

Capítulo 4

Geoprocessamento de Dados Espaciais para a Análise de Áreas com Potencial Agrícola no Município de Dona Francisca – RS

DOI: <http://dx.doi.org/10.18616/geop04>

Roberta Aparecida Fantinel

Ana Caroline Paim Benedetti

VOLTAR AO SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da informática permitiu que os dados, que eram guardados em documentos e em mapas de papel, passassem a ser armazenados e representados em ambientes computacionais, surgindo, assim, o desenvolvimento da tecnologia de processamento de dados geográficos denominado Geoprocessamento (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

O geoprocessamento como ferramenta de avaliação e planejamento vem sofrendo incremento, tanto no meio público como no setor privado, abrangendo desde a identificação de locais próprios à implantação de diferentes empreendimentos, análise de suscetibilidade a inundações (PRINA, 2015) deslizamentos (GUERRA, 2011), avaliação de impactos ambientais, conflito de utilização de território, criação de cenários prospectivos, zoneamentos territoriais para diferentes finalidades (MEIRELLES; CÂMARA; ALEIDA, 2007), análises de viabilidade ou planejamento agrícola (ASSAD; SANO, 1998). Jensen (2009), Lillesand e Kiefer (2000) destacam que a utilização do geoprocessamento para o mapeamento de ambientes terrestres é uma das aplicações mais antigas, sendo utilizada como subsídio para diversos estudos, como os de monitoramento e de estimativas.

O geoprocessamento consiste em uma ferramenta eficaz na precisão, confiabilidade e velocidade na geração de dados relativos à avaliação ambiental, permitindo a modelagem da realidade ambiental e tornando viável a manipulação de grande volume de dados, o seu tratamento e a disponibilização rápida de um universo de informações (SILVA; ZAIDAN, 2010).

Desse modo, Veiga e Silva (2004, p. 189) ressaltam que,

O geoprocessamento muda a forma de coletar, utilizar e disseminar a informação, possibilitando o acompanhamento, monitoria do desenvolvimento ou da implantação dos planos de desenvolvimento, por meios diversos, desde imagens de satélite até mapas interativos que permitem medir a espacialização da extensão dos efei-

tos das políticas e ações de desenvolvimento do espaço em questão em tempo real.

Ainda de acordo com Veiga e Silva (2004, p. 188), o geoprocessamento possibilita a “[...] espacialização da informação, maior acessibilidade, precisão e velocidade na obtenção e no processamento de dados necessários às análises”.

Para Piroli (2010), o geoprocessamento pode ser entendido também como um ramo da ciência que estuda o processamento de informações georreferenciadas, em que são utilizados aplicativos, equipamentos (computadores e periféricos), dados de diversas fontes e profissionais especializados.

As atividades que envolvem o geoprocessamento de dados são desenvolvidas por sistemas específicos, identificados como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) ou *Geographic Information System (GIS)*. O SIG configura-se como *softwares* capazes de agrupar e vincular objetos gráficos a estruturas de um banco de dados, permitindo a realização de inúmeras análises espaciais e geoambientais. Os SIG’s possibilitam coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre um mundo real para um objetivo específico, permitindo diversas associações entre as componentes de localização espacial e atributos geográficos (BURROUGH; MCDONNELL; LLOYD, 1998).

Rosa (2011) ressalta que o SIG é um conjunto de ferramentas computacionais, composto de equipamentos e programas que permitem a análise envolvendo dados espaciais e não espaciais sobre o espaço. As principais aplicações dos SIG para Câmara e Medeiros (1998) são a produção de mapas com base em análise espacial de fenômenos e como um banco de dados geográficos com funções de armazenamento e recuperação da informação espacial.

De acordo com Moreira (2003), o SIG é capaz de representar graficamente informações de natureza espacial; as informações gráficas sob a forma de vetores (pontos, linhas e polígonos) e/ou imagens digitais (matri-

zes de *pixels*); informações com base em critérios alfanuméricos; realizar operações de aritmética de polígonos, como união, interseção e diferença, bem como gerar polígonos paralelos (*buffers*) ao redor de elementos ponto, linha e polígono; limitar o acesso e controlar a entrada de dados por meio de um modelo de dados anteriormente construído; oferecer recursos para a visualização dos dados geográficos na tela do computador, utilizando uma variedade de cores; interagir com o usuário através de uma interface gráfica; recuperar as informações geográficas de forma rápida; possibilitar a importação e a exportação de dados; oferecer recursos para a composição de saídas e a geração de resultados sob a forma de mapas, gráficos e tabelas; oferecer recursos para o desenvolvimento de aplicativos específicos, de acordo com a necessidade do usuário.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o geoprocessamento podem fornecer diversas informações sobre o uso e a cobertura da terra, identificar as regiões com potencial equilíbrio ou desequilíbrio ambiental, auxiliando, assim, na tomada de decisão quanto às estratégias de planejamento e gestão de recursos naturais. Além disso, os SIG constituem uma eficiente forma de armazenamento e atualização dos dados ambientais a serem trabalhados, além de propiciar a análise de situações reais ou hipotéticas. Eles permitem a substituição direta de qualquer dado registrado e podem agregar os dados previamente cartografados, dados estatísticos e dados teledetectados, tornando-se possível avaliar situações ambientais naturais e socioeconômicas do ambiente (SILVA, 2007).

As técnicas de geoprocessamento empregadas para as análises em um SIG permitem, por exemplo, a definição do potencial de determinada área para uma ou mais atividades e a combinação desse potencial com outras características dessas áreas para maior refinamento do estudo (VEIGA; SILVA, 2004).

Os produtos vinculados às geotecnologias são essenciais para obter e atualizar continuamente os registros de uso e cobertura do solo, uma vez que tornam possível obter mapas temáticos e a quantificação de áreas, como, por exemplo, florestas (nativas e exóticas), campo (vegetação nativa

composta de gramíneas), água (compreendem açudes, barragens, canais fluviais e, em alguns casos, áreas cobertas com água para o cultivo do arroz), solo exposto (áreas com atividades agrícolas e em pousio), bem como outras formas de utilização que auxiliam no planejamento ambiental.

Dessa forma, o planejamento ambiental é fundamental, pois o uso indiscriminado do solo, sem manejo e planejamento correto, para Soares *et al.* (2010) e Campos *et al.* (2013), torna-o improdutivo, em curto espaço de tempo, com prejuízos irrecuperáveis e sérios danos ao meio ambiente e às populações que dependem diretamente do cultivo dessas terras. O planejamento do uso e do manejo das terras, conforme Pedron *et al.* (2006), é uma prática indispensável para a sustentabilidade da agricultura e a conservação da natureza.

Silveira *et al.* (2015) ressaltam que conhecer as áreas de uso de uma determinada região é essencial, pois possibilita o manejo adequado, além de identificar possíveis problemas acarretados por meio das ações antrópicas sobre essas regiões, tendo relação direta com a conservação e a exploração sustentável dos recursos naturais. Além disso, os mapas de potencialidades agrícolas, quando cruzados e sobrepostos com mapas de uso e cobertura da terra, tipologias de solo, geologia, geomorfologia e declividade, permitem determinar áreas com diferentes níveis de adequação de uso.

Nesse sentido, é possível planejar e manejar o uso das terras, o que é importante no cenário agrícola atual, que busca maior competitividade bem como a conservação dos recursos naturais (SILVA *et al.*, 2008).

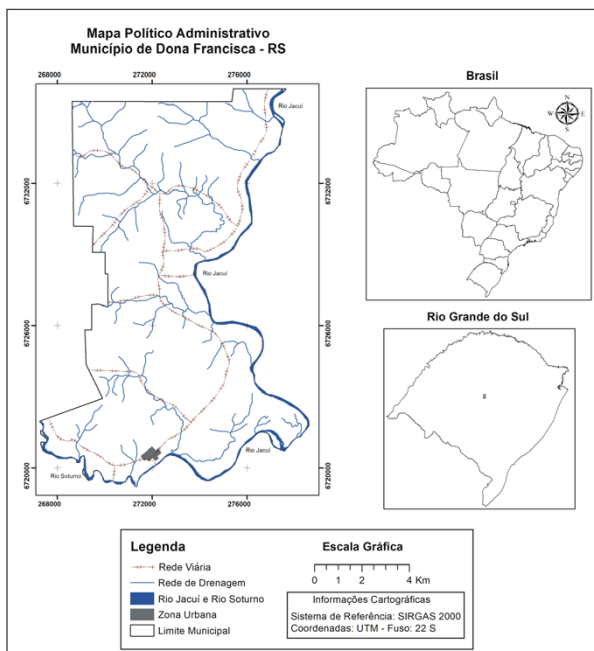
Partindo desse pressuposto, o ambiente SIG torna-se uma ferramenta fundamental para auxiliar na análise de áreas potenciais para as atividades agrícolas, sendo um sistema realístico, semiautomático e não subjetivo. A partir do exposto, o presente trabalho tem como objetivo delimitar por meio de mapeamento áreas com diferentes potencialidades para a prática das atividades agrícolas no município de Dona Francisca, localizado no centro do estado do Rio Grande do Sul.

Caracterização da Área de Estudo

O município de Dona Francisca pertence à região da Quarta Colônia de Imigração Italiana, situada geograficamente na Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul. Limita-se, ao Norte, com Nova Palma; ao Sul, com Restinga Seca; a Oeste, com Faxinal do Soturno; e, a Leste, com Agudo. Está localizado às margens do rio Jacuí, tendo como coordenadas de referência 29° 36' 41" de latitude Sul e 53° 21' 03" de longitude Oeste (Figura 1).

Além da sede, o município possui oito comunidades (Linha Grande, Linha Soturno, Linha do Moinho, Linha Ávila, Linha Dambros, Formoso, Sanga Funda, Trombudo) e quatro vilas (Conjunto Habitacional Gentil Tessele, Vila Mostardeiro, Núcleo Habitacional Recanto e Vila Corsan) (LAGO; FARENZENA, 2008).

Figura 1 - Localização do município de Dona Francisca no estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

Característica Socioeconômica e Aspectos Fisiográficos

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE, 2010), o município tem como área territorial 114,346 Km² e uma população residente de 3.401 habitantes, sendo que a maior parte da população reside na zona urbana, onde vivem 2.146 pessoas, e o restante, 1.255 habitantes, vive na zona rural.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região do estudo é do tipo climático Cfa, subtropical úmido, com temperatura média anual de 22°C e a temperatura média do mês mais frio varia entre -3° C e 18° C. A precipitação média anual do município é de aproximadamente 1.722 mm, sendo que os meses mais quentes são os de dezembro, janeiro e fevereiro, enquanto os mais frios são junho, julho e agosto (ALVARES *et al.*, 2013).

Conforme o Plano Municipal de Saneamento Básico de Dona Francisca (PREFEITURA MUNICIPAL DE DONA FRANCISCA, 2011), os ecossistemas predominantes no município são: Floresta Estacional Decidual, banhados, várzeas e florestas de galeria da Depressão Central.

As Florestas Estacionais Deciduais, para Espírito-Santo *et al.* (2006), são tipicamente decíduas, com perda das folhas superior a 50% na estação seca do ano, cujos índices de deciduidade da floresta podem variar. As florestas de galeria se encontram em rios e córregos de pequeno porte formados por corredores fechados sobre o curso de água; além disso, esse ecossistema pode se conectar a capões-de-mato localizados a meia encosta de colinas ou morrotes vulcânicos (ALVES, 2012).

O ecossistema designado banhados corresponde a áreas alagadas e vegetadas permanente ou temporariamente, possuindo terras cultiváveis. Para Paiva, Paiva e Gastaldini (1998), essas áreas apresentam topografia quase plana, o que não exige práticas especiais para o controle da erosão, permitindo o cultivo intensivo. Os solos de várzeas são formados por planícies de rios, lagoas e lagunas e em função da heterogeneidade do material de origem e dos diferentes graus de hidromorfismo, apresentam grande variação nas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas (PINTO; LAUS NETO; PAULETTO, 2004; AGROLINK..., s.d.).

O relevo do município é caracterizado pela Depressão Central que é formada por acúmulos de sedimentos recentes, resultantes da ação dos rios Jacuí e Soturno, e pelo relevo acidentado que faz parte da Serra Geral, formado por sucessivos derrames basálticos (LAGO; FARENZENA, 2008).

Conforme destaca Favera (2006), o município de Dona Francisca possui uma rede hidrográfica bem distribuída, constituída essencialmente pelos rios Jacuí e Soturno, tendo como principais fins a irrigação, o fornecimento de energia e o abastecimento de água.

O sistema fundiário do município é baseado nas pequenas propriedades rurais. Em áreas de encostas, os produtos agrícolas mais cultivados são o fumo, o milho e o feijão, sendo utilizada a mão de obra familiar e técnicas mais rudimentares. Nas áreas planas, ou seja, nas várzeas ao longo das margens do rio Jacuí, as técnicas de produção agrícolas são mais modernas, utilizando máquinas e equipamentos mais avançados e sofisticados, sendo geralmente executadas por chefes de famílias e alguns empregados e diaristas (VENDRUSCULO, 2010). Nessas áreas, a cultura agrícola predominante é o arroz irrigado, apresentando a maior área plantada e, conseqüentemente, a maior produção em toneladas.

A principal base econômica do município é o arroz irrigado. Essa cultura é voltada ao mercado interno, sendo de grande importância para a economia local, contribuindo também para a arrecadação municipal (FAVERA, 2006). O milho é o segundo em área plantada, sendo utilizado em grande parte pelos próprios agricultores nas propriedades para a pecuária, sendo comercializados apenas os excedentes da produção. O fumo constitui a terceira cultura agrícola em área plantada, porém a segunda em valor comercial. É um produto de grande importância para o município, uma vez que é totalmente voltado para o mercado, gerando grande parte da renda do agricultor. O feijão é cultivado em áreas reduzidas, sendo utilizada a maior parte de sua produção para o consumo próprio (MAZIERO, 2005; IBGE, 2015).

Com relação às atividades no ramo da pecuária, Groff (2016, p. 38) relata que se encontram em “[...] pequenas propriedades rurais, que

possuem como característica o trabalho familiar camponês com uma boa produtividade”.

Elaboração dos Mapas Temáticos

A avaliação geoambiental compreendeu a análise integrada de diferentes mapas temáticos, a fim de subsidiar a obtenção de informações sobre a identificação de áreas com potencial agrícola no município de Dona Francisca, RS.

Os mapas confeccionados se referem às seguintes variáveis: clino-grafia (declividade percentual do solo), geologia, geomorfologia, tipologias de solo (pedologia) e classes de uso e cobertura da terra. Para a elaboração desses mapas temáticos foi criado um banco de dados geográficos no aplicativo *SPRING* versão 5.2.7 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) desenvolvido e disponibilizado gratuitamente pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (CAMARA *et al.*, 1996). Como referencial cartográfico, adotou-se o sistema de projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM) e o *Datum* SIRGAS/2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

O mapa clinográfico foi elaborado com base na imagem referente a um Modelo Digital de Elevação (MDE) *Geotiff* do radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). A carta topográfica SH-22-Y-A em escala 1.250.000 foi adquirida gratuitamente do site do Centro de Sensoriamento Remoto do Serviço Geológico dos Estados Unidos (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2017). O MDE, segundo Florenzano (2008), pode ser gerado a partir de medidas de campo com GPS em modo diferencial, cartas topográficas ou sensoriamento remoto.

Para a geração do mapa clinográfico, foram utilizados dados altimétricos em forma de grade, representada por uma estrutura do tipo vetorial, que caracteriza a superfície do terreno através de um conjunto de faces triangulares interligadas, permitindo, assim, o cálculo das declividades a partir de interpolação espacial. Após, foi realizado o fatiamento da grade de declivida-

des gerada em intervalos determinados conforme a definição das classes de capacidade de uso da terra, adaptados de Ross (1994) e Salomão (1999): 0 a 3% (planas); 3 a 8% (suave ondulado); 8 a 20% (ondulado); 20 a 45% (forte ondulado) e >45% (montanhoso).

As imagens para o mapeamento de uso e cobertura da terra foram obtidas do sensor *Operational Land Imager (OLI)* do satélite *Landsat 8* e adquiridas gratuitamente na página do *site* do *States Geological Survey* (2017), referentes ao dia 20 de novembro de 2017.

No processo de classificação de dados digitais, os elementos presentes na superfície terrestre são conhecidos como classes temáticas. Para esse mapeamento, foram estabelecidas cinco classes temáticas a serem identificadas visualmente na imagem para a execução da classificação digital supervisionada, sendo elas: “Lâmina d’água” – compreende açudes, barragens e canais fluviais, podendo aparecer também, em alguns casos, áreas cobertas com água para o cultivo do arroz; “Campo” – vegetação nativa composta de gramíneas; “Solo exposto” – áreas de terra preparadas para o cultivo ou em pousio, áreas de voçorocas e ravinas provocadas por processos erosivos e ainda afloramento de rochas; e “Floresta” – formações florísticas nativas em estágio inicial, médio e/ou avançado de regeneração de porte arbóreo, nas quais as florestas nativas são as de ocorrência natural, localizadas geralmente nas áreas de encosta, fragmentos e ao longo da rede de drenagem. Também foram consideradas nessa mesma classe as florestas plantadas.

Para a identificação dos alvos naturais e a obtenção das amostras para a fase de treinamento da classificação supervisionada, foram elaboradas as seguintes composições coloridas *RGB (Red, Green e Blue)*, a partir das bandas espectrais, conforme a *DGI (INPE, 2017)*: Bandas 1, 2 e 3: imagens em “cor natural”, com boa penetração na água, realçando as correntes, a turbidez e os sedimentos. A vegetação aparece na tonalidade esverdeada, enquanto o solo exposto aparece na tonalidade bege. Bandas 3, 4 e 5: definem melhor os limites entre o solo e a água; demonstram as diferenças na vegetação (plantada ou nativa) que aparece em tonalidades de vermelho. Bandas 4, 5 e 6:

mostram mais claramente os limites entre o solo e a água, com a vegetação mais discriminada, aparecendo em tonalidades de verde e rosa.

A classificação digital foi feita por meio do algoritmo *MAXVER* (Máxima Verossimilhança), o qual permitiu ao operador identificar e fornecer ao sistema etapas de treinamento (coletas) das amostras representativas para cada classe. A classificação supervisionada detectou tipos específicos de cobertura da terra já conhecidas (EASTMAN, 1998).

O mapeamento da geologia e da geomorfologia foi elaborado a partir dos arquivos vetoriais fornecidos no formato *shapefile* pelo CPRM (2017b) e IBGE (2011), na escala de 1:750.000 e 1:250.000, respectivamente.

O mapa das tipologias do solo foi elaborado pela aquisição dos arquivos vetoriais, também no formato *shapefile*, disponibilizados pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias em escala 1:5.000.000 (EMBRAPA, 2012). Posteriormente, foram importados no banco de dados e selecionados os polígonos referentes à área de abrangência do estudo. Os mapas da tipologia do solo, geologia e geomorfologia foram confeccionados no *software* QGIS versão 2.14.3.

Análise de Áreas Favoráveis à Produção Agrícola

Para a análise de identificação das áreas com potencial agrícola, utilizou-se a metodologia desenvolvida por Silva (2001), a qual se baseia na avaliação ambiental pela estrutura lógica da média ponderada para avaliações multiclassificadoras de uma situação ambiental. A formulação básica de uma média ponderada pode ser admitida como (SILVA, 2001):

$$A_{ij} = \sum_n (P_{ij(k)} \times N_{ij(k)})$$

Em que:

A_{ij}= possibilidade de ocorrência do evento analisado no elemento (*pixel*) *i,j* da matriz (mapa) resultante;

P(k)= peso (percentual) da contribuição do parâmetro “k”, em relação aos demais, para a ocorrência do evento analisado;

N(k)= nota, segundo o(s) avaliador(es), dentro da escala de “0 a 10”, da ocorrência do evento analisado, na presença da classe encontrada na linha i, coluna j do mapa k;

n= número de parâmetros (mapas) utilizados.

Na avaliação ambiental pela média ponderada, assumiram-se as seguintes proposições, conforme Silva (2001): Aij demonstra a possibilidade resultante do produto da formulação ambiental, numa escala de 0 a 10, para a ocorrência de um evento e/ou entidade ambiental que seja causado, em princípio, pela atuação convergente dos parâmetros ambientais nela considerados; os dados envolvidos na avaliação podem ser lançados em uma escala ordinal que varie entre “0 e 10” ou entre “0 e 100” para que seja gerada uma amplitude de variação suficiente a permitir maior percepção da variabilidade das estimativas; a normalização dos pesos, restritos entre os valores “0 e 1”, deriva na definição do valor do peso atribuído a um mapa como o valor máximo que quaisquer classes daquele mapa podem assumir.

Tal metodologia foi implementada no *software* Vista SAGA (Sistema de Análise Geoambiental), na versão 2007, disponibilizado pelo Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ, 2017). Após realizada a confecção dos mapas temáticos no *software* SPRING e QGIS, eles foram exportados no formato matricial para posterior importação e rasterização no Vista SAGA, com o objetivo de converter o arquivo para um formato próprio do aplicativo.

O *software* Vista SAGA contempla alguns módulos para análise ambiental, entre eles a “Assinatura Ambiental”, que permite a identificação da ocorrência conjunta de variáveis planimétricas; e a “Avaliação Ambiental”, que admite fazer estimativas sobre possíveis alterações ambientais, fornecendo como resultados mapas e relatórios para a tomada de decisão (MARINO, 2005; SILVA, 2001).

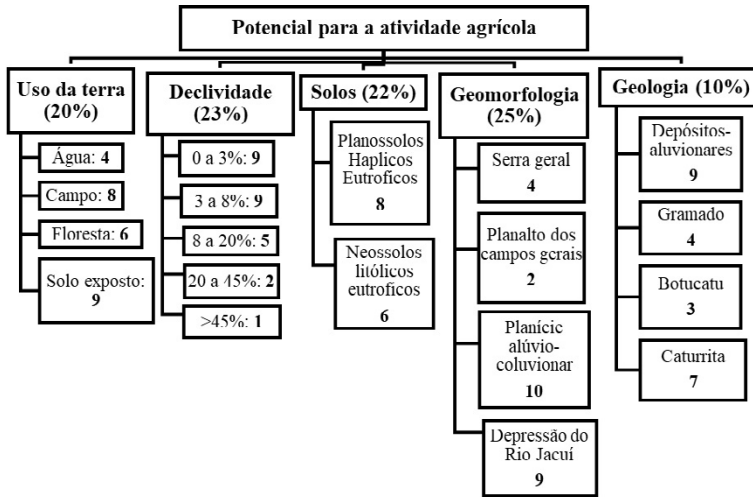
No módulo “Avaliação Ambiental”, foram realizadas as análises ambientais para a identificação de áreas com maior e menor potencialidade para a implantação de culturas agrícolas no município de Dona Francisca, RS. Nas análises, foram integrados os diferentes mapas temáticos descritos anteriormente e sobre cada um deles aplicou-se um processo decisório hierárquico para a obtenção de consenso na atribuição de diferentes pesos e notas conforme julgamento da influência de determinada característica sobre o fenômeno investigado.

A atribuição de pesos, segundo Silva (1999), deve responder à relação do conjunto de cartogramas digitais selecionados, levando em consideração a importância relativa, em pontos percentuais, do tipo de característica ambiental contido em cada cartograma digital para a ocorrência da alteração ambiental.

A ferramenta da “Avaliação Ambiental”, de acordo com Marques (2011), é utilizada para o processo de superposição de mapas, no qual são atribuídos pesos e também notas para cada tipo de legenda, conforme sua menor ou maior importância na avaliação de riscos e potenciais ambientais.

Dessa forma, o método da “Avaliação Ambiental” foi utilizado para a obtenção da hierarquia das variáveis por meio de pesos que totalizaram 100%, e para a definição do grau de importância dos planos de informação (ou variáveis) foram atribuídas as notas na escala ordinal de 1 a 10 para as classes que os compõem. Nessa escala de 1 a 10, foram categorizados de baixíssimo até altíssimo potencial para a análise das potencialidades das atividades agrícolas, respectivamente. A Figura 2 apresenta os pesos dos mapas temáticos e as notas atribuídas para as respectivas classes temáticas.

Figura 2 - Pesos atribuídos aos parâmetros avaliados e as respectivas notas para as classes temáticas para a avaliação do potencial para as atividades agrícolas no município de Dona Francisca, Rio Grande do Sul



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

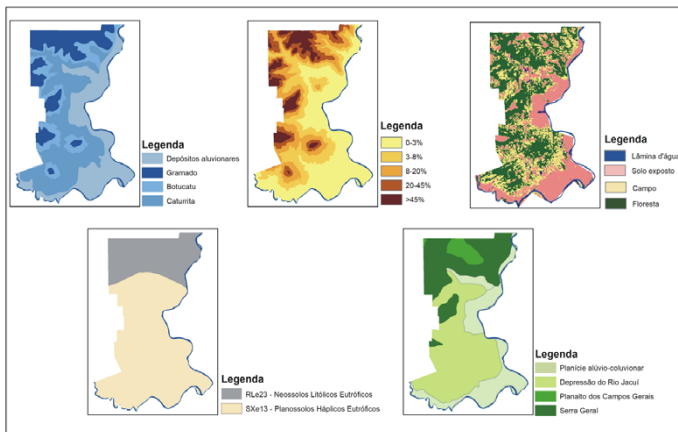
O método de avaliação ambiental permitiu atribuir pesos aos mapas temáticos envolvidos na análise (Figura 3) e as notas a cada parâmetro (classe) pertinente ao respectivo mapa. Como resultado, foram obtidas as ponderações de cada critério que variaram de 1 a 10, apresentadas na Tabela 1, sendo que quanto maior o peso atribuído, maior a potencialidade representativa ao ambiente do critério, e quanto menor o peso, menor a potencialidade. A valoração das notas foi atribuída pelos analistas proporcionando a identificação de áreas de diferentes potenciais para a atividade agrícola, de acordo com a nota atribuída às classes do mapa resultante. Destaca-se que as notas são agrupadas de modo a descrever de forma qualitativa a avaliação potencial.

Tabela 1 - Notas atribuídas ao potencial agrícola no município de Dona Francisca – RS

Notas	Potencial
0, 1 e 2	Baixíssimo
3 e 4	Baixo
5 e 6	Médio
7 e 8	Alto
9 e 10	Altíssimo

Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

Figura 3 - Representações temáticas do município de Dona Francisca, RS, utilizadas para a análise ambiental, sendo (a) uso e cobertura da terra; (b) declividade percentual; (c) tipologias de solos; (d) geomorfologia (e) geologia



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

Para a avaliação da potencialidade das atividades agrícolas no município, foram levados em consideração os seguintes fatores: antrópico, declividade, solo, geomorfologia e geologia.

Fator Antrópico (Uso da terra – peso 20%): as classes que apresentaram nesse parâmetro maior importância na análise da potencialidade para as atividades agrícolas foram: “Solo exposto” (nota 9), “Campo” (nota 8), “Floresta” (nota 6) e “Lâmina d’água” (nota 4).

Conforme observado no mapeamento temático de uso e cobertura da terra, a classe “Floresta” encontra-se mais ao norte do município, o qual corresponde à Serra Geral e ao Planalto. A maior parte da classe “Campo” está situada na região central, mais precisamente na Depressão do rio Jacuí. As áreas de campo geralmente ocorrem em faixas de transição entre as menores declividades usadas como lavoura e as maiores como, por exemplo, floresta.

A classe “Solo Exposto” está associada às lavouras e à redução da cobertura vegetal quando estão em fase de pós-colheita ou em áreas em pousio. Cabe ressaltar que a maior parte do “Solo Exposto” está situada nas áreas de menor declividade plana de 0-3% e próximas ao rio Jacuí. Essa área tem como grande potencial agrícola o cultivo orizícola irrigado. Poelking (2007) destaca em seu estudo no município de Itaara, RS, também na região central do Estado, que as áreas de agricultura ocupam preferencialmente os locais de menores declividades (0 a 13%) e diminuem gradativamente conforme aumentam os níveis de declividade.

Referente às áreas de declividade mediana de 3 a 8% (suave ondulado), 8 a 20% (ondulado) e 20 a 45% (forte ondulado), nelas se encontram as culturas de milho, feijão e fumo (Figura 3). Nos locais de maior declividade (>45%) e nas margens do rio Jacuí permanecem os remanescentes florestais.

O município de Dona Francisca tem como principal base econômica a agricultura, destacando-se principalmente nas culturas de fumo, milho e feijão nas encostas e do arroz irrigado nas áreas planas ou várzeas ao longo da margem do rio Jacuí. O arroz irrigado é o principal produto agrícola do município, apresentando maior área plantada, com 2.350 ha, seguido do milho, com 750 ha, do fumo, com 460 há, e do feijão, que ocupa uma menor área plantada, 50 ha (IBGE, 2015).

Figura 4 - Principais culturas agrícolas no município de Dona Francisca: (a) arroz irrigado, (b) milho, (c) fumo



Fonte: Acervo das Autoras (2019).

A classe “Lâmina d’água” é de grande importância para a identificação de áreas potenciais para a ocorrência das atividades agrícolas, pois o município de Dona Francisca possui uma farta rede hidrográfica, constituída essencialmente de rios perenes e pelo rio Jacuí, que, segundo o Projeto Radam Brasil (1986, p. 347), é o “[...] principal rio que atravessa a Depressão Central, comanda uma drenagem do tipo subdendrítico”. Cabe ainda destacar que o rio Jacuí é responsável pelo abastecimento de grande parte da água potável consumida no município, bem como é utilizado para o cultivo do arroz irrigado.

Fator declividade (peso 23%): as classes clinográficas com maior potencialidade para atividades agrícolas foram: 0 a 3% e 3 a 8%, ambas com nota nove (9); 8 a 20%, com nota cinco (5); 20 a 45%, com nota dois (2); e >45%, com nota 1, pois não foi considerada apta para o desenvolvimento de atividades devido à morfologia do declive. A declividade do solo pode alterar as propriedades físicas e o teor da matéria orgânica, as condições de drenagem, textura, rochiosidade, pedregosidade e profundidade efetiva do perfil do solo (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994).

A declividade predominante na área de estudo foi entre 0 a 3%. Esse intervalo corresponde a áreas caracterizadas por um relevo mais plano, tendo um altíssimo potencial para as atividades agrícolas como o cultivo do arroz, bem como para o condicionamento de matéria orgânica. As áreas com

declividade de 3 a 8% e 8 a 20% possuem alto e médio potencial, sendo utilizadas principalmente para a cultura de fumo, milho e feijão. Os resultados do estudo de Campos *et al.* (2013) permitiram inferir que as classes de declive de 0 a 12%, classificadas como relevo plano a suave ondulado, são terras propícias para exploração com culturas anuais, com uso da mecanização (LEPSCH *et al.*, 1991).

As áreas compreendidas entre 20 e 45% foram consideradas de baixo potencial para as atividades agrícolas, pois os processos erosivos e de deslizamentos são muito significativos nessas declividades. As declividades menos expressivas na área de estudo estão acima de 45%, representadas pelas áreas de maior inclinação.

Inúmeros fatores constituem a formação do solo, tais como o material de origem, a topografia, o clima e os microrganismos, que, no decorrer do tempo, atuam na sua formação. Cada solo tem as suas peculiaridades, diferenciando-se uns dos outros conforme as suas propriedades e características físicas, químicas, biológicas e morfológicas do material de origem.

Fator solo (peso 22%): os pesos atribuídos para os Planossolos Háplicos Eutróficos e Neossolos Litólicos Eutróficos foram 8 e 6, respectivamente.

O solo do tipo “Planossolo Háplico Eutrófico” predomina no município de Dona Francisca e apresenta altíssimo potencial para o desenvolvimento da agricultura. Já são presenciadas nesse tipo de solo atividades agrícolas ligadas ao cultivo do arroz.

Mattos *et al.* (2013) destacam que os solos “Planossolos Háplicos Eutróficos” ocupam uma grande área no agroecossistema de terras baixas no estado do Rio Grande do Sul, onde predomina o cultivo de arroz irrigado.

De acordo com a Embrapa (2006) e Streck *et al.* (2008), são solos mal drenados encontrados em áreas de várzeas, com relevo plano a suave ondulado, onde as condições ambientais e do próprio solo favorecem a vigência periódica anual de excesso de água, mesmo que de curta duração.

Esse solo geralmente é apto para o cultivo do arroz irrigado, com sistema de drenagem eficiente (STRECK *et al.*, 2008).

O solo “Neossolo Litólico Eutrófico” teve uma pequena representatividade ao norte do município, onde se encontram as maiores declividades (20 a 45% e >45%) e a classe “floresta”. Esse tipo de solo normalmente está associado aos afloramentos de rochas e pedregosidade, conforme definido pelo SiBCS (EMBRAPA, 2006). São solos rasos com pouca profundidade efetiva para o desenvolvimento das raízes e para o armazenamento de água. Têm formação muito recente, desenvolvida a partir de inúmeros tipos de rochas (STRECK *et al.*, 2008).

Streck *et al.* (2008) ressaltam que o “Neossolo Litólico Eutrófico”, por ser um solo de ocorrência em regiões de relevo forte, ondulado e montanhoso, apresenta fortes restrições para culturas anuais, sendo assim mantido sob preservação ambiental permanente. Os “Neossolos Litólicos Eutróficos” possuem alta suscetibilidade à erosão hídrica, por isso se recomenda que áreas com declividade superior a 30% sejam conservadas com vegetação natural (STRECK *et al.*, 2008).

Os processos geomorfológicos, de acordo com Ross (1990), têm grande importância, tanto pelo fato de constituírem o substrato físico onde se desenvolvem as atividades humanas, como por responderem muitas vezes de forma agressiva às alterações provocadas por tais atividades.

Fatores geomorfológicos (peso 25%): as unidades geomorfológicas que mais influenciaram como altíssimo e alto potencial agrícola foram a “Planície alúvio-coluvionar” (nota 10) e “Depressão do rio Jacuí” (nota 9). “Serra Geral” (nota 4) e “Planalto dos campos gerais” (nota 2) influenciaram como baixo e baixíssimo potencial agrícola, respectivamente.

Os relevos de “Planície alúvio-coluvionar” e “Depressão do rio Jacuí” destacaram-se por apresentar altíssimo potencial para as atividades agrícolas, com áreas planas próximas ao rio Jacuí e rochas sedimentares de origem fluvial. A “Planície alúvio-coluvionar” e a “Depressão do rio Jacuí”, no município de Dona Francisca, correspondem às margens planas do rio, de 0 a

3% e 3 a 8% de declividade, onde ocorrem processos de acumulação fluvial. A Depressão rio Jacuí “[...] caracteriza-se por não apresentar grandes variações altimétricas, com relevo composto por formas alongadas de topo convexo, regionalmente chamadas de coxilhas” (BORSATTO *et al.*, 2015, p. 4).

Referente à unidade “Serra Geral” ou Rebordo do Planalto, de acordo com Müller Filho (1970), marca a passagem das terras baixas da Depressão para as terras altas do Planalto e caracteriza-se por morros e morrotes isolados e vales encaixados. A cultura do fumo ocorre principalmente nas áreas menos declivosas da “Serra Geral”.

A “Serra Geral”, de acordo com Lemos (2014), está vinculada às regiões onde o substrato é composto por rochas vulcânicas básicas e é propícia para o desenvolvimento e preservação florestal. As formas de relevo para Luerce (2013) são bastante abruptas, com vales encaixados bem aprofundados, e a declividade é maior que 25%.

O “Planalto dos campos gerais” destaca-se na região norte do município de Dona Francisca, onde a classe “Floresta” está bem preservada. Estudos realizados por Borsatto *et al.* (2015) no município de Igrejinha, RS, demonstram que o “Planalto dos campos gerais” se encontra pouco conservado, ocupando uma pequena área na parte oeste e noroeste do município, a qual é composta por um terreno elevado com topos relativamente planos. O “Planalto dos campos gerais” caracteriza-se por apresentar a morfologia planar e estar localizado em declividades inferiores a 25% (LUERCE, 2013). De acordo com o Projeto Radam Brasil (1986), o “Planalto dos campos gerais” predomina sobre as formações vulcânicas ácidas, sendo marcado por colinas onduladas separadas por vales alargados estabelecidos por sucessivas etapas de dissecação (Figura 5).

Figura 5 - Aspectos do relevo do município de Dona Francisca, RS



Fonte: Arquivo pessoal de Alves (2016).

Fator geologia (peso 10%): a formação “Botucatu” (nota 3) e as fácies “Gramado” (nota 4) se encontram na porção centro-norte do município e afloram nas porções mais elevadas.

No município de Dona Francisca, a formação “Botucatu” encontra-se nas declividades de 8 a 20% e 20 a 45%, cuja maior parte de uso e cobertura da terra é representada pela classe “Floresta”. A formação “Botucatu” é formada por arenitos róseos a vermelhos, de granulação média a fina, localmente silicificados, quartzosos, bem selecionados, com grãos arredondados, de origem eólica, depositados em ambiente desértico (SANFORD; LANGE, 1960).

Para Soares, Soares e Holz (2008), a formação “Botucatu” é representada por arenito bimodal (fino a médio), castanho e creme avermelhado, composto por quartzo e subordinadamente por feldspato e opaco, com estratificações cruzadas de grande porte. A formação “Botucatu” caracteriza-se, segundo Lemos (2014), como um pacote sedimentar de idade juro-cretácea constituído por arenitos finos a grossos, grãos bem arredondados e com alta esfericidade, dispostos em *sets* e/ou *cosets* de estratificação cruzada de gran-

de porte. Para CPRM (2017a), o ambiente continental nesse período envolve depósitos desérticos e depósitos de dunas eólicas.

Na área de estudo, as fácies “Gramado” encontram-se na porção norte e noroeste, onde estão situadas as maiores declividades, de 20 a 45% e >45%. Elas são um conjunto de derrames com espessura máxima de 300 metros, que representam as primeiras manifestações vulcânicas sobre os sedimentos arenosos do deserto Botucatu (CPRM, 2017c).

Estudos realizados no município de Igrejinha, RS, por Borsatto *et al.* (2015) destacaram que os derrames vulcânicos das fácies Gramado ocorrem na base da formação Serra Geral, com espessura média de até 450 metros.

A camada “Depósito-aluvionares” (nota 9) foi considerada de altíssimo potencial para o desenvolvimento de atividades agrícolas do município. Essa unidade se encontra principalmente na declividade de 0 a 3% e ao longo da margem do rio Jacuí, áreas essas consideradas como sendo de várzeas do município de Dona Francisca.

Os solos da várzea, segundo Silva *et al.* (2008), originam-se nas planícies de inundação aluvionares. Essa formação engloba os sedimentos depositados pelos cursos d’água originados a partir de intemperismo, erosão das rochas pela ação da água e da decomposição da matéria orgânica advinda muitas vezes das enchentes ou da palhada do arroz deixada nas lavouras após a sua colheita. O cultivo do arroz nos “Depósito-aluvionares” é a principal característica de uso dessa unidade (SCHIRMER; ROBAINA; TRENTIN, 2013).

Os “Depósito-aluvionares” no município de Igrejinha, conforme Borsatto *et al.* (2015), englobam os sedimentos depositados pelos cursos d’água, os quais correm preenchendo calhas de rios e suas planícies de inundação ao longo dos vales de toda a área do município.

Para a formação “Caturrita”, considerou-se a nota 7, ou seja, alto potencial para a agricultura, o qual está presente em boa parte do município, com usos vinculados às atividades agrícolas. A formação “Caturrita” corresponde ao conjunto de camadas predominantemente arenosas que ocorrem

entre o Membro Alemoa e a Formação Botucatu (NORONHA; BRESSANI; MIZUSAKI, 2009). É o topo da sequência Triássica, constituída principalmente por arenitos depositados por sistemas fluviais de canais isolados a meandantes (GIARDIN; FACCINI, 2004).

Dessa forma, por meio dos fatores levados em consideração (antrópico, geologia, geomorfologia, declividade e tipologias de solo) para a área do estudo, notou-se que as áreas de altíssimo potencial para as atividades agrícolas destacam-se em áreas planas, na região sul-sudeste, e algumas áreas na região leste, com a produção do arroz irrigado (Figura 6). As áreas planas onde se destacam o cultivo do arroz são capazes de suportar a racionalidade da agricultura moderna (uso de máquinas e insumos agrícolas) (GUIMARÃES, 2011).

Figura 6 - Cultivo do arroz irrigado na região sul-sudeste, Dona Francisca, RS



Fonte: Arquivo pessoal de Alves (2016).

Quanto às áreas de alto potencial e de médio potencial, encontram-se região central, oeste-sudoeste, norte e no centro-sul. São áreas impróprias para o cultivo do arroz e para a agricultura mecanizada, pois apresentam declividades mais elevadas e solos rasos. No entanto, destacam-se pelo cultivo de fumo, milho e feijão. Segundo Favera (2006), nessas áreas o milho é plantado logo após a colheita do fumo, aproveitando os mesmos “camaleões ou vergas” utilizados no cultivo do fumo. Cabe destacar que a produção de fumo é uma alternativa rentável para as pequenas proprieda-

des do município, principalmente por ser cultivado em área de solos rasos e encostas com declividade acentuada. Referente às áreas de baixo e baixíssimo potencial agrícola, ocorrem em topos de morros e na região norte do município (Figura 7). Nessas áreas com declividades altas, a vegetação nativa se mantém mais preservada no município de Dona Francisca. De acordo com o Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012) é necessário preservar a vegetação nativa nos topos de morro e nas encostas (BRASIL, 2012).

Figura 7 - Análise ambiental para identificação de áreas potenciais para a realização da atividade agrícola no município de Dona Francisca, RS



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração e a avaliação dos mapas temáticos e a realização da análise ambiental contribuíram para averiguar as áreas com potencialidades agrícolas no município de Dona Francisca, RS. Cabe salientar a importância dos SIG, uma vez que se configuram como uma ferramenta técnica essencial para a determinação e a delimitação dessas áreas com potencialidade para o desenvolvimento de atividades agrícolas, além de produtoras de informações oportunas e geradoras de conhecimento.

As áreas consideradas de altíssimo, alto e médio potencial para as atividades agrícolas mostraram diferenças significativas quanto à cultura agrícola. As áreas mais planas (várzeas) se destacaram pela essência do desenvolvimento econômico do município, o cultivo orizícola irrigado, enquanto para as áreas intermediárias e mais íngremes se destacaram o cultivo do fumo, milho e feijão.

A maior parte do município possui áreas com potencialidade para fins de atividades agrícolas, no entanto, é fundamental ressaltar a importância do manejo correto dessas áreas a fim de evitar processos erosivos que venham acarretar na perda de solo e na baixa produtividade das culturas agrícolas, ou seja, compreender que cada área possui uma determinada aptidão ou capacidade agrícola.

REFERÊNCIAS

AGROLINK o portal do conteúdo agropecuário. **Culturas**. Sem data de publicação. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/informacoes/solo_361564.html. Acesso em: 27 nov. 2017.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, F. da S. **Fitogeografia da Região do Jarau – Quaraí/RS**. 2012. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

ALVES, L. F. **Arquivo Pessoal de Fotografias**. Dona Francisca, RS, 2016.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas**. Aplicações na agricultura. 2. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa. 1998.

BORSATTO, S.; DANI, N.; RIBEIRO, R.; LISBOA, N. A.; BRESSANI, L. A. Mapeamento geológico do município de Igrejinha para uso geotécnico. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15., 2015, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, RS: ABGE, 2015.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 28 de maio de 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 22 nov. 2017.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A.; LLOYD, C. D. **Principles of Geographical Information Systems**. 2. ed. Nova York: Oxford University Press, 1998. 333 p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001. 345 p.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. *In*: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas**: aplicações na agricultura. Brasília, DF: Embrapa/SPI/CPAC, 1998, p. 3-11.

CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, Amsterdam, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CAMPOS, S.; PISSARRA, T. C. T.; MASHIKI, M. Y.; MILESKI, M. M.; SIERVO, M.; SILVEIRA, G. R. P. Adequação das terras da bacia do Rio Capivara, Botucatu, SP, Brasil, visando sua sustentabilidade ambiental. **UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 12, p. 79-86, 2013.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Dados, informações e produtos do Serviço Geológico do Brasil**. 2017a. Disponível em: <http://geobank.cprm.gov.br>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Gestão Territorial**: Aparados. 2017b. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/geoparques/Aparados/ap_geol_pag07.htm/. Acesso em: 10 nov. 2017.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Formação Botucatu**. 2017c. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/Aparados/ap_geol_pag04.htm. Acesso em: 10 nov. 2017.

EASTMAN, J. R. **Manual do Usuário**. Idrisi for Windows 2.0. Porto Alegre: Centro de Recursos Idrisi, 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Mapa de solos do Brasil 2011**. Publicado em 04 de junho de 2012 [on-line]. Disponível em: <http://sosgisbr.com/2012/06/04/mapa-de-solos-do-brasil-2011-embropa/>. Acesso em: 12 nov. 2017.

ESPÍRITO-SANTO, M. M.; FAGUNDES, M.; NUNES, Y. R. F.; FERNANDES, G. W.; AZOFEIFA, G. A. S. QUESADA, M. Bases para a conservação e uso sustentável das florestas estacionais decíduais brasileiras: a necessidade de estudos multidisciplinares. **Revista Unimontes Científica**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 13-18, 2006.

FAVERA, A. D. **O cenário produtivo e a representatividade dos rios Jacuí e Soturno para o município de Dona Francisca – RS.** 2006. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2006.

FLORENZANO, T. G. **Introdução à geomorfologia.** Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 320 p.

GIARDIN, A.; FACCINI, U. Complexidade hidroestratigráfica e estrutural do Sistema Aquífero Guarani: abordagem metodológica aplicada ao exemplo da área de Santa Maria-RS, Brasil. **Águas Subterrâneas**, [S.l.], v. 18, n. 1, p. 39-54, 2004.

GROFF, A. **A desterritorialização das escolas no campo do município de Dona Francisca/RS.** 2016. 179 f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.

GUERRA, A. J. T. Encostas urbanas. *In*: GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia Urbana.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, p. 13-42.

GUIMARÃES, G. M. **Racionalidades identitárias na produção e comercialização de alimentos coloniais na Quarta Colônia – RS.** 2011. 208 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Rural) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Agropecuário 2006.** Publicado em 2011. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 22 dez. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Rio Grande do Sul: Dona Francisca.** Publicado em 2015. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=430670&search=rio-grande-do-suldona-francisca>. Acesso em: 22 dez. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Divisão de Geração de Imagens. **Geração de Imagens.** 2017. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/ATUS_LandSat.php. Acesso em: 10 nov. 2017.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução de José Carlos Neves Epiphânio. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598 p.

LAGO, R. B.; FARENZENA, D. Contrastes socioeconômicos do conjunto habitacional Gentil Tessele e área central da cidade de Dona Francisca, RS. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 17-34, 2008. [Série: Ciências Humanas]

LEMOS, A. C. C. **Análise geológico-geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana/RS para o reconhecimento de ambientes vulneráveis.** 2014. 102 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2014.

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

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation.** 2. ed. New York. John Wiley & Sons, 2000. 721 p.

LUERCE, T. D. Mapeamento geomorfológico a partir de dados SRTM: bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR: INPE, 2013.

MARINO, T. B. **Vista Saga 2005: Sistema de Análise GeoAmbiental.** 2005. 72 f. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2005.

MARQUES, J. A. P. **Estudo de metodologia de avaliação de risco a escoamento de terra em área urbana: o caso do município de Juiz de Fora – MG.** 2011. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2011.

MATTOS, M.; MARTINS, J. D. S.; CUNHA, N. G. da.; FACCIO, M. Persistência do inseticida imidacloprido em planossolo háplico eutrófico cultivado em arroz irrigado por inundação (1). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34. 2013, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

MAZIERO, L. **Levantamento da vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos no município de Dona Francisca-RS.** 2005. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

MEIRELLES, M. S. P.; CÂMARA, G.; DE ALEIDA, C. M. (Eds.). **Geomática: modelos e aplicações ambientais.** [S.l.]: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 593 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação.** 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003. 307 p.

MÜLLER FILHO, I. L. **Notas para o estudo da geomorfologia do Rio Grande do Sul, Brasil.** Publicação Especial n.1. Santa Maria, RS: UFSM/Departamento de Geociências, 1970.

NORONHA, F.; BRESSANI, L.; MIZUSAKI, A. Mapeamento geotécnico da área urbana de Santa Cruz do Sul (RS, Brasil). *In*: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DO RIO GRANDE DO SUL, 5., 2009, Pelotas. **Anais...** Pelotas, RS: ABMS, 2009. 12 p.

PAIVA, J. B. D. de.; PAIVA, E. M. C. D. de.; GASTALDINI, M. do C. C. **Avaliação quantitativa das disponibilidades e demandas de água da bacia hidrográfica do Rio Ibicuí.** Relatório do Cenário Atual. Santa Maria, RS: UFSM/DHS/CTUFSM, 1998.

PEDRON, F. de A.; POELKING, E. L.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. de; KLANT, E. A aptidão de uso da terra como base para o planejamento da utilização dos recursos naturais no município de São João do Polêsine – RS. **Ciência Rural**, [S.l.], v. 36, n.1, p. 105-112, 2006.

PINTO, L. F. S.; LAUS NETO, J. A.; PAULETTO, A. E. Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. *In*: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de (Orgs.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2004. 899 p.

PIROLI, E. L. **Introdução ao geoprocessamento**. Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos, 2010. 46 p.

POELKING, E. L. **Aptidão, evolução e conflitos de uso das terras no município de Itaara, RS**. 2007. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE DONA FRANCISCA. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Dona Francisca**. Dona Francisca, RS: PMDF, 2011. Disponível em: http://www.donafrancisca.rs.gov.br/_arquivos/27a90292653be0ab00fdb43962f2bd22.pdf. Acesso em: 10 nov. 2017.

PRINA, B. Z. **Geotecnologias aplicadas no mapeamento das áreas de inundação do perímetro urbano de Jaguari/RS**. 2015. 128 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

PROJETO RADAM BRASIL. **Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim**. Rio de Janeiro, RJ: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1986. 796 p.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1994. 65 p.

ROSA, R. Análise espacial em Geografia. **Revista da ANPEGE**, [S.l.], v. 7, n. especial, p. 275-289, 2011.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, 1994.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. *In*: GUERRA, A. J. T.; SILVA A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.) **Erosão e conservação dos solos: conceitos temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

SANFORD, R. M; LANGE, F. W. Basin study approach for oil evaluation of Paraná miogeosyncline of south Brasil. **American Association of Petroleum Geologists**, [S.l.], v. 44, n. 8, p. 1316-1370, 1960.

SCHIRMER, J. S.; ROBAINA, L. E. de S.; TRENTIN, R. Unidades geomorfológicas em municípios da Quarta Colônia do Rio Grande do Sul. **Geografia Ensino & Pesquisa**, [S.l.], v. 17, n. 2, p. 199-212, 2013.

SILVA, F. M. da; SOUZA, Z. M. de; FIGUEIREDO, C. A. P. de; VIEIRA, L. H. de S.; OLIVEIRA, E. de. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n.1, p. 231-241, 2008.

SILVA, J. X da. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro: J. Xavier da Silva, 2001. 228 p.

SILVA, J. X da. **SGi's: Uma Proposta Metodológica**. Rio de Janeiro: Lageop, 1999. [Apostila do Curso de Especialização em Geoprocessamento, Mídia CD-ROM]

SILVA, J. X da; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

SILVA, L. P. **Modelagem e Geoprocessamento na Identificação de Áreas com Risco de Inundação e Erosão na Bacia do Rio Cuiá**. 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

SILVEIRA, G. R. P.; CAMPOS, S.; GONÇALVES, A. K.; BARROS, Z. X.; POLLO, R. A. Geoprocessamento aplicado na espacialização da capacidade de uso do solo em uma área de importância agrícola. **Energia na Agricultura**, [S.l.], v. 30, n. 4, p. 363-371, 2015.

SOARES, A. P.; SOARES, P. C.; HOLZ, M. Heterogeneidades hidroestratigráficas no Sistema Aquífero Guarani. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], v. 38, n. 4, p. 598-617, 2008.

SOARES, M. C. E.; CAMPOS, S.; CAVASINI, R.; GRANATO, M.; MASHIKI, M.Y.; RUGGIERO, J. Delimitação e caracterização de áreas de preservação permanente por meio de SIG. *In*: CONGRESSO ITEANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2., 2010, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Instituição Toledo de Ensino, 2010.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS, 2008, p. 222.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. United States Geological Survey Remote Sensing Center. **Earth explorer**. 2017. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 8 nov. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ. Laboratório de Geoprocessamento. **Vicon Saga**. 2017. Disponível em: <http://www.viconsaga.com.br/lageop/>. Acesso em: 22 dez. 2017.

VEIGA, T. C.; SILVA, J. X. da. Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas potenciais para atividades turísticas: o caso do município de Macaé – RJ. *In*: XAVIER-DA SILVA, J.; ZAIDANR. T. (Orgs.). **Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

VENDRUSCOLO, C. E. **As relações do espaço urbano do município de Dona Francisca, RS com a região da Quarta Colônia**. 2010. 166 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.