos níveis de conservação da área. Os resultados mostraram que na bacia predominam os níveis de potencial de uso entre “Médio” e “Alto”. A bacia apresenta certo nível de conservação em seu uso do solo no alto curso, o que combina com os níveis “Baixo” e “Muito Baixo” de PUC ali presentes. O desafio principal reside na necessidade de adequação das atividades agrícolas e indústrias no médio e baixo curso da referida bacia, onde se encontram os níveis de potencial de uso “Alto” e “Muito Alto”, a fim de promover o uso sustentável dos recursos ambientais ali presentes e a mitigação dos impactos ambientais destas atividades.

Palavras-chave: *Uso do Solo; Análise Multicritério; Zoneamento Ambiental e Produtivo - ZAP.*



Abstract

The hydrographic basin of the Sinos river concentrates an intense agricultural and industrial activity in its territory, which over the years has caused an environmental imbalance and a compromise of its natural resources. Understanding the basin as a territorial management unit, it is necessary to improve and create tools that help in the management of this territory. In this sense, this article aims to apply an environmental zoning methodology, called Conservationist Use Potential (CUP), with the purpose of stratifying the basin territory in levels of natural use potential. For this, geospatial soil, lithology and slope bases of the region were used as input data of this model, determining weights for these variables through an Analytic Hierarchy Process (AHP). From this, the levels of CUP of the basin of the Sinos river, which were combined with a map of the region's land use and cover to diagnose the conservation levels of the area. The results showed that in the basin predominate the levels of potential use between "Medium" and "High". The basin has a certain level of conservation in its high course land use, which combines with the "Low" and "Very Low" levels of CUP present there. The main challenge is the need of adapting agricultural and industrial activities in the medium and low course of the basin, where the "High" and "Very High" potential use levels are found, in order to promote the sustainable use of environmental resources present there and the mitigation of the environmental impacts of these activities.

Keywords: *Land use; Multicriteria Analysis; Environmental and Productive Zoning - EPZ*

1 Introdução

O entendimento da bacia hidrográfica como uma unidade de gestão e planejamento territorial, apesar de possuir limites naturais, implica em um intenso trabalho no sentido de enfrentar os desafios na criação de um modelo de governança hídrica que abarque todas as características ambientais, sociais e políticas ali presentes.

A bacia hidrográfica é uma unidade territorial que possui limites naturais de escoamento e distribuição das águas. É o local onde se dão os fluxos de recarga, armazenamento e captação deste recurso. Portanto, a necessidade do desenvolvimento de métodos que assegurem a correta gestão deste espaço se torna imperativa, para que a bacia hidrográfica possa cumprir sua função de estocagem de recursos hídricos (Costa *et al.*, 2017b).

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos concentra uma intensa atividade econômica, principalmente industrial e agrícola, além de ser fonte de abastecimento de água para a população da maioria dos 32 municípios que compõe, total ou parcialmente, seu território. Neste sentido, esta bacia exerce um papel fundamental como referencial geográfico, cultural e de recursos naturais, apesar de representar uma parcela pequena do estado do Rio Grande do Sul (Hupffer *et al.*, 2012).

A intensa atividade agrícola/industrial na região da bacia do rio dos Sinos ao longo dos anos e o emprego de técnicas e procedimentos de manejo inadequado do solo provocaram um desequilíbrio ambiental notável na região, principalmente no que concerne a qualidade dos seus recursos hídricos (Figueiredo *et al.*, 2010).

A definição do potencial de uso conservacionista (PUC) de bacias hidrográficas se apresenta como uma ferramenta metodológica essencial para tomada de decisão no que diz respeito ao zoneamento do potencial natural para

uso agrícola, recarga hídrica e de resistência à erosão das áreas dentro de uma bacia hidrográfica. Esta metodologia surgiu como uma alternativa à etapa de "Definição de Unidades de Paisagem" do Zoneamento Ambiental e Produtivo - ZAP¹, uma metodologia de zoneamento ambiental e produto oficial do estado de Minas Gerais, para sub-bacias hidrográficas.

De acordo com Costa *et al.* (2017b), o método proposto no Z.A.P. para a definição de unidades de paisagem, propunha uma análise das diferentes feições da paisagem presentes na bacia com suas respectivas potencialidades a despeito dos estudos convencionais, que tendem a analisar de forma fragmentada os componentes dessa unidade espacial sem, necessariamente, estabelecer uma relação de causalidade entre tais componentes. Ao passo que a definição do PUC tem como objetivo focar nos usos potenciais da bacia através de uma operação automatizada, consistindo em uma análise multicritério onde relacionam variáveis como solo, litologia e declividade, diminuindo assim a subjetividade no processo de estratificação das áreas da bacia, quanto ao seu potencial natural de uso sustentável, disponibiliza um produto final adequado às demandas do ZAP

Neste sentido, o presente artigo teve como objetivo principal zonar o PUC da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos – RS numa escala de 1:1.000.000 e construir uma matriz de correlação entre as classes de uso do solo

¹ Trata-se de um modelo que permite uma avaliação preliminar do potencial de adequação de uma sub-bacia hidrográfica. É o primeiro passo para efetivar o processo de adequação propriamente dito, que envolve a elaboração de planos, pactos e ações e a definição de indicadores para acompanhamento e avaliação. A aplicação deste modelo está dividida em 3 etapas metodológicas: definição de unidades da paisagem; levantamento do uso e ocupação do solo, e diagnóstico da disponibilidade hídrica da sub-bacia. (MINAS GERAIS, 2016)

Zoneamento do Potencial de Uso Conservacionista na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos - RS

José Nunes de Aquino; Hugo Henrique Cardoso de Salís; Samuel Gameiro; Marco Antonio de Oliveira; Grazieli Rodigheri; Alan Pereira da Silva Falcão Mendes & Giuliana Andréia Sfredo

existentes na bacia em epígrafe com os níveis de PUC identificados.

2 Material e Métodos

2.1 Caracterização da Área de Estudo

A área deste estudo é a bacia hidrográfica do rio dos Sinos, localizada na porção leste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), entre as coordenadas planas: Leste 6680000, 6760000, e Norte 480000, 560000, datum geodésico SIRGAS 2000 e projeção UTM 22 Sul.

A referida bacia está inserida total ou parcialmente em 32 municípios do estado, ocupando uma área de aproximadamente 3.693 km². O clima da região é subtropical com médias anuais em torno de 20°C e cerca de 1.600 mm de chuva por ano, bem distribuídos nas quatro estações (COMITESINOS, 2018).

Ocorrem 7 (sete) classes de solos, em seu 1º nível categórico (Santos *et al.*, 2013) na região da bacia, a saber: Argissolo, Cambissolo, Gleissolo, Luvisso, Neossolo, Nitossolo e Planossolo. Encontra-se sob o domínio da unidade geológica Bacia do Paraná, a qual se caracteriza

como uma bacia intracratônica, cujo embasamento é composto por rochas ígneas e metamórficas. As unidades litológicas presentes na região são a Formação Serra Geral e Formação Botucatu (Vanacôr, 2006).

O relevo na bacia do rio dos Sinos possui características particulares em cada trecho. No curso superior o relevo tem uma característica de “Moderadamente Ondulado” a “Fortemente Ondulado” (8% - 45%) no médio e baixo curso, a classe de declividade predominante é de “Plano” a “Suave Ondulado” (0% - 8%).

Já o uso e cobertura do solo é caracterizado predominantemente pela classe de “Floresta Densa”, ocupando cerca de 55% da área total e pela classe de “Agricultura ou Pastagem”, que ocupa aproximadamente 37% de todo o território da bacia do rio dos Sinos.

2.2 Material

Os materiais utilizados no estudo foram: i. Limites Municipais e Estaduais do Rio Grande do Sul com escala de 1.250.000 (FEPAM, 2018); ii. Rede de drenagem do estado do Rio Grande do Sul com escala de 1.250.000 (FEPAM, 2018); iii. Mapa de solos do estado do Rio Grande do

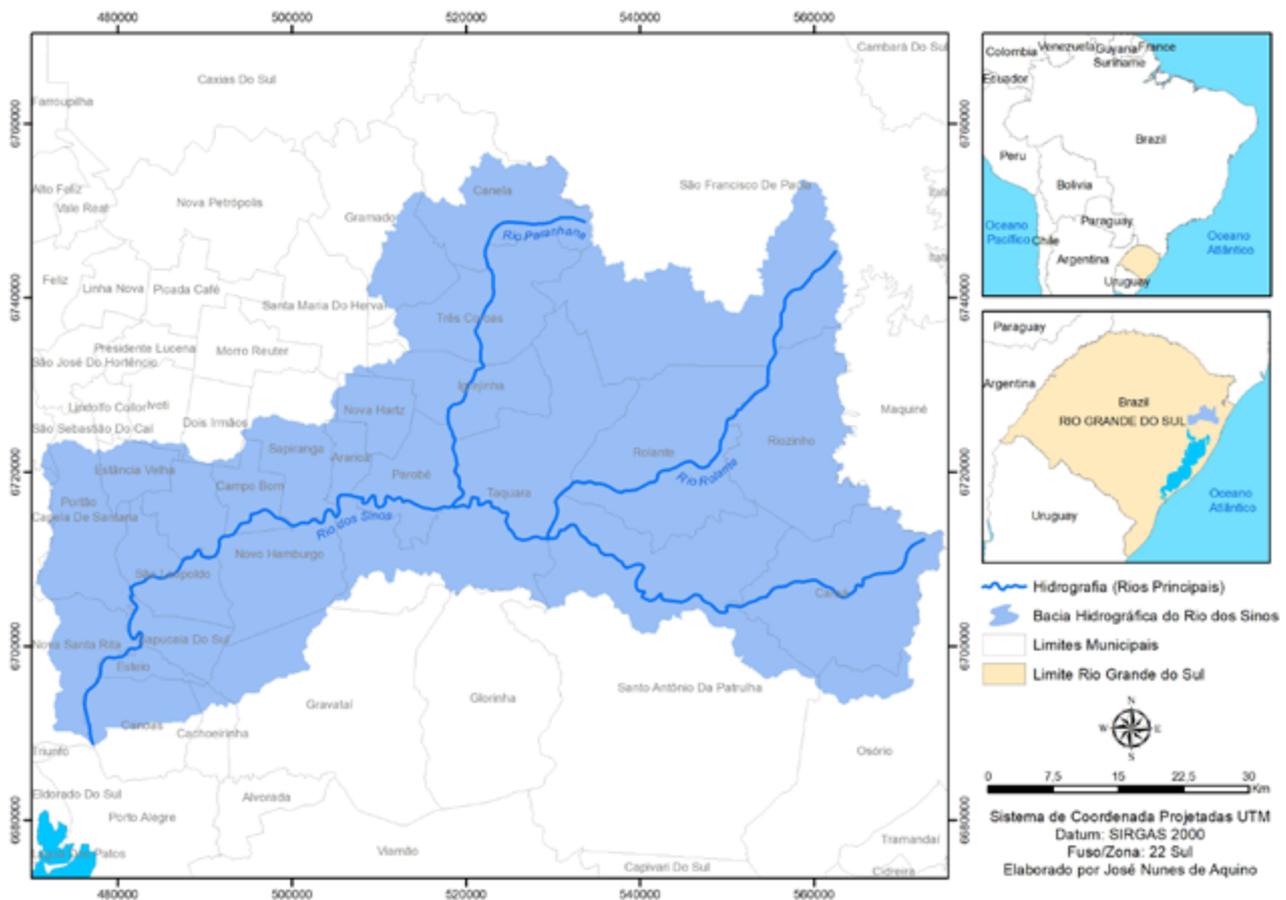


Figura 1 Localização da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos

Zoneamento do Potencial de Uso Conservacionista na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos - RS

José Nunes de Aquino; Hugo Henrique Cardoso de Salís; Samuel Gameiro; Marco Antonio de Oliveira; Grazieli Rodigheri; Alan Pereira da Silva Falcão Mendes & Giuliana Andréia Sfredo

Sul, com escala de 1:750.000 (CPRM; 2010); iv. Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul com escala de 1:1.000.000 (CPRM, 2010); v. Modelo Digital de Elevação (MDE) (USGS, 2018), de resolução espacial de 30 metros; vi. Mapa de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio dos Sinos (Mapbiomas, 2016); vii. *Software* ArcGIS versão 10.5 (ESRI, 2016); viii. *Software* Excel (Microsoft, 2013).

2.3 Métodos

O mapeamento do PUC em bacias hidrográficas é uma metodologia proposta por Costa *et al.* (2017a), que permite, através da análise e cruzamento de características físico-ambientais (solos, geologia e geomorfologia), espacializar as áreas de uma bacia quanto ao seu potencial de uso conservacionista. Nesta metodologia, o termo “uso conservacionista” tem foco em 3 características do ambiente: i. Potencial para recarga hídrica; ii. Potencial para uso agrícola; e iii. Resistência à erosão.

A metodologia do presente artigo está dividida em 4 etapas: i. pré-processamento dos dados cartográficos; ii. Reclassificação dos mapas; iii. Ponderação das Variáveis (AHP) e álgebra de mapas; e iv. Geração da matriz PUC

A primeira etapa está dividida em quatro passos: i. Conversão dos dados cartográficos para o sistema de coordenadas planas, Datum SIRGAS 2000, zona/fuso 22 Sul; ii. Recortes para a área de referência da bacia hidrográfica do rio dos Sinos – RS; iii. Conversão dos mapas de solos e litologia de vetor para raster; e iv. Cálculo de declividade por meio do MDE e sua respectiva divisão de classes estabelecidas pela Embrapa (Embrapa, 1979).

Na segunda etapa foi realizada a reclassificação do mapa de solos, geologia e declividade. A reclassificação dos mapas consistiu na atribuição de pesos para cada classe das variáveis: solo, geologia e declividade, conforme proposto por Costa *et al.* (2017a). Os pesos atribuídos variaram de 1 a 5, onde, quanto maior o valor, maior é o potencial da área para o uso conservacionista.

Partindo-se do pressuposto que a referida metodologia foi desenvolvida com especificidades inerentes

ao estado de Minas Gerais, sua aplicação em outras regiões deve atentar para a necessidade de pequenas alterações. No caso do Rio Grande do Sul os pesos das variáveis solos e litologia foram normalizados de 1 a 5 para que PUC esteja relacionado apenas ao território da bacia e não o território estadual.

Em relação a variável solos, a classe dos Argissolos é a que possui maior abrangência na bacia do rio dos Sinos, ocupando aproximadamente 29% do total e está localizada no médio e baixo curso da referida bacia. Em seguida as classes Nitossolo e Neossolo são as que predominam nas cabeceiras do rio, ocupando aproximadamente 20% da área total, cada.

Foram atribuídos os pesos a cada classe de solo na bacia do rio dos Sinos, onde os valores variaram de 1,2 (Neossolos) a 5 (Nitossolos). A Figura 2 apresenta o mapa de solos (original e reclassificado), ao passo que a Tabela 1 uma síntese dos pesos da referida variável.

Os Argissolos, classe de maior abrangência da bacia, apresentam peso 4. São solos que se caracterizam por apresentarem gradiente textural com nítida separação entre horizontes quanto à cor, estrutura e textura. Estes solos, apesar de susceptíveis a erosão em relevo movimentado, quando localizados em relevo plano ou suavemente ondulado, podem ser usados para diversas culturas, desde que sejam feitas correção da acidez e adubação, principalmente quando se tratar de solos distróficos ou álicos (Embrapa, 2013).

Os Nitossolos são caracterizados por serem solos profundos e bem drenados, porém apresentam como principais limitações a baixa saturação de bases e, no caso de relevo ondulado, a susceptibilidade à erosão e a presença de pedregosidade e rochosidade. Os Neossolos são solos pouco evoluídos constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Em áreas de relevo suave ondulado e ondulado, estes solos podem ser utilizados para pastagens permanentes e nas regiões de relevo forte ondulado para reflorestamento e fruticultura (Embrapa, 2013).

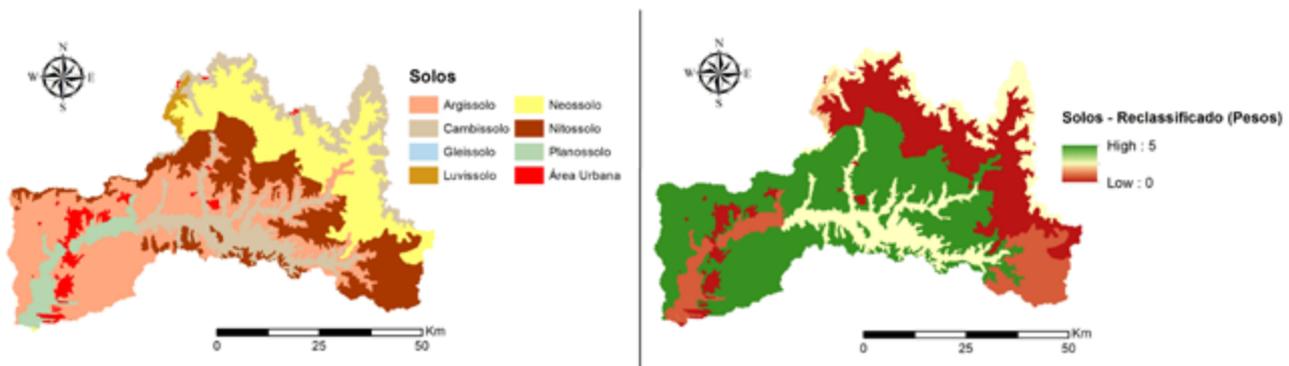


Figura 2 Mapa de solos da bacia do Rio dos Sinos (Original e Reclassificado).

Zoneamento do Potencial de Uso Conservacionista na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos - RS

José Nunes de Aquino; Hugo Henrique Cardoso de Salís; Samuel Gameiro; Marco Antonio de Oliveira; Grazieli Rodigheri; Alan Pereira da Silva Falcão Mendes & Giuliana Andréia Sfredo

No que diz respeito à variável geologia, a bacia apresenta oito tipos litológicos representados por: i. Areia, Areia arcoseana; ii. Areia, Cascalho, Sedimento elúvio-coluvionar, Laterita; iii. Arenito fino, Folhelho; iv. Arenito fino, Quartzo arenito; v. Argilito, Argilito síltico, Siltito; vi. Basalto, Latito; vii. Riodacito, Quartzo latito; viii. Turfa (Figura 3 e Tabela 2). As classes de Basaltos, Latito e Arenito Fino, Quartzo Arenito são as que predominam na região, ocupando 53% da área total, somadas.

Os pesos atribuídos variam de 1 a 3,4. Observa-se na Tabela 2 que a classe de Arenito Fino, Quartzo

Arenito apresenta um peso baixo, o que decorre da baixa susceptibilidade à denudação e baixa fertilidade natural dessas litologias, implicando em baixo potencial ao uso. Diferentemente do Basalto, Latito, que possui alta resistência à denudação e média fertilidade natural.

O relevo na bacia do rio dos Sinos apresenta-se predominantemente como Moderadamente Ondulado a Ondulado, ocupando 35% da área total da bacia. As classes de relevo Plano e Suavemente Ondulado, somadas, ocupam aproximadamente 50% da área total da bacia, como é possível observar na Figura 4 e Tabela 3.

SOLOS	Área na Bacia		Peso
	Hectare (ha)	(%)	
Área Urbana	10.010,8	2,55	0
Argissolo	113.614	28,89	4
Cambissolo	69.144,8	17,58	2,6
Gleissolo	35,4	0,01	2
Luvissolo	3.029,09	0,77	2,3
Neossolo	77.558,7	19,72	1,2
Nitossolo	78.609,5	19,99	5
Planossolo	41.298,4	10,50	1,6

Tabela 1 Pesos e área ocupada por cada classe de solo presente na bacia do rio dos Sinos (Adaptado de Costa *et al.*, 2017a).

LITOLOGIA	Área na Bacia		Peso
	Hectare (ha)	(%)	
Areia, Areia arcoseana	35612,7	9,64	1,4
Areia, Cascalho, Sedimento elúvio-coluvionar, Laterita	48899,2	13,24	1,3
Arenito fino, Folhelho	26312,1	7,12	1,4
Arenito fino, Quartzo arenito	56573,8	15,31	1,1
Argilito, Argilito síltico, Siltito	10015,9	2,71	1,6
Basalto, Latito	139566	37,78	3,4
Riodacito, Quartzo latito	48984,4	13,26	1,5
Turfa	917,911	0,25	1,0
Sem Classificação	2544,54	0,69	0,0

Tabela 2 Pesos e área ocupada por cada classe litológica presente na bacia do rio dos Sinos (Adaptado de Costa *et al.*, 2017a).

DECLIVIDADE	Área na Bacia		Peso
	Hectare (ha)	(%)	
Montanhoso à Escarpado (> 45%)	1.110,87	0,30	1
Forte Ondulado (20% - 45%)	5.6496,33	15,30	2
Moderadamente Ondulado ou Ondulado (8% - 20%)	129.681,2	35,11	3
Suavemente Ondulado (3% - 8%)	83.495,46	22,60	4
Plano (0% - 3%)	98.587,03	26,69	5

Tabela 3 Pesos e área ocupada por cada classe de declividade presente na bacia do rio dos Sinos (Adaptado de Costa *et al.*, 2017a).

Zoneamento do Potencial de Uso Conservacionista na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos - RS

José Nunes de Aquino; Hugo Henrique Cardoso de Salís; Samuel Gameiro; Marco Antonio de Oliveira; Grazieli Rodigheri; Alan Pereira da Silva Falcão Mendes & Giuliana Andréia Sfredo



Figura 3 Mapa litológico da bacia do Rio dos Sinos (Original e Reclassificado).

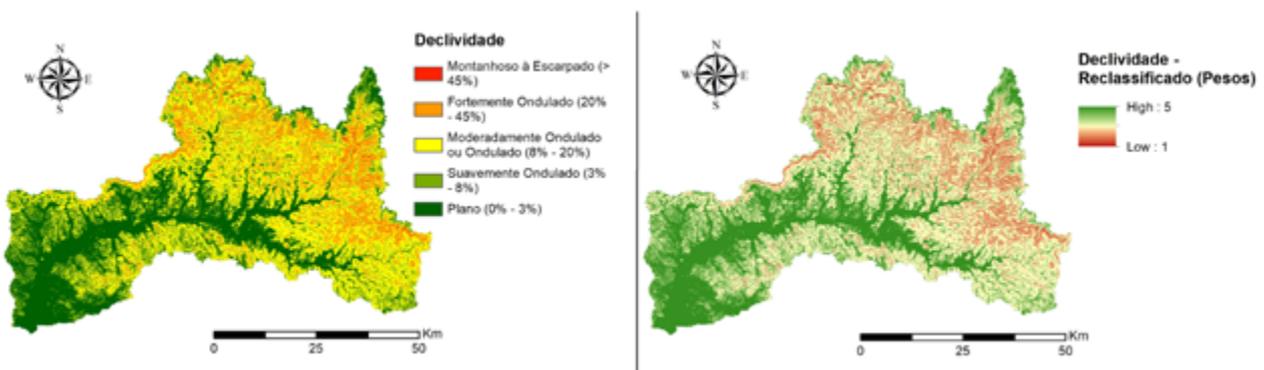


Figura 4 Mapa de declividade da bacia do Rio dos Sinos (Original e Reclassificado).

As áreas com relevo Plano a Suave Ondulado são as com maior PUC, devido a facilidade para o trânsito de maquinários e implementos agrícolas, maior resistência a processos erosivos e favorabilidade para recarga de aquíferos.

A terceira etapa foi realizada em três passos principais: i) Obtenção de valores de ponderação para as variáveis solo, declividade e geologia; ii) Cálculo da álgebra de mapas; e iii) divisão das classes de PUC

De acordo com Costa *et al.* (2017a), para obtenção de valores de ponderação para as variáveis solo, declividade e geologia utilizou-se a AHP (Saaty, 2000), comparando as variáveis par a par em uma matriz e determinando sua relevância para a ocorrência do PUC e o índice de consistência da análise. De acordo com Saaty (1991) entende-se por índice de consistência o valor resultante do cálculo das inconsistências derivadas do julgamento de valor entre os elementos comparados na análise, admitindo uma inconsistência máxima de 0.1 (10%).

Nesse sentido, os valores de ponderação obtidos foram 0,5 para declividade, 0,39 para solos, e 0,11 para geologia, com um índice de consistência obtido de 0,05. Com os valores de ponderação adotados, realizou-se a combinação ponderada dos mapas, utilizando-se álgebra de

mapas e determinou-se o PUC do solo, conforme equação 1 descrita abaixo, proposta por Costa *et al.* (2017.):

$$PUC: \Sigma [(S_i \times P_s) + (L_i \times P_l) + (D_i \times P_d)] \quad (1)$$

Onde:

PUC: Potencial de Uso Conservacionista; *S_i*: Solo da Classe “i”; *L_i*: Litologia da classe “i”; *D_i*: Declividade da classe “i”; *P_s*: peso relativo dos solos: 0,39 *P_l*: peso relativo da litologia: 0,11 *P_d*: peso relativo da declividade: 0,50

Aplicada à equação, observou-se que o intervalo de amplitude do PUC pode variar de 1,12 a 4,82 (adimensional). Na terceira etapa, definiram-se cinco classes de potenciais de uso. Para tal, os valores mínimos (1,12) e máximos (4,82) foram divididos em cinco classes de intervalos iguais e a cada uma foi atribuída uma cor padrão para sua respectiva distinção visual no mapeamento.

A quarta e última etapa consiste na elaboração de um mapa de uso e cobertura da terra a partir de dados extraído da plataforma do Projeto MapBiomass (2016) e em seguida a construção de uma matriz, a partir do cruzamento do P. U. C. com o uso do solo na bacia do rio dos Sinos, revelando como as classes de uso estão especializadas sobre os diferentes níveis de PUC na referida bacia.

3 Resultados e Discussão

3.1 Potencial de Uso Conservacionista (PUC) na Bacia do Rio dos Sinos - RS

A partir da metodologia aplicada, foi possível zonar o PUC na bacia hidrográfica do rio dos Sinos em 5 níveis de potencialidade: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto. A Figura 5 apresenta o mapa resultante da interação entre as variáveis: solo, litologia e declividade.

É possível observar que as regiões de que apresentaram valores de PUC Muito Baixo (entre 1,12 e 1,86) e Baixo (entre 1,87 e 2,60) estão localizadas no curso superior da bacia, onde se encontram as nascentes dos rios Paranhana, Rolante e do próprio rio dos Sinos, no município de Caara-RS. As classes de Médio (2,61 - 3,34), Alto (3,35 - 4,08) e Muito Alto (4,09 - 4,82) se apresentam ao longo de toda a bacia, principalmente no médio e baixo curso, devido à ocorrência de relevos que variam de plano à suave ondulado.

A Tabela 4 apresenta uma síntese dos resultados do zoneamento do PUC na bacia do rio dos Sinos, mostrando

a amplitude espacial e a porcentagem de ocupação de cada classe na área da bacia.

As regiões que apresentaram PUC Muito baixo ocupam 3,16% da área total da bacia e são caracterizadas principalmente pela acentuada declividade, com feições de relevo que variam de Forte Ondulado à Montanhoso/Escarpado (Figura 6A). Os solos predominantes na região de PUC Muito Baixo são os Neossolos. A litologia destas regiões é predominantemente formada por Basalto, Latito, Riodacito e Quartzito Latito.

Devido à sua acentuada declividade e as características naturais do solo, estas áreas são inviáveis para práticas agrícolas intensivas. O potencial de recarga hídrica também fica limitado nessas condições, tendo em vista a alta velocidade de escoamento da precipitação, que por sua vez, diminui a infiltração da água no solo.

As regiões que apresentaram PUC Baixo ocupam 22,97% da área total da bacia, são caracterizadas principalmente por declividades que não ultrapassam os 20%, com feições de relevo que variam de Moderadamente Ondulado à Ondulado (Figura 6B). Os solos predominantes

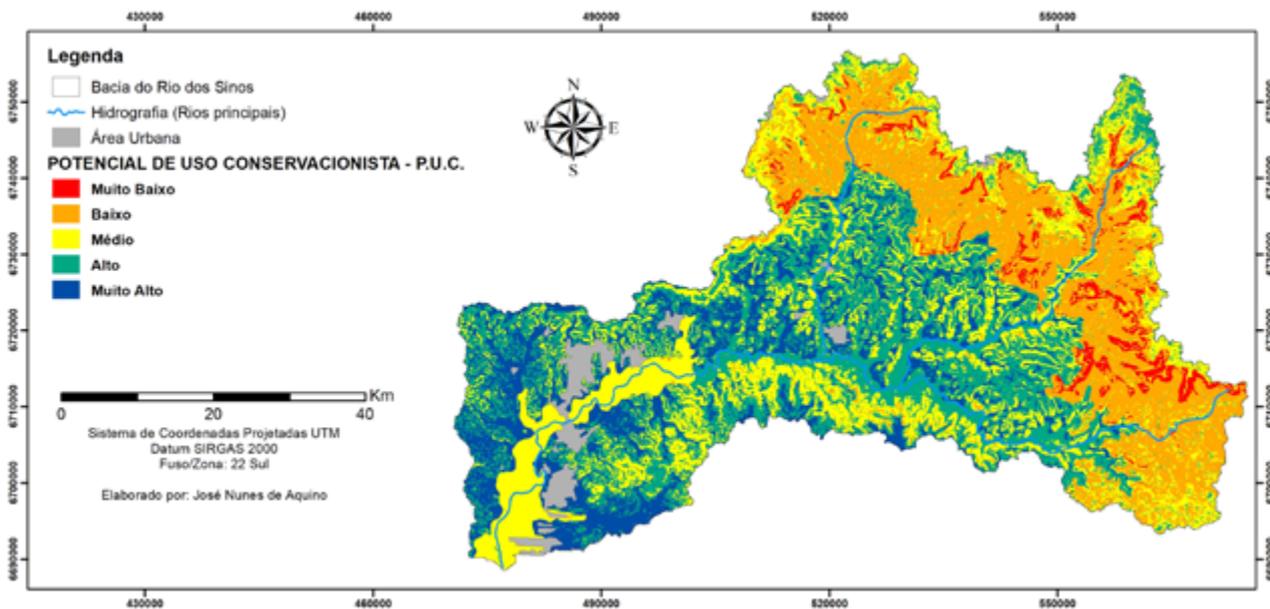


Figura 5 Mapa do Potencial de Uso Conservacionista da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos.

Classes PUC	Intervalo	Área	
		Hectare	%
Muito Baixo	1,12 - 1,86	11.660,10	3,16
Baixo	1,87 - 2,60	84.676,50	22,97
Médio	2,61 - 3,34	108.396,00	29,40
Alto	3,35 - 4,08	110.825,00	30,06
Muito Alto	4,09 - 4,82	53.126,60	14,41

Tabela 4 Quadro de áreas do PUC na bacia do rio dos Sinos.

Zoneamento do Potencial de Uso Conservacionista na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos - RS

José Nunes de Aquino; Hugo Henrique Cardoso de Salís; Samuel Gameiro; Marco Antonio de Oliveira; Grazieli Rodigheri; Alan Pereira da Silva Falcão Mendes & Giuliana Andréia Sfredo

nestas regiões são os Neossolos e os Nitossolos. A litologia destas regiões é predominantemente formada por Basalto, Latito, Riodacito e Quartzo Latito. Assim como nas áreas de PUC Muito Baixo, as características ambientais, principalmente o relevo declivoso em algumas áreas, limitam o uso desta região para práticas agrícolas, principalmente nas áreas de ocorrência do Neossolo, devido à sua baixa resistência a processos erosivos.

As regiões que apresentaram PUC **Médio** ocupam 29,40% da área total da bacia e ocorrem em toda a extensão da bacia, mas principalmente no seu baixo curso, onde as declividades não ultrapassam os 3%, com feições de relevo predominantemente Planas (Figura 6C). Os solos predominantes nestas regiões são os Planossolos e os Cambissolos. A litologia destas regiões é predominantemente formada por Areia Arcoseana, Arenito Fino e Quartzo Arenito. O potencial de uso agrícola dos Planossolos está relacionado ao ambiente de ocorrência, principalmente aos relevos plano e suave ondulado. No caso da bacia dos Sinos, estes solos ocorrem em relevo plano. De acordo com Embrapa (2013) os Planossolos do tipo hidromórficos são utilizados principalmente para cultura irrigada de arroz. As limitações ou restrições estão relacionadas à permeabilidade lenta ou muito lenta, normalmente adensados devido ao acúmulo de argila em sua superfície.

As regiões que apresentaram PUC Alto ocupam 30,06% da área total da bacia e, assim como o PUC Médio, ocorrem em toda a extensão da bacia, principalmente no seu médio curso, nas fozes dos Rios Paranhana e Rolante, onde as declividades que não ultrapassam os 8%, com feições de relevo que variam de Planas a Suave onduladas (Figura 6D). Os solos predominantes nestas regiões são os Nitossolos e os Cambissolos. A litologia destas regiões é predominantemente formada por Areia Arcoseana.

As áreas indicadas como PUC Alto, tratam-se de áreas onde o potencial de recarga de aquífero se torna favorável, devido à menor velocidade do escoamento superficial, o que permite a infiltração de água nos solos, que, por sua vez, são bem drenados. As características do relevo e dos solos da região também lhe conferem uma maior estabilidade no que diz respeito a resistência a processos erosivos. Nesse sentido, a destinação destas áreas para usos agrícolas se torna viável, desde que observadas práticas de manejo e conservação do solo e a legislação vigente, além de ser viável à destinação de áreas de preservação de recursos naturais e prestação de serviços ambientais.

As regiões que apresentaram PUC Muito Alto ocupam 14,41% da área total da bacia e ocorrem em regiões do médio e baixo curso, onde as declividades não ultrapassam

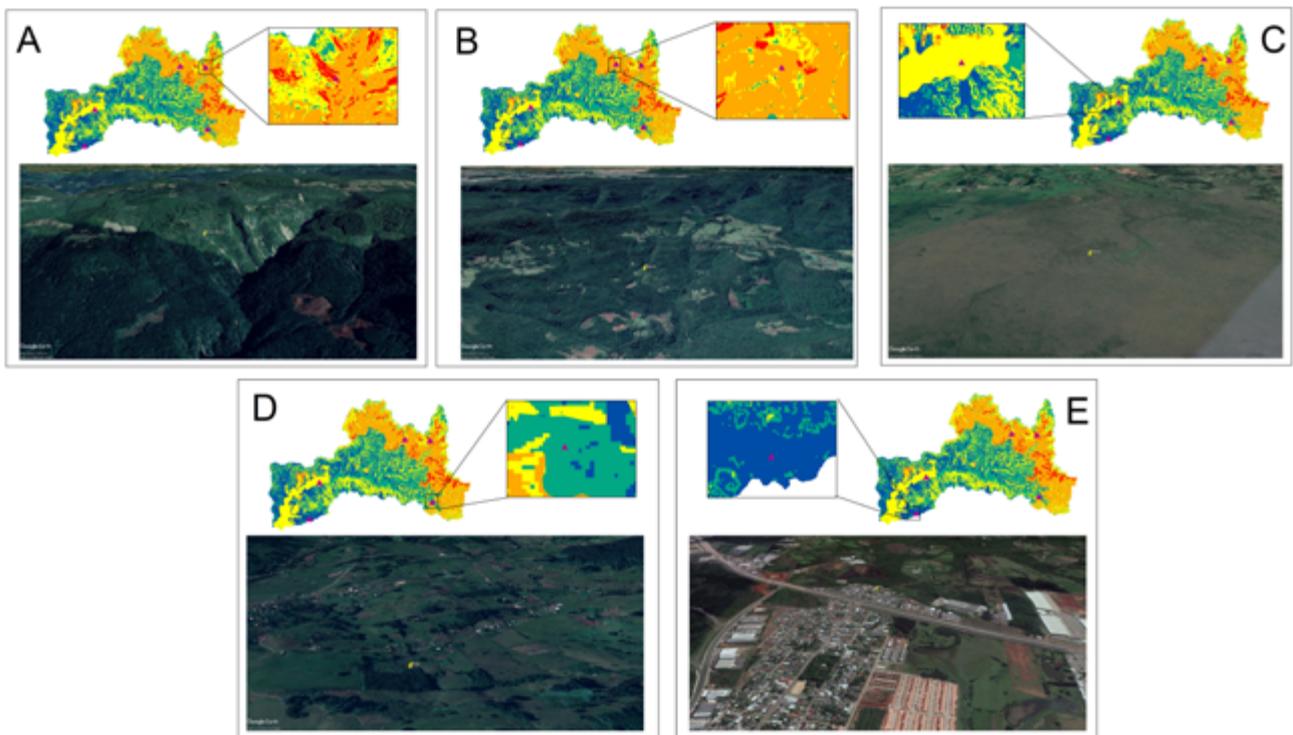


Figura 6A. Região de PUC Muito Baixo próxima ao rio Rolante, tributário do rio dos Sinos; B. Região de PUC Baixo no município de São Francisco de Paula; C. Região de PUC Médio no baixo curso do rio dos Sinos; D. Região de PUC Alto no médio curso do rio dos Sinos; E. Região de PUC Muito Alto no baixo curso do rio dos Sinos (Google Earth Pro, 2018).

Zoneamento do Potencial de Uso Conservacionista na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos - RS

José Nunes de Aquino; Hugo Henrique Cardoso de Salis; Samuel Gameiro; Marco Antonio de Oliveira; Grazieli Rodigheri; Alan Pereira da Silva Falcão Mendes & Giuliana Andréia Sfredo

os 3%, com feições de relevo predominantemente planas (Figura 6E). Os solos predominantes nestas regiões são os Argissolos, enquanto que a litologia do local é predominantemente formada por Areia, Cascalho, Sedimento elúvio-coluvionar e Laterita.

As características de relevo predominantemente plano e a ocorrência de solos profundos, bem desenvolvidos e com alto potencial agrícola (Argissolo) conferem a essas regiões um potencial de uso conservacionista Muito Alto, pois favorecem um potencial de recarga hídrica maior devido à baixa velocidade de escoamento da precipitação. Além disso, estas regiões são propícias para a instalação de empreendimentos agrícolas devido a facilidade de trânsito de maquinário e implementos agrícolas.

3.2 Uso do Solo x PUC na Bacia do Rio dos Sinos

O mapa de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio dos Sinos (Figura 7) foi elaborado a partir de dados do Projeto MapBiomias (2016), que por sua vez utilizou produtos dos sensores a bordo do *Landsat 8* para mapear o uso e cobertura do solo nos biomas brasileiros.

Foram mapeadas 12 classes de uso e cobertura do solo, sendo as classes de Floresta Densa e Agricultura ou Pastagem as predominantes, ocupando 55% e 36% da área total da bacia, respectivamente (Tabela 5).

Na Tabela 6 é apresentada a Matriz de Potencial de Uso Conservacionista (Matriz PUC), onde é exibido o

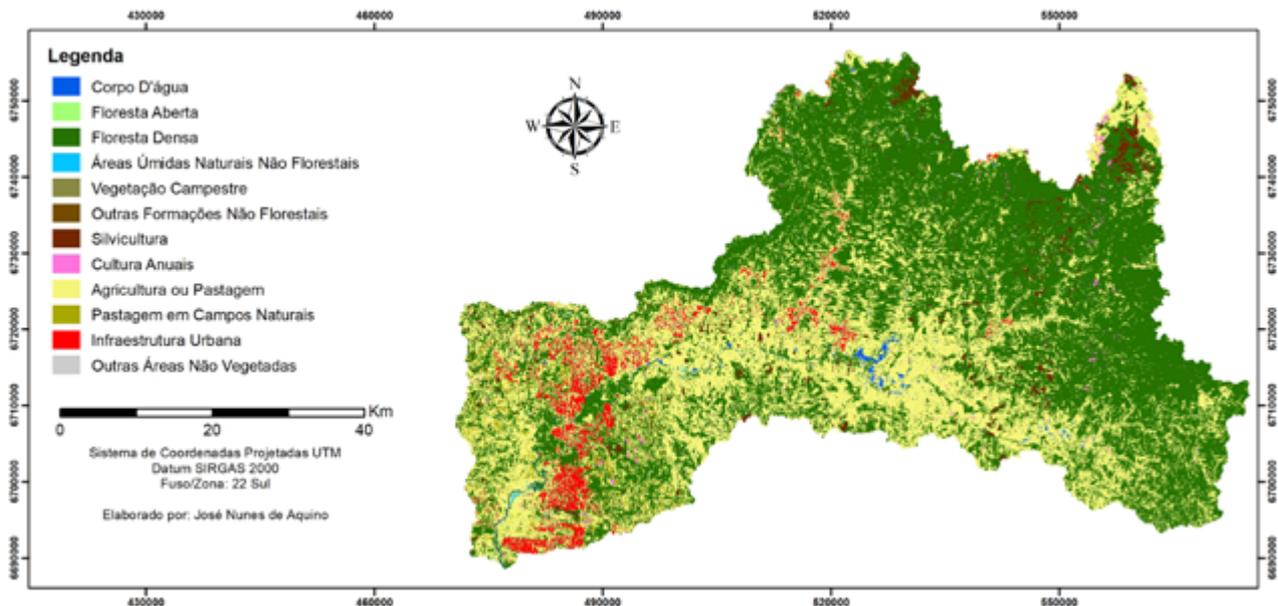


Figura 7 Mapa de uso e cobertura do solo da Bacia do rio dos Sinos (Projeto MapBiomias, 2016).

Classe de Uso	Área	
	Hectare	%
Agricultura ou Pastagem	136.214,35	36,96
Áreas Úmidas Naturais Não Florestais	528,73	0,14
Corpos D'água	1.874,52	0,51
Culturas Anuais	1.579,52	0,43
Floresta Aberta	417,03	0,11
Floresta Densa	203.286,30	55,15
Infraestrutura Urbana	12.512,30	3,39
Não observado	992,60	0,27
Outras Áreas não vegetadas	194,12	0,05
Outras formações Não Florestais	0,70	0,00
Pastagem em Campos Naturais	3.041,75	0,83
Silvicultura	6.592,61	1,79
Vegetação Campestre (campos)	1.338,53	0,36

Tabela 5 Quadro de áreas do mapa de uso e cobertura do solo da Bacia do rio dos Sinos.

Zoneamento do Potencial de Uso Conservacionista na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos - RS

José Nunes de Aquino; Hugo Henrique Cardoso de Salis; Samuel Gameiro; Marco Antonio de Oliveira; Grazieli Rodigheri; Alan Pereira da Silva Falcão Mendes & Giuliana Andréia Sfredo

Classes de Uso e Cobertura do Solo	Classes – Potencial de Uso Conservacionista (PUC) (%)				
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Agricultura ou Pastagem	5,69	17,67	37,50	48,69	55,24
Áreas Úmidas Naturais Não florestais	0,02	0,08	0,24	0,12	0,16
Corpos D'água	0,02	0,03	0,44	0,97	0,59
Culturas Anuais	1,15	0,25	0,30	0,49	0,26
Floresta Aberta	0,00	0,07	0,11	0,16	0,15
Floresta Densa	90,88	78,49	53,00	43,66	31,93
Infraestrutura Urbana	0,40	1,38	4,91	2,22	7,11
Não observado	0,60	0,20	0,18	0,30	0,25
Outras Áreas não vegetadas	0,00	0,02	0,07	0,05	0,11
Outras formações não florestais	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pastagem em Campos Naturais	0,00	0,01	0,73	0,99	2,17
Silvicultura	1,18	1,73	2,05	2,05	1,21
Vegetação Campestre (campos)	0,05	0,06	0,47	0,31	0,82

Tabela 6 Matriz PUC

percentual de área ocupada por cada uso e cobertura do solo em cada classe de potencial de uso conservacionista da bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

É possível observar na Matriz PUC que a classe de uso e cobertura do solo que predomina nos níveis Muito Baixo, Baixo e Médio do PUC é a de Floresta Densa. Já a classe de uso de Agricultura ou Pastagem ocupa maior parcela de áreas nos níveis de PUC Alto e Muito Alto.

A Matriz PUC, numa visão geral, apresenta a bacia do rio dos Sinos com um grau elevado de uso conservacionista, uma vez que as áreas de PUC Muito Baixo encontram-se majoritariamente preservadas por densas florestas e que as áreas de PUC Muito Alto estão ocupadas, principalmente, por atividades agrícolas e de pastoreio, respeitando assim a finalidade para qual se destinam.

Porém, ainda se faz necessário um trabalho de identificação e separação das Pastagens Naturais e Pastagens Degradadas, para que sejam tomadas medidas no tocante à recuperação dessas áreas degradadas e seu posterior uso conservacionista.

4 Considerações Finais

As informações obtidas a partir da aplicação do método de zoneamento do PUC se mostraram extremamente valiosas como subsídio às ações que precisam ser tomadas para uma melhor adequação do uso do solo na bacia do rio dos Sinos. Este método se destaca de forma inovadora

no que diz respeito aos métodos de gestão territorial em bacias hidrográficas.

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos apresenta um grau de conservação do uso do solo relativamente elevado nas regiões do alto curso, com florestas e vegetação preservadas, no entanto, o processo de degradação que ocorre ao longo do médio e baixo curso, seja com o despejo de efluentes industriais fora dos padrões estabelecidos pelas normas ou com o uso agrícola intensivo e práticas de manejo do solo inadequadas, se apresentam como o maior desafio a ser enfrentado na gestão deste território. O zoneamento do PUC evidenciou que as áreas do médio e baixo curso são as que possuem os mais altos níveis de potencial para uso conservacionista, como de fato são, porém se faz necessário a elaboração de um conjunto de ações que incentivem o uso sustentável destas regiões.

É importante salientar que o uso de geotecnologias nas mais diversas áreas do conhecimento têm experimentado um constante crescimento nas últimas décadas. No entanto, a carência de um banco de dados geoespaciais em escala adequada, acaba por limitar a acurácia dos resultados obtidos.

Portanto, a utilização de bases geoespaciais de solos, litologia e declividade, combinado com um intenso trabalho de campo para reconhecimento da área e coleta de dados *in situ*, tem o potencial de melhorar os resultados apresentados no presente artigo.

Zoneamento do Potencial de Uso Conservacionista na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos - RS

José Nunes de Aquino; Hugo Henrique Cardoso de Salis; Samuel Gameiro; Marco Antonio de Oliveira; Grazieli Rodigheri; Alan Pereira da Silva Falcão Mendes & Giuliana Andréia Sfredo

5 Referências

- COMITESINOS. 2018. Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. Caracterização da Bacia do Rio dos Sinos. Disponível em: <<http://www.comitesinos.com.br/bacia-hidrografica-do-rio-dos-sinos>>. Acesso em: 30 jul 2018.
- Costa, A.M.; Viana, J.H.M.; Evangelista, L.P.; Carvalho, D.C.; Pedras, K.C.; Horta, I.M.; Salis, H.H.C.; Rocha, M.P.P. & Sampaio, J.L.D. 2017a. Ponderação de variáveis ambientais para a determinação do Potencial de Uso Conservacionista para o estado de Minas Gerais. *Geografias*, 14 (1):118-134.
- Costa, A.M.; Salis, H.H.C.; Viana, J.H.M.; Aquino, J.N. & Rocha, M.P.P. 2017b. Zoneamento ambiental e produtivo: uso da modelagem para identificação e potencialidades e limitações no uso do solo. *Informe Agropecuário*, 38(300): 81-91.
- CPRM. 2010. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul: [Porto Alegre]. Escala: 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.
- EMBRAPA. 1979. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10a. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 83p.
- EMBRAPA. 2013. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Agência Embrapa de Tecnologia da Informação - AGEITEC. Árvore do Conhecimento: Solos Tropicais. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/Abertura.html>. Acesso: 02 ago 2018
- ESRI. 2016. Environmental Systems Research Institute. 2016. Programa de computador. ArcGIS (versão 10.5), Estados Unidos.
- FEPAM. 2018. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler. 2018. Biblioteca Digital da FEPAM: Arquivos digitais para uso em SIG - base cartográfica digital do RS 1:250.000. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp>. Acesso: 28 jun 2018.
- Figueiredo, J.A.S.; Drumm, E.; Rodrigues, M.A.S. & Spilki, F.R. 2010. The Rio dos Sinos watershed: an economic and social space and its interface with environmental status. *Brazilian Journal of Biology*, 70(4): 131-1136. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1519-69842010000600001>.
- GOOGLE EARTH PRO. 2018. Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: 01 ago 2018.
- Hupffer, H.M.; Ashton, M.S.G. & Naime, R.A. 2012. Sustentabilidade em crise no Rio dos Sinos, RS: o sistema jurídico brasileiro e as possibilidades de turismo sustentável. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 26: 1-12.
- MICROSOFT. 2013. Programa de computador. Excel (versão 15), Estados Unidos.
- MINAS GERAIS. 2016. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais – SEMAD e Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais – SEAPA. Metodologia para elaboração do Zoneamento Ambiental Produtivo: ZAP de sub-bacias hidrográficas. Minas Gerais.
- Projeto MapBiomias. 2016 – Coleção 2 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Acessado em 20 jul 2018 através do link: <http://mapbiomas.org>
- Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.Á.; Lumberas, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.; Cunha, T.J.F. & Oliveira, J.B. 2013. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. – 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa.
- Saaty, T.L. 1991. *Método de Análise Hierárquica*. São Paulo, Makron Books, 367 p.
- Saaty, T.L. 2000. Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. *RWS Publications*, Pittsburg, USA.
- Vanacôr, R.N. 2006. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CEPARM, Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 132p.
- USGS. 2018. United States Geological Survey. Earth Explorer. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em 26 Fev. 2018.